



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

TUM School of Education
Lehrstuhl für Philosophie und Wissenschaftstheorie

Ontologie komplexer IoX-Systeme

Zur Metaphysik der Informatik im
Internet of Everything

Ulrich J. Behnen

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät
TUM School of Education der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: apl. Prof. Dr. Alfred Riedl
Prüfende der Dissertation: 1. Prof. Dr. Klaus Mainzer
2. Prof. Dr. Christoph Lütge

Die Dissertation wurde am 25.04.2018 bei der
Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät
TUM School of Education am 13.09.2018 angenommen.

»The general issue of ontology,
 that is, how best to structure our concepts for effective computation,
 leads to the philosophical and fundamental issue
 of what computing is. [...]

The issue is a deep philosophical one,
 categorical ontologies of being on one side, and process philosophies on the other. [...]

It all comes back to ontology and the core nature of information.
 Ontology is the way we carve up reality in order to understand and process it.
 Information, still a vague and generally misunderstood concept, is the product of that carving.
 It is the model we create of the world — in all its representational complexity.
 It is the model we ascribe to in computing;
 the structure we create in order to make sense of the world and communicate among ourselves.
 Information, we must realize, is [...] designed (created through specific choices). [...]

Computing does not merely process information, it commits to a certain representation of information. [...]

The question is will information design in the end continue to help us come to grips
 with the nature of information — and by extension, with the nature of computing.
 The rapid development of agents and the impending point
 at which progress reaches beyond our ability to keep up with it,
 brings us face-to-face with the more global environment of computing
 within its new context beyond the human one.
 This will revolutionize [...] computer science.
 The new face of computing remains to be drawn.
 Ontology is the key to this task,
 but it needs to reach deep into philosophy,
 not just parade around the square.«

— Felipe Castel (2002: 29 f.)

»The subject of computation
 is essentially that of artificial intelligence [AI]
 since the development of computation is in the direction of
 making machines carry out ever more complex and sophisticated processes, i.e.
 to behave as intelligently as possible.«

— John McCarthy (1963a: 66)

»In fact, AI is philosophy, conducted
 by novel means.«

— Clark Glymour/Kenneth M. Ford/Patrick J. Hayes (2000: 113)

»[P]hysics does not hold a candle to computer or cognitive [...] science.
 Hawking (1988) and Weinberg (1994) are wrong.
 It is we [the *computer scientists*],
 not the physicists, who must develop a
 theory of everything.
 [...]

There is no way to proceed [...] except by taking on
 metaphysics and ontology directly.«

— Brian Cantwell Smith (2002: 53; 1996: 69)

»From its inception, metaphysics has aspired to maximal generality,
 to cover all entities and to give the principles governing them all,
 in their most abstract and general aspects.
 Thus metaphysics needs a place
 for everything [...].«

— Peter M. Simons (2002: 34)

Vorwort

»*Philosophers! Help! [...] AI needs many ideas that have hitherto been studied only by philosophers. This is because a robot, if it is to have human level intelligence and ability to learn from its experience, needs a general world view in which to organize facts.*«

— John McCarthy (1995: 2042, 2041)

Alles Computing ist *Ontological Computing*, indem es sich immer auf eine "Welt" bezieht, deren Weltauffassung *meta-ontologische* Dispositionen voraussetzt. Die Ontologie der Informatik ist mit Leibniz demnach primär als *metaphysica generalis* zu verstehen, womit sich die Frage nach der für sie adäquaten Metaphysik stellt. Wenn die *Meta-Ontologie* mit Modellen, Notationen, Methoden, Sprachen, Repräsentationen und Systemen immer vorausgesetzt wird, dann kann die Disziplin bei zunehmend intelligenten Systemen nicht mehr länger auf Basis *metaphysischer ad hoc Annahmen* arbeiten. Das umso mehr, als es ein Trugschluss ist, dass in Cyber-physischen Systemen (CPS) die CPS-Agenten von Multiagentensystemen (MAS) selbst um diese meta-ontologischen Annahmen umhinkommen. Gerade auch sie benötigen mit McCarthy (1995) einen "*general world view*", den sie indessen ihrerseits weder ad hoc noch lokal bzw. regional entwickeln können. Vielmehr ist ein solcher "*general world view*" naturgemäß global und setzt somit für die Artifizielle Intelligenz (AI) eine *globale Intelligenz* voraus. Genauso ist es ein Irrglaube, dass im *cyber-physischen "Reality Computing"*, wie es mit dem *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* selbstverständlich ist, CPS-Agenten auf rein induktiver Basis oder auf *Common Sense* operieren können. Vielmehr muss die Ontologie am *Ratio-Empirismus* der Leibniz-Whiteheadschen *Cyber-Metaphysik* festmachen. Dabei steht sie im Wechselspiel mit Poppers objektivem Wissen, das *Scientific Ontologies* einfordert. Jede kategoriale Metaphysik trägt den Gedanken der Wissensontologie in sich, wobei sich ihre Verkopplung über die *Top-level Ontologie* als oberste ontologische Referenzebene der Informatik vollzieht. Auch im Ganzen beruht sie, genauso wie ihre AI-Kerndisziplin, auf Metaphysik. Indessen ist diese *in toto* wie auch in der ersten und zweiten AI-Generation falsch gewählt. Somit ist eine dritte AI-Generation auf Basis der Leibniz-Whiteheadschen techno-wissenschaftlichen Digitalmetaphysik zu begründen, die zur Superintelligenz führt.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Klaus Mainzer, der mir das Vertrauen entgegenbrachte die weitreichende Thematik dieser Arbeit in grundlegender Weise abzuhandeln, ohne die cyber-physisches "Reality Computing" weder wirklich zu verstehen noch praktisch sachgerecht zu vollziehen ist. Als führender Experte auf den kombinierten Gebieten der Künstlichen Intelligenz, der allgemeinen Informatik sowie der Komplexitätsforschung wäre kein besserer Doktorvater denkbar gewesen. Prof. Dr. Christoph Lütge danke ich herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens, für das er im Spannungsfeld von Artifizierlicher Intelligenz und philosophischer Reflexion ex aequo prädestiniert ist. Alle weiteren Danksagungen sind jenseits dieses wissenschaftlichen Diskurses zum Ausdruck gebracht.

»The common man's ontology
is vague and untidy in two ways.
It takes in many purported objects that are vaguely
or inadequately defined.
But also, what is more significant, it is vague in its scope;
we cannot even tell in general
which of these vague things to ascribe to a man's ontology at all,
which things to count him as assuming. [...]
It is only our somewhat regimented and sophisticated
language of science that has evolved in such a way as really
to raise ontological questions.«

— Willard Van Orman Quine (1977: 183)

»[T]he results of modern physics
suggest that we should give up *the idea of a substance or essence*.
They suggest that there is no self-identical entity
persisting during all changes in time [...];
that there is no essence which is the persisting carrier
or possessor of the properties or qualities of a thing.
The universe now appears to be not a collection of things,
but an interacting set of events or processes
(as stressed especially by A.N. Whitehead).«

— Karl R. Popper/John C. Eccles (1977: 7)

»[T]his basis for [mathematical] logic
enlightens our understanding of process, which
is a fundamental fact in our experience.
We are in the present; the present is always shifting;
it is derived from the past;
it is shaping the future;
it is passing into the future.
This is process, and in the universe it is an inexorable fact. [...]
It is true that nothing is finally understood until its reference to process
has been made evident.«

— Alfred North Whitehead (1938: 52 f., 46)

»[T]he business of metaphysics is to describe the world [...].«

— Bertrand Russell (1919a: 47)

»[I]t finally crops out that one can, after all, not get along
without "metaphysics."«

— Albert Einstein (1944: 291)

»Metaphysics in the 21st century
could go in one of two directions.
It could retreat again to the modest, *descriptive* and conservative variety,
metaphysics within the bounds of epistemology, proposed [...] by Strawson.
Or the [*revisionary*] metaphysical enterprise could boldly
go into new areas of application, such as
medicine, biology, chemistry, engineering, economics and management, where
computer modelling requires more than
commonsense knowledge representation.«

— Peter M. Simons (2004c: 12)

Inhaltsübersicht

Vorwort	III
Inhaltsübersicht	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VIII
Kurzfassung	X
English Summary	X
Vorbemerkungen zu den Kernthesen	XI
Zehn Kernthesen zur <i>Ontologie komplexer IoX-Systeme</i>	XXVI
1. Zur Funktion der <i>Top-level Ontologie (TLO)</i> im <i>Internet of Everything (IoX)</i>.....	1
2. <i>Globale IoX-Intelligenz</i> als ED-SOA-basiertes <i>Real-Time Enterprise (RTE)</i>	249
3. Diskurs genuiner Grundfragen der <i>Ontologie komplexer IoX-Systeme</i>	424
4. Techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik als IoX-Ontologiefundament.....	946
5. Kritik des TLO-Theorieanwärter-Rekurses auf philosophische Ontologien	1206
6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien.....	1508
7. Requirements Engineering zur IoX-Spezifikation der <i>Top-level Ontologie</i>	1798
8. Abschließende Betrachtung: Meta-Ontologie im <i>Internet of Everything (IoX)</i> ...	1947
Akronym- und Abkürzungsverzeichnis	2005
Bibliographie.....	2022

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Inhaltsübersicht	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	VIII
Kurzfassung	X
English Summary	X
Vorbemerkungen zu den Kernthesen	XI
Zehn Kernthesen zur <i>Ontologie komplexer IoX-Systeme</i>	XXVI
1. Zur Funktion der <i>Top-level Ontologie (TLO) im Internet of Everything (IoX)</i>	1
1.1 Top-level Ontologien zur Interoperabilität integrierter IoX-Systeme	78
1.2 Inkommensurabilität IoX-relevanter Top-level Ontologien als Kernproblem	147
1.3 IoX-adäquate Spezifikation der Top-level Ontologie als Ziel.....	175
1.4 Sieben Schritte zur Realisierung der IoX-adäquaten TLO-Spezifikation	180
1.5 <i>Closed-loop U-PLM-Systeme</i> als IoX-totales Referenzszenario	183
1.5.1 Ubiquitäre PLM-Systeme als komplexe IoX-Systeme im 4DP-Paradigma.....	200
1.5.2 Ubiquitäre PLM-Systeme als wissenszentrierte Prozesssysteme	225
1.5.3 Ubiquitäre PLM-Systeme als prozessuale Wissenssysteme.....	228
1.5.4 Konventionelle PLM-Systeme vs. <i>Closed-loop U-PLM-Systeme</i>	235
1.6 Zwischenfazit: Zur IoX-adäquaten Ontologie via U-PLM-Referenzszenario	241
2. Globale <i>IoX-Intelligenz</i> als <i>ED-SOA-basiertes Real-Time Enterprise (RTE)</i>	249
2.1 RTE: <i>Sense-and-Respond, Real-Time Big Data Analytics und IoX-Monitoring</i>	292
2.2 <i>Smart Enterprise Architecture (SEA) via Event-Driven SOA (ED-SOA)</i>	310
2.3 ED-SOA RTE: <i>Enterprise Ontology (EO) als integrative Core Ontology (CO)</i>	340
2.4 CPSS/SEA: Zur zwingenden <i>TLO-EO-Verkopplung</i> in der IoX-Spezifikation	349
2.5 PPR-Framework als Integrationskonzept komplexer IoX-Systeme.....	361
2.5.1 Vom PPR-Framework zur 4D-IoX-konformen PPRLT-Spezifikation	368
2.5.2 PPRLT <i>4D-Lifecycle Framework</i> unter <i>TLO-EO-Verkopplung</i>	375
2.6 Smart Factory <i>Holonc Manufacturing Systems (HMS)</i> als CPPS-Beispielfall	384
2.7 CYPO <i>CEOX</i> : Defizite und Defekte bestehender TLO/EO-Ansätze.....	398
2.8 Zwischenfazit: Zur CPSS/SEA-Fixierung der Top-level Ontologie	421
3. Diskurs genuiner Grundfragen der <i>Ontologie komplexer IoX-Systeme</i>	424
3.1 Zum Interoperabilitätsproblem inkommensurabler Ontologieverständnisse	441
3.2 Zur Rolle von Ontologien in PPRLT-integrierten IoX-Systemen.....	470
3.2.1 Implizites Wissen und semantische Silos: Zur Funktion von Ontologien	471
3.2.2 Ontologien zur konzeptuellen Modellierung komplexer IoX-Systeme.....	479
3.2.3 Ontologien zur AI-Wissensrepräsentation komplexer IoX-Systeme	536
3.2.4 Semantisch interoperable IoX-Systeme und Konvergenz der Ontologien.....	592
3.3 Revision der tradierten Ontologiebegriffe und –konzepte der Informatik	606
3.3.1 Ontologieklassifikation für integratives <i>Ontology Engineering (OE)</i>	621
3.3.2 Zum Widerstreit linguistischer vs. realistischer OE-Ansatzpunkte.....	657
3.4 Ontologie im cyber-physischen IoX-Hyperspace: Gruber vs. IMKO <i>OCF</i>	774
3.5 CYPO <i>FOX</i> als Ontologiearchitektur des <i>Internet of Everything (IoX)</i>	828
3.6 Zwischenfazit: Zur Lösung der Ontologieproblematik der Informatik.....	929

4. Techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik als IoX-Ontologiefundament.....	946
4.1 Zur Möglichkeit der Metaphysik: Kritik der Metaphysikklassen	962
4.2 Whiteheads <i>cyber-physische</i> Prozessmetaphysik als <i>Klasse-4-Metaphysik</i>	1020
4.3 <i>Automata Theory/Complex Adaptive Systems</i> als CYPO/IMKO-Mittler.....	1100
4.4 Ontologische Dichotomien: Zur Spezifikation von Objekt vs. Ereignis	1142
4.5 Einfache vs. komplexe Entitäten: Zur CPSS/SEA-adäquaten Mereologie	1166
4.6 <i>Synthetic vs. Augmented Reality</i> : Emergenz und die <i>Ontologie der Artefakte</i>	1170
4.7 Zwischenfazit: IoX-adäquate Metaphysik als obligates TLO-Fundament.....	1194
5. Kritik des TLO-Theorieanwärter-Rekurses auf philosophische Ontologien	1206
5.1 Zum gängigen Rekurs der AI-Disziplin auf die Ontologie Quines	1220
5.2 Zum TLO-Rekurs auf neo-aristotelische 3D+T Substanzontologien.....	1244
5.3 Zum TLO-Rekurs auf Bunges 3D-materialistische Systemontologie.....	1302
5.4 Zum TLO-Rekurs auf Chisholms 3D-Common Sense-Metaphysik	1374
5.5 Zum TLO-Rekurs auf die Analytische 3D-Ontologie resp. Metaphysik	1390
5.6 Zum TLO-Rekurs auf Husserls und Heideggers Phänomenologie	1420
5.7 Zum TLO-Rekurs auf prozessontologische 4D-Ansätze.....	1452
5.8 Zwischenfazit: <i>IoX-Hyperspace, Cyber-Physik</i> und IoX-adäquate Ontologie.....	1503
6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien.....	1508
6.1 Fundamentale meta-ontologische Entscheidungen	1511
6.1.1 <i>Event Streams</i> der Cyber-Physik: Objekt- vs. Prozessontologie.....	1517
6.1.2 Cyberworlds und Strukturwissenschaft: Zur Frage Form vs. Materie	1531
6.1.3 Heavyweight-Ontologien: Klassifikation vs. Kategorialanalyse.....	1540
6.2 Meta-ontologische Kriterien IoX-adäquater TLO-Theorieanwärter	1565
6.2.1 <i>Ubiquitous Complex Event Processing (U-CEP)</i> via CYPO <i>OCEP</i>	1572
6.2.2 Deskriptive vs. revisionäre Metaphysik in CPSS/SEA-Kritik	1588
6.2.3 Universalien vs. Tropen vs. Konzepte in CPSS/SEA-Kritik.....	1615
6.2.4 Aktualistischer vs. possibilistischer TLO-Ansatz in CPSS/SEA-Kritik	1637
6.2.5 Endurantismus (3D) vs. Perdurantismus (4D) in CPSS/SEA-Kritik.....	1657
6.2.6 Realismus vs. Konstruktivismus in CPSS/SEA-Kritik	1689
6.2.7 Multiplikative vs. reduktionistische TLO-Konzeption.....	1708
6.2.8 Multiple Wahrmacher (Truthmakers) für formale Logik und Ontologie.....	1747
6.2.9 Formale Logik, Repräsentationssprachen und Quasi-Standards	1760
6.3 Zur Spezifikation von <i>Superintelligenz</i> der dritten AI-Generation	1770
6.4 Zwischenfazit: Spezifikation der Meta-Ontologie im <i>IoX-Hyperspace</i>	1795
7. Requirements Engineering zur IoX-Spezifikation der Top-level Ontologie	1798
7.1 Zur Notwendigkeit eines universalen <i>Requirements Engineering (RE)</i>	1799
7.2 Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwärter via IMKO <i>OCF</i>	1809
7.3 Exemplarische Darlegung der IoX-Defizite und Defekte von TLO-Ansätzen	1877
7.4 Zwischenfazit: Zur Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter	1942
8. Abschließende Betrachtung: Meta-Ontologie im Internet of Everything (IoX) ...	1947
8.1 Zur Lösung der Inkommensurabilitätsfrage auf Basis von CYPO/IMKO	1956
8.2 Ontologie als <i>H2H-Common Sense</i> vs. <i>M2M-Superintelligence?</i> !	1961
8.3 Leibniz-Whiteheadsche Cyber-Physik vs. " <i>Philosophy of Information</i> "	1974
8.4 Zur ontologischen Revolution der Informatik der dritten AI-Generation	1996
Akronym- und Abkürzungsverzeichnis	2005
Bibliographie.....	2022

Abbildungsverzeichnis

Abb. 01: U-PLM-Zyklus in spezieller Auslegung auf produzierende Industrien	185
Abb. 02: U-PLM-Systeme als polymorphe Cyber-physische Systeme (CPS).....	205
Abb. 03: Integratives <i>Ontology Engineering</i> (OE) mit CYPO FOX.....	626
Abb. 04: Semiotisches Dreieck bei den Stoikern sowie bei Ogden/Richards.....	701
Abb. 05: Semiotisches Dreieck in der Sprachphilosophie und Linguistik.....	701
Abb. 06: Intension und Extension im semantischen Beispielfall.....	705
Abb. 07: Semiotisches Dreieck als Bezugsbasis linguistischer AI-Ontologien.....	707
Abb. 08: CYPO FOX: <i>Four-worlds Ontology for Everything [X]</i>	856
Abb. 09: Submodi des W3-Ontologietypus von CYPO FOX.....	903
Abb. 10: Komplexe Systeme natürlicher, sozialer und artifizierter Provenienz	1121
Abb. 11: Abgrenzung konservativer und dissipativer Systeme.....	1122
Abb. 12: 1D zellulärer Automat	1132
Abb. 13: Funktionstabelle einer Überföhrungsfunktion für 1D Automaten	1132
Abb. 14: 1D zellulärer Automat mit Ausprägungen der Funktionstabelle.....	1132
Abb. 15: Raum und Zeit in einem 2D zellulären Automat.....	1133
Abb. 16: Nachbarschaft $I_{i,j}$ für eine Zelle auf Position i,j	1134
Abb. 17: Langtons Topografie zellulärer Automaten.....	1138
Abb. 18: Einfaches NK-Modell.....	1140
Abb. 19: Vier ontologische Dichotomien zur Kategorisierung von Entitäten	1164
Abb. 20: Natürliche Objekte/Prozesse vs. artifizierter Objekte/Prozesse.....	1178
Abb. 21: Genealogie und TLO- bzw. EO-Referenz der Substanzontologien	1217
Abb. 22: Zehn Kategorien des Aristoteles im Schema Brentanos	1272
Abb. 23: Neo-aristotelisches Ontologisches Quadrat bei E.J. Lowe vs. OCHRE.....	1273
Abb. 24: Neo-aristotelisches Ontologisches Quadrat bei B. Smith.....	1273
Abb. 25: Neo-aristotelisches Ontologisches Sextett bei B. Smith	1281
Abb. 26: Neo-aristotelische <i>Top-level</i> bei E.J. Lowe (3D) und B. Smith (3D+T).....	1282
Abb. 27: Endurantismus vs. Perdurantismus neo-aristotelischer TLO-Ansätze	1283
Abb. 28: Monokategoriale materialistische Ontologie Bunges.....	1306
Abb. 29: Abstrakte und konkrete Objekte in Bunges Ontologie.....	1307
Abb. 30: Komparative Analyse der Metaphysiken Bunges vs. Whiteheads.....	1369
Abb. 31: Kategorien in Chisholms Metaphysik	1380
Abb. 32: Kategorien in Chisholms kategorialer Theorie.....	1385
Abb. 33: Abstracta (eternal objects) in Chisholms kategorialer Theorie	1386
Abb. 34: Genealogie und TLO- bzw. EO-Referenz der Prozessontologien.....	1471
Abb. 35: Zehn Kategorien des Aristoteles vs. Reschers Prozesskategorien	1483
Abb. 36: Substanz- vs. Prozessphilosophie nach Rescher.....	1522
Abb. 37: Epistemologische Kategorien bei Kant	1549
Abb. 38: Exemplarische <i>Top-level</i> philosophischer Kategoriensysteme	1551
Abb. 39: Exemplarische <i>Top-level</i> von TLO-Kategoriensystemen der Informatik	1552
Abb. 40: Kategorien bei Johansson (1989) und P.M. Simons (1995b).....	1554
Abb. 41: Substanzorientierte Kategorien bei Hoffman/Rosenkrantz	1555
Abb. 42: Einfache vs. komplexe Entitäten als Kategorien bei Grossmann.....	1556
Abb. 43: Kategorien der S-Ontologie von Tegtmeier	1559
Abb. 44: Objektbezogene Ereignisse bei E.J. Lowe (1998).....	1560
Abb. 45: Substanzorientierte Kategorien bei E.J. Lowe (2002b).....	1561
Abb. 46: Objektorientierte Kategorien bei E.J. Lowe (2003)	1561
Abb. 47: Top-level Ontologie im <i>Semantic Complex Event Processing</i> (SCEP)	1581
Abb. 48: Typen vs. Tokens und verwandte Dichotomien	1625

Abb. 49: Ontologisches Quadrat im Kontext von Universalien und Tropen	1627
Abb. 50: Universalienposition von CYPO FOX	1636
Abb. 51: Aktualismus/Possibilismus Dualismus bei CYPO FOX	1657
Abb. 52: Endurantismus vs. Perdurantismus im Widerstreit.....	1662
Abb. 53: Endurantismus vs. Perdurantismus von TLO-Ansätzen.....	1675
Abb. 54: Persistenz als differierendes Merkmal von 3D+T <i>Top-level Ontologien</i>	1677
Abb. 55: Persistenz als differierendes Merkmal von 4D <i>Metaphysiken</i>	1677
Abb. 56: Persistenz als differierendes Merkmal von 4D <i>Top-level Ontologien</i>	1679
Abb. 57: Epistemologischer Dualismus von CYPO FOX.....	1705
Abb. 58: Zuordnung von Artificial Sciences zu realen Ontologieebenen.....	1712
Abb. 59: Zuordnung von Mehrebenenontologien bei CYPO FOX.....	1721
Abb. 60: Integration techno-wissenschaftlicher Ontologie bei CYPO FOX.....	1723
Abb. 61: Wahrmacher (Truthmaker) von CYPO FOX.....	1760
Abb. 62: Zuordnung der TLO-Theorieanwärter zu Metaphysikklassen	1808
Abb. 63: Auszug <i>konkreter</i> Kategorien von CYPO FOX (vereinfachte Darstellung)	1960

Kurzfassung

Vor fünfzig Jahren hat die Informatik die Ontologie aus der Philosophie übernommen, um auf ihrer Basis all ihre Modelle einschließlich jener Artifiziereller Intelligenz (AI) fundamental zu strukturieren; sie bestimmt entsprechend auch all ihre Sprachen wie im Ergebnis alle Systeme, Algorithmen, Applikationen usw.: Alles *Computing* ist *Ontological Computing*. Indessen ist zumeist unklar, dass mit dieser Übernahme die Informatik zwangsläufig genauso mit allen Ontologieproblemen konfrontiert ist, die seit jeher in der Philosophie kontrovers diskutiert werden. Dessen ungeachtet ist die Frage nach der für die Informatik adäquaten Ontologie nie neutral gestellt bzw. systematisch untersucht worden. Die Konsequenz ist eine völlig konfuse Ontologiepraxis, die all ihre Bereiche durchdringt. Nicht nur insofern steht die Informatik auf tönernen Füßen, sondern damit verbunden auch deshalb, weil sie keine Programmatik besitzt. Fachgerecht kann diese nur in der Digitalmetaphysik verankert sein, mit der sich die Disziplin jedoch gegenwärtig nicht beschäftigt. Damit verkennt sie entweder ihre Ursprünge bei Leibniz oder hat diese im Kern missverstanden. Mit entscheidungsautonomen AI-Computern als *cyber-physische "Reality Machines"*, die nicht nur im *Internet of Things*, sondern bereits im Leibniz-Whiteheadschen *Automatenuniversum* physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, ist diese an sich fragwürdige Praxis inakzeptabel. Vor diesem Hintergrund wird auf Basis der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik anhand des *Internet of Everything* als totalem Diskursuniversum dargelegt, wie die *Meta-Ontologie der Informatik* universal zu spezifizieren ist.

English Summary

Fifty years ago, computer science took over ontology from philosophy in order to fundamentally structure all its models, including those of artificial intelligence (AI); it also determines all its languages, as in result, all systems, algorithms, applications, etc.: All *computing* is *Ontological Computing*. However, it is usually unclear that with this adoption, computer science is inevitably confronted with all ontological problems that have hitherto been controversially discussed in philosophy. Nevertheless, the question of ontology appropriate for computer science has never been posed in a neutral way nor systematically investigated. The consequence is a completely confused ontological practice, which permeates all its areas. This is not the only reason why computer science stands on feet of clay, but also because it has no programmatic foundations. In a professional way, those can only be anchored in digital metaphysics, with which the discipline is currently not concerned. Thus, it either fails to appreciate its origins in Leibniz or has misunderstood them in essence. With decision-making AI computers as *cyber-physical "reality machines"* that are physically and causally "in the world" and even "part" of the real world, not only in the *Internet of Things*, but as well in the Leibniz-Whiteheadian *Automaton Universe*, this questionable practice is unacceptable. Against this background, the *Internet of Everything* as a total universe of discourse is used on the basis of Leibniz-Whitehead's digital metaphysics to expound how the *meta-ontology of computer science* has to be specified universally.

Vorbemerkungen zu den Kernthesen

»A curious thing about the ontological problem is its simplicity. It can be put in three Anglo-Saxon monosyllables: "What is there?" It can be answered, moreover, in a word – "Everything" – and everyone will accept this answer as true.«

— Willard Van Orman Quine (1948: 21)

Alles, was im *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* von *Cyber-Physical Social Systems (CPSS)* existiert, ist Gegenstand der Ontologie. Insofern all ihre Entitäten prinzipiell als *komplexe Systeme* relational verknüpft sind, gibt es nicht nur eine Vielzahl regionaler Ontologien, sondern *in toto* auch genau *eine* universale Ontologie. Wenn die Anfänge der Ontologie in der Informatik sich mit Mealy (1967) oder McCarthy/Hayes (1969) auf Quine beziehen, haben Informatiker nicht nur Leibniz, Whitehead oder Kant regelmäßig elementar missverstanden, sondern auch Quine. Denn Quines Ontologie ist gerade weder eine *Ontology of Everything* noch eine *Ontology for Everything*, die die Informatik nicht nur mit dem *Internet of Everything (IoX)*, sondern im Wechselspiel mit allen Disziplinen wie im praktischen Vollzug generell benötigt. Quine setzt dabei Ockhams "*Razor*" bei der Frage, was "existiert" nicht nur für die Zwecke der Informatik, sondern auch generell, viel zu radikal an. Das ist nicht perspektivisch, sondern vielmehr faktisch falsch: Denn *physische 4D-Events*, um die es in der Ontologie Quines allein geht, bilden lediglich eine der vielen Facetten, die es in der Ontologiefrage zu berücksichtigen gilt. Alle Ontologie hat kausal-existentiell am *CPST-Hyperspace* festzumachen, der in seiner *absoluten Relationalität* in der Informatik als *IoX-Hyperspace* zu verstehen ist. Der *IoX-Hyperspace ist irreduzibel*, als alle vier "*Spaces*" wechselseitig kausal wirksam sind. Wenn die Informatik die *reale Existenzfrage* der Ontologie entgegen Quine nicht *rein physisch* festmachen kann, sondern sie vielmehr im Zeichen der *Information* als physikalischer Größe als *Frage cyber-physischer kausaler Wirksamkeit* zu stellen ist, dann ist Quines Ontologie als Whitehead-Derivat im Grundsatz falsch. Analoges gilt für alle gängigen Ontologien der Informatik, die die Realitätsfrage positivistisch an die *materielle Existenz* binden. Denn das entspricht der *reduktiven Perspektive* der *klassischen Physik*, nicht aber der *systemischen Perspektive* der *Cyber-Physik*, die mit der "*New Physics*" konform geht. Entitäten von Quines "*Everything*" sind ontologisch nur insofern reduzibel, wie es die *systemische Kausalität* zulässt. Somit liegen die Grundlagen von Informatik und Ontologie ganz anders. Mit der Irreduzibilität des *IoX-Hyperspace* bedarf die *Meta-Ontologie der Informatik* einer entscheidenden Revision; sie ist auf Basis der *Cyber-Physical Ontology (CYPO)* als *Four-worlds Ontology for Everything (FOX)* universal neu zu begründen.

In CYPO FOX besteht nicht nur die für das *Internet of Everything (IoX)* universal anwendbare Ontologiearchitektur, sondern sie stellt den Anspruch als *Ontology for Everything* schließlich auch insofern, als sie in gleicher Weise die *philosophische* Ontologiefrage adressiert. Philosophen sollten nicht meinen, dass die Ontologie der Informatik nichts mit ihrem Feld zu tun hätte; vielmehr ist das unter kausalen, und damit für die Frage *realer Existenz* gerade entscheidenden *cyber-physischen Gesichtspunkten* grundsätzlich zu pos-

tulieren. Analog gilt dann für die Metaphysik, dass sie notwendig immer *nach* der Physik kommt, was genau so zu verstehen ist, dass eine *absolute Durchgängigkeit zwischen der Metaphysik und den Wissenschaften*, mit Kant vor allem jenen der *Erfahrung*, zu bestehen hat. Alles andere ist *ex definitione* keine Metaphysik. Selbst wenn man diese ontologische bzw. metaphysische Position ablehnen würde, müsste man sich gewiss zunächst einmal mit ihr auseinandersetzen, was viele selbsternannte Ontologen bzw. Metaphysiker indessen nicht tun. Denn es lässt sich nicht abstreiten, dass *Cyber-physische Systeme* (CPS) an sich als Systeme *physisch* "in der Welt" bzw. "Teil" der Welt sind. Analog dazu ist auch mit Blick auf die Informatik festzustellen, dass es ein völliger Irrtum ist anzunehmen, dass die philosophische Ontologie nichts – oder nicht viel – mit der Ontologie der Informatik zu tun hat (et v.v.). Diese in weiten Kreisen der Informatik mindestens implizit vertretene Basis-hypothese ist schon insofern falsch, als Mealy (1967) nicht nur den Ontologiebegriff, sondern damit auch den ganzen Komplex an Ontologieproblemen aus der Philosophie in die Informatik importiert hat – und damit nur das explizit machte, was ihr immer inhärent ist.

Diese Basishypothese ist vielmehr auch *de facto* unhaltbar; sie wäre in ihrem Allgemeingültigkeitsanspruch nur dann verteidigbar, wenn sie universal für die Informatik Bestand haben könnte, was nicht der Fall ist. Denn sie stellt lediglich auf höchst spezielle bzw. einschränkende Diskursuniversen (UoD) ab, nämlich auf *Common Sense Worlds*, die linguistischer Natur sind. Indessen geht es bei den eigentlichen Ontologiefragen um die Grundstrukturen *cyber-physischer Realität*, die mit Mitteln der Linguistik gewiss nicht zu analysieren sind. Genauer betrachtet führt jede Ontologie auf Basis der Alltagssprache mit ihrer *Objektzentrierung* bzw. der *Form-Materie-Dichotomie* hier regelrecht in die Irre; denn in der Informatik kommt weder Objekten noch Materie, sondern vielmehr *Ereignissen* resp. der *Information* der primäre Status zu. Damit ist offenbar, dass die Ontologie der Informatik nicht ohne fundamentale Prinzipien auskommen kann, weder ohne distinkte Kategorien noch ohne spezifische meta-ontologische Dispositionen, weshalb auch alle Ontologie *metaphysica generalis*, also allgemeine Metaphysik ist. Insofern steht alle Ontologie auf der *fundamentalen Ontologie*; diese wird in der Informatik durch die *Top-level Ontologie* (TLO) als oberster Referenzontologie repräsentiert. Hingegen bilden regionale Ontologien als Weltausschnitte nicht mehr als Detaillierungen, die indessen den fundamentalen Prinzipien einheitlich zu entsprechen haben; sie besitzen transdisziplinäre Gültigkeit.

Wenn in der Informatik alle Modelle, alle Sprachen und damit alle Systeme immer mit Ontologie bzw. meta-ontologischen Dispositionen durchsetzt sind, dann sollte die Disziplin umso mehr die Auseinandersetzung mit ihrer fundamentalen Ontologie suchen. Denn nichts in der Informatik ist verstanden, ohne zunächst diese Fragen geklärt zu haben. Indem all diese ontologischen Aspekte genauso interdependent sind, wie es alle Modelle, Systeme und Prozesse sind, ist eine solche Klärung allein möglich auf der Grundlage eines einheitlich voraussetzbaren, d.h. *totalen Diskursuniversums*. Das ist zunächst in theoretischer Hinsicht unerlässlich, womit auch erklärt ist, warum das ganze Programm der Infor-

matik, wie es im Leibnizprogramm dargelegt ist, bei Leibniz (1714a) auf die *Metaphysica*, nämlich auf sein *Automatenuniversum* als totales Diskursuniversum bezogen ist. Leibnizens Rechenautomaten waren im Zeichen seiner Digitalmetaphysik nie als isolierte Maschinen gedacht, sondern gerade immer als interagierende perzeptive Automaten im logico-mathematischen Automatenuniversum. Wenn es anfangs in der Disziplin um isolierte Maschinen ging, dann ist sie erst heute nach gut dreihundert Jahren bei Leibniz angekommen. Denn Leibnizens totales Automatenuniversum, das ein metaphysisches und damit theoretisches Diskursuniversum ist, existiert erst jetzt für die Informatik auch praktisch: Es ist das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI), das als "*Universe of Discourse of Anything*" strukturidentisch ist mit dem, was Leibnizens Automatenuniversum bzw. dessen techno-wissenschaftliche Aktualisierung durch Whitehead (1929a) ausmacht. Spätestens mit dem Aufkommen des *Internet of Everything* sollte die Informatik erkennen, dass nicht nur ihr Ursprung, sondern ihre ganze Programmatik bei Leibniz bzw. Whitehead liegt. Keine fundamentale Frage der Informatik, vor allem jene der Ontologie, Epistemologie und Methodologie, lässt sich letztlich für die Disziplin sachgerecht bestimmen, ohne auf ihr eigentliches Fundament, auf die Digitalmetaphysik bezogen zu werden. Die in den vergangenen fünfzig Jahren vollzogene Ontologiediskussion der Disziplin ist bereits insofern konfus und entscheidend verfehlt, als sie bisher in keiner Weise die systematische Auseinandersetzung mit diesen Fundamenten sucht. Vielmehr ist sie gerade auf das fixiert, was Leibniz, Whitehead, Popper und andere aus guten Gründen als Zugang zur Ontologie rigoros ablehnen, nämlich auf die Alltagssprache menschlicher Agenten, die den exakten cyber-physischen Anforderungen maschineller Agenten in keiner Weise genügt.

Dass es ein grundsätzlicher Trugschluss ist, die Ontologie der Informatik losgelöst von der Digitalmetaphysik zu behandeln, wird bereits daran deutlich, dass Ontologie *ex definitione* immer als *metaphysica generalis*, d.h. als allgemeine Metaphysik zu verstehen ist. Der Irrtum, den eine ausschließliche Fixierung auf die Alltagssprache bedeutet, lässt sich auch nicht dadurch revidieren, dass sie zur *Natural Language Metaphysics* verklärt wird, denn damit hat man die Natur der Metaphysik in keiner Weise begriffen. Das gilt erst recht, wenn man diese auch noch im Rekurs auf Kant (1781) zu legitimieren sucht, indem man dann gerade auch die Metaphysikkritik Kants nicht verstanden hat. Denn sie bezieht sich ja gerade auf genau *diese* Form von "Metaphysik", die etwas verabsolutiert, ohne dabei an der eigentlichen Erfahrung festzumachen. Sie nennt sich *deskriptive "Metaphysik"*, ohne tatsächlich *nach* der Physik zu sein, denn sie besitzt gar kein Physikmodell, bzw. implizit mit der Sprache ein völlig naives wie unhaltbares. Sie ist nicht Cyber-Physik, nimmt aber als *deskriptive "Metaphysik"* implizit für sich in Anspruch, die *Metaphysik der Informatik* zu sein. Sie wird dabei nicht nur der Bezeichnung, sondern auch noch dem eigentlichen Inhalt der Metaphysik nicht gerecht. Denn dieser fragt *nach der Natur der Dinge* bzw. *Prozesse*, was sie jedoch gerade nicht tut. Es wäre auf ihrer Basis auch gar nicht möglich. Wer sich also "*deskriptiver Metaphysiker*" nennt, zeigt damit nur, dass er weder das

Wesen der Ontologie resp. der Metaphysik *an sich*, noch die *cyber-physische* Ontologieproblematik der Informatik im Speziellen verstanden haben kann. Der grundlegende Irrtum der *deskriptiven "Metaphysiker"* mündet dann in AI-Ontologiepositionen wie jener Grubers (1993, 1995) bzw. in Mikas (2007) "*ontologies are us*", in denen jeweils einfach alles *beliebig* repräsentierbar ist. Auf dem Stand isolierter Maschinen, die für Leibniz wie Whitehead indiskutabel sind, mögen solche Irrtümer nicht ins Gewicht fallen. Vor dem Hintergrund der Breitenwirkung, die Grubers Ontologieverständnis in der AI-Disziplin wie in der Informatik insgesamt entfaltet hat, indessen schon. So fußt auch das Ontologieverständnis für das *Semantic Web* bei Hendler (2001) bzw. Berners-Lee/Hendler/Lassila (2002) explizit auf jenem Grubers. Analog steht Mikas (2007) "*Ontologie*" im Kontext der *Web Semantics*. Wie weiter unten ausgeführt, gilt indes: »*there is only one "Internet"*«, und entsprechend werden solch naive Ontologieverständnisse mit Blick auf die *ontologische Interdependenz* des *cyber-physischen Internet of Everything* prinzipiell zum Verhängnis.

Genauer gesagt offenbart sich damit nur, dass diese Position *an sich* verfehlt ist, wobei ihre Verabsolutierung zeigt, dass man die eigentlichen Anforderungen der Informatik kaum verstanden haben kann. Was die *Artifizielle Intelligenz (AI)* betrifft, sind linguistische Ontologen in der Verabsolutierung ihres Ontologieverständnisses letztlich noch immer auf dem Stand der bereits durch Hayes (1979) kritisierten "*toy problems*"; natürlich ist es verfehlt, etwas verabsolutieren zu wollen, ohne sich mit den eigentlichen Anforderungen der Informatik bzw. ihren Grundlagen in Form der Digitalmetaphysik auseinanderzusetzen. Allein letztere kann in sachgerechter Konzeption, nämlich als *Klasse-4-Metaphysik*, diesen Anspruch wirklich stellen. Kognitive Agenten, die auf Basis von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* ein *Autonomic Computing* vollziehen und mit ihren Entscheidungen realweltlich kausal wirksam sind, können nicht auf Grundlage von *Common Sense* bzw. der Mehrdeutigkeit und fehlenden Exaktheit der Alltagssprache operieren.

Jedes "*Reality Computing*" erfordert eine sachgerechte Konzeption von *Cyber-Physical Social Systems (CPSS)*; es muss verstanden sein, wie diese Systeme funktionieren, was voraussetzt, dass der Systemgedanke auch etwa unter Kausalitäts- wie Realitätsaspekten geklärt ist. Das geht über die eigentliche Ontologiefrage hinaus, indem im Sinne der Metaphysik die wesenhafte Natur der Prozesse hinterfragt wird. Der ersten Generation der AI-Forscher waren all diese Erfordernisse klar; nicht umsonst hat McCarthy (1995) als wesentlicher Begründer und Namensgeber der AI-Disziplin die Frage nach dem "*general world view*" gestellt, die Minsky (1968c) als "*unitary model of the world*" genauso postuliert. Bei nachfolgenden AI-Generationen ist diesen zentralen Grundfragen nicht zuletzt deshalb keine Beachtung mehr geschenkt worden, indem sich die Interessen auf das *Human to Machine (H2M)* bzw. *Machine to Human (M2H)* verlagerten, und schließlich *Semantic Web*-Ontologen mit ihrem Web 3.0 auch bei Aspekten wie *Linked Data* letztlich gerade auch die Interaktion *Human to Human (H2H)* des *Social Web* als Web 2.0 und damit den *Common Sense* im Blick haben. Indessen wird anhand des ontologischen IoX-To-

talmodells deutlich, dass darin insofern nur nachgeordnete AI-Facetten bestehen können, als die eigentliche AI-Ontologiefrage primär an der Interaktion *Machine to Machine* (M2M) anzusetzen hat. Allerdings ist auch diese Interaktion erst dann richtig verstanden, wenn sie im Zeichen physischer Sensorik um ein *Reality to Machine* (R2M) und im Zeichen physischer Aktorik um ein *Machine to Reality* (M2R) ergänzt wird. Die eigentliche AI-Bandbreite ist gewiss erst mit diesen sechs Interaktionsmodi auf dem heute erforderlichen Stand. Mit ihnen relativiert sich die Grubersche (1995: 910) AI-Ontologiekonzeption des »minimal ontological commitment« bzw. Genesereth/Nilssons (1987: 13) »lack of commitment« schlagartig. Mehr noch: diese linguistischen Konzeptionen werden zum Problem; sie erweisen sich als untragbar, auch wenn sie noch immer das populäre Ontologieverständnis gerade all jener Informatiker ausmachen, die einfache Lösungen schätzen.

Eine beliebige Repräsentierbarkeit ist indes nur auf den ersten, naiven Blick vorteilhaft; tatsächlich *pragmatisch* ist sie indes gerade nicht, indem sie allen genuinen Anforderungen widerspricht: Denn in jedem probaten ontologischen System fungiert *Ontologie* letztlich entweder als *universale Ontologie*, die fundamental ist, oder als *regionale Ontologie*, die auf erstere bezogen ist. Mit dieser Beziehung von universaler und regionaler Ontologie ist der Ontologiegedanke an sich *transdisziplinär*, was er in seiner Eigenart als *metaphysica generalis* quasi von Natur aus ist. Damit ist auch die Rolle der *Top-level Ontologie* als *fundamentaler Ontologie* evident, deren Funktion in der Informatik oftmals, auch bei Gruber selbst, unverstanden ist. Die Grubersche Problematik wiegt dabei umso schwerer, als die meisten Ontologieformate wie der Ontologiegedanke als solcher von vornherein darauf hinauslaufen, miteinander verschaltet zu werden. Technisch gut ausgebildete Ontologen wissen vor diesem Hintergrund, was von Positionen wie der Gruberschen zu halten ist. Tatsächlich wird sie mit dem *Internet of Everything* als *Real World Internet* geradewegs *ad absurdum* geführt; denn mit ihm wird der theoretische Transdisziplinaritätsgedanke wie die Idee der Verschaltung aller Ontologie nunmehr im realweltlichen Zusammenhang ganz praktisch. Denn im Potential wie in der Problematik der prinzipiellen *Interdependenz aller Ontologien* ist nicht weniger als der *Kern des IoX-Ontologiemoments* zu sehen. Mit ihm wird klar, dass die Grubersche Idee der minimalen ontologischen Verpflichtung komplett umzudrehen ist, und zwar *generell*; denn in IoX-Strukturen ist von dieser ontologischen Interdependenz prinzipiell keine Ontologie ausgenommen. Insofern wird deutlich, dass der Grubersche Ontologiegedanke mehr Unheil als Nutzen stiftet, denn eine ontologische Interdependenz von Ontologien, die keinerlei oder auch nur wenig ontologische Verpflichtung besitzen, wird kein *Autonomic Computing cyber-physischer "Reality Machines"* zulassen, was für IoX-Strukturen indessen gerade charakteristisch ist. Wenn das Grubersche Ontologieverständnis in der Disziplin am verbreitetsten ist, lassen sich somit Rückschlüsse auf ihren ontologischen Kenntnisstand schließen. Das ist dann als problematisch zu erachten, wenn mit Pisanelli et al. (2002: 125) alle Computersysteme auf Ontologien basieren. Somit besteht ein linguistisches Paradoxon: Mit dem *Internet of People* (IoP) wie

mit dem *Cognitive Computing* (CC) ist der *Common Sense* in jeder Ontologiearchitektur zu inkorporieren; andererseits kann dieser für das totale Ontologieverständnis gerade nicht ausschlaggebend sein; insgesamt betrachtet ist er vielmehr von nachgeordnetem Rang, wie es auch der methodologischen Position von Leibniz, Whitehead oder Popper entspricht.

Der Einwand, den linguistische Ontologen verschiedentlich vorbringen, nämlich dass eine *maximale ontologische Verpflichtung* schlichtweg genauso wenig zu realisieren sei wie ein ontologischer "Gold Standard", ist insofern grundsätzlich zu relativieren als diese allein in der Digitalmetaphysik der Informatik verwurzelt sein können und damit auf Basis einiger weniger allgemein akzeptierter digitalmetaphysischer Axiome faktisch einheitlich konzipiert sind. Die ontologische Wurzel der Informatik ist mit allen Anforderungen des *cyber-physischen Information Processing* der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik zweifelsohne inhärent; es gilt sie allein freizulegen und praktisch umzusetzen. Wie dies zu vollziehen ist, wird auf Leibniz, Whitehead und Popper aufbauend in dieser Abhandlung mit der *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) als *Ontological Computing Framework* (OCF) einerseits und entlang des *Cyber-Physical-Social-Thinking Hyperspace* mit CYPO FOX andererseits umrissen. Insofern kann man nur einen Einwand gelten lassen, nämlich jenen, dass diese maximale ontologische Verpflichtung *in praxi* nicht einfach durch Informatiker akzeptiert werden wird, solange ihnen die eigentlichen ontologischen Grundlagen ihrer Disziplin unklar sind. Technisch gesehen kann das *Internet of Everything* (IoX) mit seinem Anspruch des *Autonomic Computing* allein auf einem ontologischen "Gold Standard" aufbauen, von dem die Disziplin heute indessen noch ein gutes Stück entfernt ist. Technisch ist er im Leibniz-Whiteheadschen Sinne auch vergleichsweise problemlos zu realisieren. Nur setzt seine Realisierung ein rigoroses Umdenken in der Disziplin voraus, wobei die eigentliche Quintessenz seiner Verwirklichung genau hier zu sehen ist. Die Disziplin könnte seine Herausbildung immens beschleunigen, indem sie im Sinne guter wissenschaftlicher Praxis das vollzieht, was bisher nicht geschieht, nämlich die systematische Konfrontation aller TLO-Theorieanwärter mit den universalen IoX-Anforderungen der Informatik, denen sie mit ihrem inhärenten Allgemeingültigkeitsanspruch zu entsprechen haben. Ihre objektive Evaluierung wie rigorose Selektion wird *de facto* mit der im siebten Teil entwickelten *IoX-Anforderungsspezifikation* erstmals universal durchführbar.

Im Einzelnen bestünde in einer solchen ontologischen Evaluierung und Selektion echte Kärnerarbeit, denn heute existieren nicht nur Duzendende konkurrierender, d.h. zueinander inkompatibler *Top-level Ontologien* (TLO), sondern es kommen zu diesen letztlich noch Hunderte disparater Konzeptionen von *Top-level Kategorien* hinzu. In der Tat verzichtet eine ganze Reihe von Referenz- und insbesondere Anwendungsontologien auf die prinzipiell zwingende TLO-Referenz, indem sie mindestens implizit resp. in vielen Fällen gar explizit einfach ihre eigenen *Top-level Kategorien* voraussetzen. Auch insofern sind sie noch auf dem Stand von "*toy problems*" der AI-Anfänge, als es in der Disziplin noch um isolierte Maschinen ging; tatsächlich aber ist alle Ontologie im interaktiven Leibniz-Whi-

teheadschen *Komplexitätsuniversum* genauso interdependent wie es die interagierenden Agenten als solche sind. Aus diesem Grunde kommt die Informatik letztlich auch nicht um die erwähnte systematische Evaluierung und Selektion umhin. Diese sollte sie auf die echten TLO-Theorieanwärter beschränken, während sie die *zwingende TLO-Referenz aller Ontologie* als ersten Grundsatz in ihre Vorgehensleitfäden zu einem sachgerechten *Ontology Engineering* (OE) schreibt. Die Alternative dazu besteht in einem zusehends größer werdenden Meer inkompatibler Ontologien, die es im *Autonomic Computing cyber-physischer "Reality Machines"* im Sinne der ontologischen Interdependenzproblematik eigentlich gerade zu vermeiden gilt. Dabei schließt das Evaluierungs- und Selektionserfordernis der TLO-Theorieanwärter eine weitere Problematik mit ein: Gerade wiederum linguistische Ontologen sind dem Irrglauben erlegen, dass sich die Ontologiefrage der Informatik allein auf die *Knowledge Ontology* erstreckt; richtig ist jedoch, dass die fundamentale Ontologie jedem konzeptuellen Modell, jeder formalen Sprache und damit letztlich allen Systemen und Prozessen inhärent ist. Mit der direkten Korrespondenz von konzeptuellem und semantischem Modell können diese nicht auf anderen meta-ontologischen Dispositionen gründen als sie die *Knowledge Ontology* voraussetzt. Diese Fundamentalproblematik wird etwa daran deutlich, dass objektorientierte Ansätze völlig andere meta-ontologische Dispositionen voraussetzen als solche, die auf die *Event-Driven Architecture* (EDA) zielen.

Konzeptuelle Modellierer verstehen die Realitätsproblematik der Informatik zumeist bereits um einiges besser als linguistische Ontologen, die – wie Gruber – gar explizit von einem unmittelbaren Realitätsbezug absehen. Es scheint ihnen völlig unklar zu sein, dass es im cyber-physischen Zusammenhang der Informatik bei ontologischen Kategorien nicht um Begrifflichkeiten als solche geht als vielmehr in erster Linie um kausal wirksame, realweltliche Vorgänge. Insofern sind ihre cyber-physischen Kategorien auch von fundamentaler, d.h. *metaphysischer* Natur. Entsprechend sollte man auch nicht versuchen, sie auf *linguistische* Kategorien zu reduzieren. Es ist jedoch genau diese Annahme ihrer Reduzierbarkeit, die Voraussetzung der genauso verbreiteten wie unhaltbaren Idee ist, wonach man das Problem disparater *Top-level Kategorien* einfach in der Weise in den Griff bekommen kann, indem man sie gemäß linguistischer Übersetzungspraxis einem *TLO-Mapping* unterzieht. Natürlich ist das mehr als naiv; es wäre fahrlässig, wenn man etwa eine 4D-Prozesskategorie einfach in eine 3D+T-Prozesskategorie übersetzen würde, denn sie bezieht sich gerade auf jene *realweltliche* Vorgänge, die es etwa mit dem *Internet of Chemical Things* (IoCT) der chemischen Prozessindustrie im Zuge der Ontologiefrage der Informatik im *Internet of Everything* zu berücksichtigen gilt. Vielmehr ist jede fundamentale Ontologie bzw. jede *Top-level Kategorie* in ihrer Eigenart als metaphysische Ontologie prinzipiell inkommensurabel; sie ist nicht übersetzbar, und somit prinzipiell inkompatibel.

Alles *Computing*, ob *Cyber-physical Computing*, *Cognitive Computing*, *Service-Oriented Computing* oder etwa *Emergent Computing*, ist *Ontological Computing*. Mit Leibnizens *Metaphysica* wird nachvollziehbar, warum McCarthys (1995) "*general world view*" mit

McCarthy/Hayes (1969) *metaphysischer* Natur ist. Entsprechend impliziert McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" jene nach der für die Informatik adäquaten Metaphysik. Bereits *Cyber-physische Systeme* (CPS) basieren notwendig auf einem Physikmodell und einem Informatikmodell, die auf einem einheitlichen Fundament stehen, indem sie ansonsten kybernetisch nicht *kausal durchgängig als System* behandelbar sind. Dass die meta-ontologischen Anforderungen der Informatik auch nach fünfzig Jahren Ontologieforschung im Grunde völlig unklar und mit widersprüchlichen Ontologieentwürfen überaus umstritten sind, überrascht insofern nicht, als die Disziplin nicht nur die Ontologiefrage prozedural unsachgemäß adressiert, sondern auch, weil sie dabei nicht die Frage nach der *Metaphysik der Informatik* stellt. Damit aber kann sie ihre eigenen Grundlagen, die allgemein bei G.W. Leibniz gesehen werden, kaum verstanden haben. Tatsächlich gründet die ganze Informatik historisch wie faktisch in nichts anderem als in der Leibniz-Whiteheadschen techno-wissenschaftlichen Digitalmetaphysik. Boole, Peirce et al. sind dabei gewiss nicht außer Acht zu lassen, gehen jedoch genauso wie elementare Ideen der Kontinentalphilosophie in der durch Leibniz vorgedachten Whiteheadschen Synthese des *metaphysischen Logizismus* systematisch auf. Insofern die Ontologie die *metaphysica generalis* stellt, kann man auch von einem "*Onto-Logizismus*" sprechen, in dem der Kern des Leibniz-Whiteheadschen *Ontological Computing* der Digitalmetaphysik zu verorten ist.

Natürlich ist die fundamentale Ontologie der Informatik erst auf Basis dieses *metaphysischen Logizismus* bzw. "*Onto-Logizismus*" richtig verstanden und in sachgerechter Weise konzipiert. Das gilt entsprechend für das *Computing* an sich. Dass die Leibniz-Whiteheadschen Grundlagen universale wie dauerhafte Gültigkeit besitzen, zeigt dabei nicht nur ihr *Ontological Computing*, das als *universalontologisches Computing* in der Weise zu verstehen ist, dass alle Objekte, selbst jede Zelle und jedes logische Atom im Zeichen informatischer Bits mindestens logico-mathematischen Regeln folgt, oder aber umfassender logisch-mathematisch disponiert. Jedes dieser Elemente operiert bei Whitehead in der Weise, dass es universale "*sense-data*" wahrnimmt; höher entwickelte Organismen tauschen Informationen nicht nur syntaktisch, sondern auch semantisch aus. Dann geht es bei Whitehead faktisch auch um "*kulturelle Symbolisierung*", was deutlich macht, dass *linguistische Konzepte* im Whiteheadschen Ansatz keinesfalls ausgeschlossen sind. Sie können in einem *cyber-physischen Universum* nur nicht am Anfang stehen, was Informatiker, die den für die Informatik prinzipiell verfehlten Ansatz *linguistischer* Ontologie verfechten, sträflich übersehen. Digitalmetaphysisch betrachtet ist der "*linguistic turn*", der auch die Informatik durchdrungen hat, sachlich als "*nonsense*" zu erachten. Denn er stellt das *cyber-physische Universum* quasi auf den kulturalistischen Kopf der Alltagssprache. Diese generelle Fehlentwicklung ist zwingend zu revidieren, indem die Disziplin mit der Leibniz-Whiteheadschen *Metaphysica* als *ratio-empirischer Cyber-Physik* wieder auf ihre Füße zu stellen ist.

Mit der Digitalmetaphysik geht es um organismisch bzw. systemisch vernetzte interagierende Automaten, die im Sinne der mathematischen Graphentheorie ein Netzwerk von

Knoten und Kanten bilden. Abstrakt lässt sich das digitale Universum der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik, das als *cyber-physisches* Universum zu begreifen ist, als ein Netzwerk von Minirechnern auffassen, die neben einfachster Regelbefolgung über unterschiedliche Stufen von Intelligenz verfügen, und dabei auch intern die identische ereigniszentrische systemische Struktur aufweisen. Insofern ist jedes Objekt, auch jedes *Smart Object* ereigniszentrisch, wie es jedes *Computing* und jedes *Information Processing* an sich sind. Entsprechend wird das *Computing* im Zeichen des *metaphysischen Logizismus*, der in Verbindung mit Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* zu sehen ist, bei Whitehead auch konzipiert: Es gründet im logico-mathematischen Sinne auf *zellulären Automaten*, bei denen es in der für universale Zwecke erforderlichen abstrakten Weise um *ubiquitäres, autonom-adaptives* wie *cyber-physisches Perceptive Computing* von *Subjekt-Superjekten* geht, das sich bei höher entwickelten Organismen auf gleicher informativ-schen Basis von Bits und Bytes als *Cognitive Computing* von Agenten komplexer adaptiver Systeme darstellt. Vielmehr betrifft das *Ontological Computing* nicht nur die Frage des *Computing*, das lediglich auf Grundlage der Leibniz-Whiteheadschen *Metaphysica* tatsächlich *universale* Geltung besitzen kann, sondern damit genauso die Frage der Abgrenzung des damit verbundenen Diskursuniversums. Denn jedes *universale* Verständnis des *Computing* setzt notwendig ein *universales Diskursuniversum*, ein "*Universe of Discourse of Anything*" voraus, auf das es sich erstreckt. Dass die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik mitsamt ihres *Ontological Computing* allein die Richtung in allen entscheidenden Fragen der Informatik weisen kann, zeigt der Umstand, dass mit dem *Internet of Everything* als *Real World Internet*, das mit ihrem Automatenuniversum strukturidentisch ist, all die formalen bzw. theoretischen Grundlagen ganz praktisch werden. Mit der Sensorik und Aktorik bzw. den Minicomputern von *Smart Objects* geht es im *Internet of Everything* um genau dieses *universale Computing*; es geht also um ein *Ontological Computing*, das neben den Minicomputern durch *Supercomputer globaler IoX-Intelligenz* komplettiert wird.

Indem alles *Computing* als *Ontological Computing* zu verstehen ist, wird nicht nur deutlich, dass die Rede etwa von *Cognitive Computing* oder *Emergent Computing* nicht mehr als Facetten von diesem darstellen, sondern dass sie dabei immer *in genau seinem* totalen, metaphysischen Zusammenhang stehen: Wie das *Cognitive Computing* (CC) tatsächlich sachgerecht zu verstehen ist, wird erst auf Basis der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik klar; dabei steht auch dieses aktuell noch auf dem Kopf: Seine Ontologien sind rein *linguistische*; insofern ist es kulturalistisch – und nicht digitalistisch bzw. cyber-physisch. Damit aber ist es nicht konsistent aufgesetzt, indem die linguistische Semantik mit ihrer Zentrierung auf 3D-Objekte und ihrem Denkschema des Hylemorphismus mit 4D-*Event Streams* der Cyber-Physik inkompatibel ist. Mit anderen Worten ist der heutige Zuschnitt des *Cognitive Computing* im *Internet of Everything* verfehlt, indem sich etwa zwischen dem *Internet of People* (IoP) und dem *Internet of Things* (IoT) zwar wohl konzeptionell, jedoch gewiss nicht *cyber-physisch* differenzieren lässt. Verfehlt ist es auch insofern, als

die Ontologieaspekte kognitiver Agenten im *Internet of Agents* (IoA) nicht auf Basis naiven *Common Sense* beurteilbar sind, wenn sie letztlich auf *Superintelligenz* zielen und diese gerade *ex definitione* über *Common Sense* maßgeblich hinausgeht. Offenbar muss es dann um *methodologisch* exakte *Scientific Ontologies* gehen, was in der AI-Ontologieforschung jedoch völlig unbeachtet ist. Insofern ist auch das *Cognitive Computing* zunächst auf die Füße zu stellen, womit auch dieses in der dauerhaft wie universal gültigen Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik zu verankern ist. Anders lässt sich weder sein eigentliches Potential eröffnen noch meta-ontologisch bedingte logische Fehlschlüsse ausschließen.

Demgegenüber kann von einer solch dauerhaft universalen Gültigkeit in der aktuellen Ontologiedebatte der Informatik keine Rede sein. Das liegt nicht nur daran, dass vielfach das erforderliche theoretische Tiefenverständnis in der Ontologiefrage fehlt, sondern vielmehr auch an einem ganz pragmatischen Fehler: Denn gerade in der alles entscheidenden Frage werden an die praktische Vorgehensweise nicht jene Ansprüche gestellt, die in der Informatik wie im Engineering ansonsten völlig selbstverständlich sind. Denn ein systematisches *Requirements Engineering* zur Spezifikation der fundamentalen Ontologie ist bisher in universaler Hinsicht noch nie vollzogen worden. Mit anderen Worten existieren zahllose konkurrierende TLO-Theorieanwärter, während nie versucht worden ist, die eigentlichen universalen Anforderungen, anhand derer sie erst evaluiert und selektiert werden können, sachlich neutral zu spezifizieren. Entsprechend setzt die vorliegende Abhandlung genau an diesem zentralen Defizit der Disziplin an; ihr Ziel ist in der *universalen Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Theorieanwärter* gegeben, um auf dieser Grundlage das TLO-Inkommensurabilitätsproblem als eigentliches Kernproblem der Informatik zu überwinden. Dieses Ziel setzt den Vollzug eines systematischen *Requirements Engineering* voraus, das die universalen Anforderungen anhand des *Internet of Everything* als totalem Diskursuniversum bestimmt. Wenngleich ein solches Vorgehen in dieser Sache ein Novum markiert, ist dieser Schritt gerade umso mehr als unerlässlich zu erachten, indem die bisherige Forschungspraxis ihm gerade völlig widerspricht: sie zeigt sich dadurch bestimmt, dass Ontologen der verschiedensten Disziplinen ihre jeweiligen paradigmatisch gefärbten ontologischen Vorstellungen von vornherein in die Ontologiedebatte mitbringen und sie unvermittelt auf die Ontologieproblematik der Informatik projizieren. Dass sich auf Grundlage dieser Praxis kein Konsens erzielen lässt, versteht sich im Grunde von selbst.

Wie vertrackt die Ontologiedebatte der Informatik tatsächlich ist, zeigt sich bereits auf den ersten Blick: Es geht um neo-aristotelische Philosophen, deren immanenter Realismus etwa durch biomedizinische Erfordernisse inspiriert ist; es geht um Linguisten und Kognitionswissenschaftler, für die der linguistische *Common Sense* nicht verhandelbar ist; es geht um klassische Physiker, die nicht minder doktrinär auf einen emergentistischen Materialismus insistieren; und es geht etwa um Praktiker der chemischen Prozessindustrie, die mit all dem nichts anfangen können, indem sie es eher mit dissipativen Systemen zu tun haben, die nach einem ontologischen Vierdimensionalismus verlangen. Hinzu kommt eine

Reihe weiterer Weltauffassungen, bei der im Grunde die ganze Bandbreite der Philosophie ins Feld geführt wird, um diese oder jene Position zu rechtfertigen. Systematisch um die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik geht es dabei nie, selbst nicht bei Sowa (2000), der zumindest in Teilen auf Whitehead aufbaut, jedoch die eigentlich entscheidenden Aspekte wie den *Cyber-Physical-Social-Thinking Hyperspace* von *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) genauso wenig adressiert wie Multiagentensysteme (MAS) oder *Complex Adaptive Systems* (CAS). Sowa sieht auch die Probleme der Alltagssprache gewiss nicht in der Weise, in der sie bei Leibniz, Whitehead, Popper oder Quine bei gleichzeitigem Votum für *Scientific Ontologies* herausgearbeitet wird. Entsprechend ist zu konstatieren, dass sich die ganze Ontologiedebatte der Informatik gerade durch solche ontologische Positionen bestimmt zeigt, die mit dem *Information Processing* der Informatik in all seinen Facetten im Grunde gar nichts zu tun haben. All diese Ontologien gehen dabei nicht nur am Grundstoff der *Information* vorbei, sondern damit auch an *Cyber-physischen Systemen* als solchen. Entsprechend überrascht es nicht, dass sich auch kein einziger Ontologieansatz der Informatik mit den Erfordernissen der *"New Physics"* bzw. *Komplexitätsphysik* auseinandersetzt, ohne die sich die für die Informatik entscheidenden Cyber-physischen Systeme bzw. *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) in keiner Weise ontologisch sachgerecht adressieren lassen. Der Umstand, dass bisher nie neutral nach der für die Informatik *tatsächlich* adäquaten Ontologiekonzeption gefragt wurde, sondern die verschiedensten Weltauffassungen bzw. Philosophien in unreflektierter und letztlich willkürlicher Weise auf die Informatik projiziert werden, ist als eigentlicher Kardinalfehler einer völlig aus dem Ruder laufenden Ontologiedebatte zu erachten. Dass man demgegenüber die Ontologiefrage nicht einfach der Diffusion der einzelnen Ontologieansätze überlassen kann, offenbaren Ansätze wie der Grubersche, wenn sie ungeachtet ihrer Inferiorität gerade bei ontologisch ungeschulten Fachvertretern die größte Akzeptanz finden. Entsprechend ist die Diffusion als kritischer Punkt zu erachten, bei dem im Sinne sachlicher Reflexion ggf. gegenzusteuern ist: Einmal etablierte, jedoch inferiore fundamentale Ontologien sind nicht ohne weiteres revidierbar, wenn sie einmal Modelle, Systeme, Prozesse, Services oder aber ganze Ontologiebibliotheken dominieren. Zweifellos ist in der Diffusionsfrage der *fundamentalen Ontologie* ein potentiell *Lock-in-Problem* gegeben, das als ebenso elementar zu erachten ist.

Wenn viele Informatiker dem Glauben erlegen sind, dass ihre Ontologie nichts mit Metaphysik zu tun habe, dann ist diese Position bereits insofern notwendig zu revidieren, als sich die für die Informatik *tatsächlich* adäquate Ontologiekonzeption nur dann bestimmen lässt, indem zunächst nach der *Natur ihrer Entitäten* zu fragen ist. Dabei ist in Bezug auf das *Information Processing* bereits auf den ersten Blick erkennbar, dass es hier nicht nur um die *Natur der Dinge bzw. Objekte*, sondern vor allem um die *Natur der Prozesse* geht. Es gilt also die fundamentalen Grundstrukturen aller Welten, mit denen es die Informatik zu tun hat, freizulegen, primär die Struktur der Realität. Tatsächlich aber sucht man in der bisherigen Ontologiedebatte die Auseinandersetzung mit der Metaphysik nicht; das Resultat

tat besteht dann darin, dass die Ontologiefrage gerade an jenem Grundstoff vorbeigeht, der für die Disziplin bestimmend ist. Linguisten verstehen nicht, dass die Informatik in der Ontologiefrage hinuntersteigen muss zur Ebene der Bits und Bytes. Darin hingegen besteht ein Kernaspekt des Leibniz-Whiteheadschen Paradigmas der Digitalmetaphysik. Die Semantik ist hier nicht etwas Primäres, sondern etwas der symbolischen Ebene bzw. der Semiotik nachgelagertes. Die Ontologie lässt sich in jüngeren Ansätzen der Informatik wie dem *Event Stream Processing (ESP)* oder etwa dem *Complex Event Processing (CEP)*, die den Whiteheadschen *Event Streams* genau entsprechen, nur auf dieser Signalebene *cyber-physischer Events* richtig fassen. Dann wird deutlich, dass ein "*Reality Computing*", um das es in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik auf der Grundlage eines spezifischen Realitäts- und Kausalitätsbegriffs immer schon ging, nur dann möglich ist, wenn auch *Cyber-physische Systeme (CPS)* ontologisch möglich sind. Dazu ist notwendig zu verstehen, dass die Ontologie dann zunächst einmal an sich auf den relationalen Systemgedanken abzustellen hat, der mit isolierten Objekten, Dingen bzw. Substanzen unverträglich ist. Mit ihm ist das kybernetische *Prinzip systemischer Durchgängigkeit* zu fordern, womit ersichtlich wird, dass qua kausalem Systemgedanken solche Systeme weder auf Materie als Grundstoff basieren können noch dass dabei die aristotelische *Form-Materie-Dichotomie* eine weiterhin sinnvolle Orientierung bieten kann. Indes ist es letztlich auch diese, die zur Bestimmung des Extensionsbereichs in der linguistischen Ontologie zum Einsatz gelangt.

Leibniz wie Whitehead haben sich mit all diesen Fragen, die heute mit dem *Internet of Everything* bzw. dem *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* ihrer *Cyber-Physical Social Systems (CPSS)* relevant werden, nicht umsonst eingehend auseinandergesetzt. In ihren Positionen bestehen jene, die heute erforderlich sind, um die verworrene Ontologieproblematik der Informatik sachlich aufzulösen. Erst mit der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik ist ersichtlich geworden, dass der cyber-physische Grundstoff aller Diskursuniversen nicht in der *Materie*, sondern allein in der *Information* bestehen kann. Erst auf ihrem *cyber-physischen* Universum bzw. metaphysischen Logizismus aufbauend konnte N. Wiener zum "Cyberneticist" avancieren, der die *Information* genau in diesem Zusammenhang als dritte Größe der Physik postulierte. Denn wie allen Cyber-Physikern war auch Wiener klar, dass sich *Cyber-physische Systeme (CPS)* nur dann realisieren lassen, wenn das Physik- und Informatikmodell auf einer einheitlichen metaphysischen bzw. physikalischen Basis stehen. All diese Zusammenhänge hat im Grunde kaum ein Ontologe der Informatik richtig verstanden; denn ansonsten würden sie sich nicht alle auf fundamentale Ontologien fixieren, die auf *Objekte* bzw. den Grundstoff *Materie* bezogen sind.

Die *Top-level Ontologie* ist für die Informatik nicht nur aus dem Grunde elementar, indem alle Modelle, Systeme, Sprachen usf. mit Ontologie durchsetzt sind. Vielmehr ist das totale IoX-Diskursuniversum insofern entscheidend, als mit ihm deutlich wird, dass sich letztlich keine Ontologie isoliert betrachten lässt; alles ist prinzipiell mit allem interdependent, was nicht nur für die Agenten, sondern genauso für die durch sie verwendeten Onto-

logien gilt. Tatsächlich werden die umfassenden Defizite und Defekte der konfusen Ontologiedebatte erst dann richtig greifbar, wenn sie unter dem Gesichtspunkt dieser *ontologischen Interdependenz* betrachtet werden. Dass diese genauso wie eine *fundamentale ontologische Inkompatibilität* faktisch besteht, lässt sich anhand einer Vielzahl von Fällen und auch exemplarisch schnell belegen: So ist für das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) etwa die auf die BFO-TLO referenzierende OBO-Foundry genauso von Relevanz wie die W3C *SSN Sensor Ontology*, die auf die DOLCE-TLO referenziert, während sein konzeptuelles Modell klassischerweise auf Basis der BWW-TLO entwickelt wird; wenn das Ganze dann noch im Zeichen des *Cognitive Internet of Things* (CIoT) vermittelt eines *Cognition as a Service* (CaaS) automatisch reflektiert wird, gelangen wiederum andere inkompatible Ontologien ins Spiel; bei IBM Watson etwa DBPO, YAGO und ergänzend WordNet. Hier lässt sich direkt mit einem weiteren Beispiel anschließen: bei WordNet wird auf erster Ebene zwischen *living things* (organisms) und *non-living things* (objects) als 3D-Entitäten differenziert, während etwa die Sowa-TLO *alle* Entitäten als organismische 4D-Entitäten auffasst. Dagegen werden bei der SUMO-TLO Diskursuniversen in der Form repräsentiert, dass an erster Stelle zwischen konkreten und abstrakten 3D-Entitäten differenziert wird, während die BFO-TLO ihre Repräsentationen mit der Unterscheidung von 3D-Kontinuanten und 4D- (bzw. 3D+T)-Okkurrenten beginnt. Indem diese und nachfolgende Kategorien mit einer Vielzahl meta-ontologischer Dispositionen verknüpft sind, ist letztlich keine dieser Repräsentationen tatsächlich kompatibel. Vielmehr sind sie alle zueinander fundamental inkompatibel, was sich gewiss auch nicht in Form eines *TLO-Mapping* nivellieren lässt.

Mit dem *Internet of Everything* als "*Universe of Discourse of Anything*" wird im Zeichen der prinzipiellen Interdependenz aller Ontologie ein Konsens in der Ontologiefrage unumgänglich. Von dem *einen Internet of Everything* kann *ex definitione* faktisch nur dann gesprochen werden, wenn diese *ontologische Interdependenz* als eines seiner Kernmomente begriffen wird. Daraus folgt, dass das *Internet of Everything* notwendig auf eine *einheitliche Meta-Ontologie* zu stellen ist, was eine *Einheits-TLO* als fundamentale universalontologische Referenzebene impliziert. Jede andere Sichtweise geht nicht nur an den Wesensmerkmalen des *Internet of Everything*, sondern mit dem Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversum letztlich genauso grundsätzlich an den eigentlichen Ontologieproblemen der Disziplin vorbei. Das Argument, dass durch das *Internet of Everything* das "*Universe of Discourse of Anything*" verkörpert wird, mit dem alle Ontologieanforderungen der Informatik abgedeckt sind, hängt dabei weniger mit dem Umstand zusammen, dass die meisten IT-Systeme heute internetbasiert sind. Vielmehr macht es daran fest, dass das *Internet of Everything* (IoX) im Zeichen der Anforderungen des *CPST-Hyperspace* von *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) sämtliche Domänen und Anwendungsprobleme der Informatik abdeckt, indem es um Informations- wie um Wissensprobleme geht, um konzeptuelle und semantische Modelle, um *Common Sense Worlds* wie um *Scientific Superintelligence*, um die Ontologieanforderungen menschlicher wie maschineller Agenten usf.

Der IoX-Begriff geht auf Gartner (2012) zurück, das als IT-Technologieforschungsunternehmen in der Identifikation strategischer IT-Trends anerkannt ist. Cisco (2012: 3) hat sich als Netzwerkausrüster ganz dem IoX-Gedanken verschrieben, für den gilt: »IoE brings together people, process, data, and things to make networked connections more relevant and valuable than ever before«. Dass der IoX-Gedanke auf jenen *komplexer Systeme* hinausläuft ist naheliegend; entsprechend geht es auch bei Cisco (2013b: 2) um ein »network of networks where billions or even trillions of connections create unprecedented opportunities as well as new risks«. Mit ABI Research (2014: 7) bildet das *Internet of Everything* dabei »the final evolutionary stage of the connected world, in which the previously unconnected, physical-first objects and processes, as well as humans, converge with those that are digital-first by their nature«. Wesentlich ist dabei die Feststellung: »there is only one "Internet"«; d.h., dass etwa die Rede von "IoT" rein konzeptioneller Natur ist. Im Grunde ist darin der Kern des IoX-Gedankens zu sehen, woraus unmittelbar unsere zentrale IoX-These des "*Universe of Discourse of Anything*" abzuleiten ist. In ihm gibt es nur eine Art von *Computing*, nämlich *IoX-bezogenes Ontological Computing*, dessen Facetten sich unmittelbar aus der Digitalmetaphysik ableiten. Wenn etwa Fingar (2015: 60) vom *Cognitive Internet of Everything* spricht, dann ist auch darin nur eine dieser zahlreichen Facetten zu sehen, womit das bisherige *linguistische CC-Verständnis* unter Gesichtspunkten *universaler Perzeption und Kognition* entsprechend zu revidieren ist. Analoges gilt für De Matos et al. (2017), die den IoX-Gedanken an *Context-Aware Systems* festmachen; auch ihre Konzeption muss an der universalen Interaktion resp. Adaption aller Agentenklassen ansetzen.

Um die verschiedenen Facetten der *Ontologie* bzw. des *Computing*, um die *Vielheit in der Einheit* von Leibnizens *Ontological Computing* zu verstehen, wird es notwendig, das *Internet of Everything* in interdependente *IoX-Subsysteme* zu zergliedern, wie es allgemein vollzogen wird. Wie in Pkt. 1.1 im Einzelnen dargelegt, klassifiziert ABI Research (2014) drei IoX-Subsysteme, während es bei Fingar (2015) bereits sechs sind. Hinterfragt man diese Abgrenzungen kritisch, relativiert sich manche davon sofortig. Andererseits erweisen sie sich mit Blick auf die AI-Disziplin als inkomplett und ontologisch nicht hinreichend reflektiert, was ebenso in Pkt. 1.1 näher ausgeführt wird. Vor dem Hintergrund einer kritischen Revision lassen sich *fünf IoX-Subsysteme* differenzieren, die eine jeweils arteigene, in der *IoX-Meta-Ontologie* jedoch *integrativ* zu lösende Ontologieproblematik aufweisen:

- (i) *Internet of Data (IoD)*: *Real-Time Big Data Streaming Analytics (OCEP)*
- (ii) *Internet of Services (IoS)*: *technologische Ontologien (Semantic EA / ED-SOA)*
- (iii) *Internet of Things (IoT)*: *CPS-adäquate Ontologien (korrektes Physikmodell)*
- (iv) *Internet of Agents (IoA)*: *exakte technoscientific Ontologies / MAS-Ontologies
Agentenwelten / Belief Systems (Thinking Space);
MAS-Superintelligence [M2M, M2R, R2M]*
- (v) *Internet of People (IoP)*: *exakte Semantic E-Sciences vs. inexakte Common
Sense Ontologies (Social Web) [H2H, H2M, M2H]*

Mit diesen fünf IoX-Subsystemen bzw. dem *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* ihres totalen Diskursuniversums wird deutlich, dass die Frage der *Meta-Ontologie der Informatik* notwendig im Kontext einer *integrativen Ontologiekonzeption* zu stellen ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese fünf IoX-Subsysteme ontologisch wie technisch in einer gewissen Ordnung stehen; das *Internet of Data (IoD)* ist insofern grundlegend, als es dabei primär *in cyber-physischer Erfahrung* um Bits geht, denen die Semantik nachgelagert ist. Demgegenüber stellt das *Internet of Services (IoS)* maßgeblich die technische Infrastruktur, indem das *Internet of Everything (IoX)* insgesamt die *Event-Driven SOA (ED-SOA)* voraussetzt, was wiederum das *XaaS-Paradigma (Everything as a Service)* impliziert. Erst auf dieser Infrastruktur kann dann das *Internet of Things (IoT)* aufbauen, in dem ontologisch insofern die größten Schwierigkeiten bestehen, als es kausal in der *physischen* Realität ist und dabei eine universale cyber-physische Durchgängigkeit erfordert, die nicht im Widerspruch zum aktuellen Stand aller *Scientific Ontologies* stehen kann. Mit dem *Internet of Agents (IoA)* werden IoT-Strukturen erst richtig umfassend intelligent, womit sich schließlich zeigt, dass inexakter *Common Sense* des *Internet of People (IoP)* eher ein naives Spezifikum denn die universale Grundlage von allem darstellen kann.

Mit dem *IoX-Hyperspace* wird die Abgrenzung distinkter *Welttypen* unabdingbar, was eine integrierte Ontologiekonzeption disparater *Ontologietypen* impliziert. Dabei geht es um mehr als um eine *Ontology of Levels*, nämlich um eine parsimonisch gut reflektierte *Mehrweltenontologie*, die in Verbindung mit dem CPS- bzw. CAS/MAS-Aspekt *vier disparate Ontologietypen parallel wie integrativ* voraussetzt. Ihre Integration wird durch eine *einheitliche TLO-Referenz* sichergestellt, wobei es die *Top-level Ontologie* als *fundamentale Ontologie* ist, die die *Meta-Ontologie der Informatik* als oberste Referenzontologie verkörpert. Dabei ist die Inkommensurabilitätsproblematik der konkurrierenden TLO-Theorieanwärter nicht zuletzt in der *Vielheit in der Einheit* von Leibnizens *Ontological Computing* zu sehen: Natürlich muss die *universale TLO-Referenz* genauso für *inexakte Common Sense Ontologies* wie etwa für alle technologischen oder wissenschaftlichen Ontologien gleichermaßen bestehen können. Und darin liegt erst ihre eigentliche Herausforderung, von der alle bisherigen TLO-Theorieanwärter abstrahieren. Dabei ist eine solch omnipotente Ontologiekonzeption nicht nur notwendig, sondern auch möglich; man muss dabei nur den Rang bzw. das Verhältnis der einzelnen Ontologietypen beachten: Methodologisch können *inexakte Common Sense Ontologies* keine primäre, sondern nur nachgeordnete Stellung besitzen, während technologische Ontologien den notwendigen Mittler zwischen *Scientific Ontologies* und *Ontologien der Technopraxis* bilden. – Insgesamt wird somit ein radikaler ontologischer Neuanfang erforderlich, dessen erster Schritt darin besteht, dass an Stelle des verfehlten "*linguistic turn*" ein erneuter, IoX-adäquater "*ontological turn*" treten muss: es geht für die Informatik im Zeichen ihres *Ontological Computing* um einen Leibniz-Whiteheadschen "*turn*", der sie in technischer Aktualisierung und Ergänzung zu ihren eigentlichen Grundlagen und metaphysischen Fundamenten zurückbringt.

Zehn Kernthesen zur *Ontologie komplexer IoX-Systeme*

»[I]n ontology everything is connected with everything else.«

— Fred Wilson (1983: 462)

1. *Der Ontologiebegriff ist ambivalent, die Ontologieverständnisse inkompatibel, die Ontologiedebatte konfus; ihre Klärung verlangt die fundamentale cyber-physische Perspektive, die nur digitalmetaphysisch fixiertes Ontological Computing eröffnet.*
2. *Linguistische "Ontologien" sind de facto semantische Netze ohne maximale ontologische Verpflichtung des fundamentalen Weltmodells; als solche sind sie IoX-inadäquat. Daher muss auf den "linguistic turn" ein erneuter "ontological turn" folgen.*
3. *Ontologie ist "metaphysica generalis", womit der "ontological turn" die Frage der für die Informatik adäquaten Metaphysik impliziert; sie ist primär an cyber-physischen Signalen/Bits, Event Streams, und am Grundstoff Information zu entscheiden.*
4. *Jede neutrale Prüfung der Metaphysikfrage ergibt, dass die für die Informatik adäquate Digitalmetaphysik in Whiteheads ratio-empirischer Prozessmetaphysik besteht; als Cyber-Physik stellt sie universales Event Stream Processing (ESP) dar.*
5. *Die Top-level Ontologie (TLO) repräsentiert als oberste Referenzebene die fundamentale Ontologie der Informatik; mit der ontologischen Interdependenz liegt das Ziel in einer universalen Einheits-TLO, die in der Digitalmetaphysik verankert ist.*
6. *Indem ein TLO-Mapping unmöglich ist, fordert die Einheits-TLO die rigorose Evaluierung und Selektion aller TLO-Theorieanwärter anhand des totalen Diskursuniversums der metaphysischen Cyber-Physik bzw. der IoX-Anforderungsspezifikation.*
7. *IoX/DAI fordert im MAS/CAS-Sinne die Verschaltung lokaler/regionaler Intelligenz (Fog Computing) mit globaler Intelligenz (Cloud Computing); der TLO-Ansatz ist technisch auf Real-Time Streaming Analytics, in toto (EA) auf ED-SOA auszulegen.*
8. *Im MAS/CAS-Sinne muss es bei IoX/RTBDA um ein 4D Complex Event Processing gehen, das mit CYPO OCEP eine TLO-EO-Verkopplung vollzieht, über die sich mit der Verschaltung aller Ontologien faktische MAS-Superintelligenz realisieren lässt.*
9. *Der Cyber-Physical-Social-Thinking IoX-Hyperspace ist kausal irreduzibel; es geht um vier distinkte Welt- bzw. Ontologietypen, die mit CYPO FOX zu einem kohärent Ganzen vereint werden: von M2M-Superintelligence bis zum H2H-Common Sense.*
10. *Die Probleme der Informatik liegen tiefer, da sie nicht nur ontologisch, sondern genauso epistemologisch bzw. methodologisch und somit metaphysisch bedingt sind; ihr fehlt das unverstandene Leibnizprogramm, das mit IMKO OCF erneuert wird.*

Diese zehn Kernthesen werden im Folgenden näher erläutert. Die in eckigen Klammern eingefügten Zahlenangaben stellen dabei die jeweils relevanten Seitenverweise dar; hier finden sich die eigentlichen Ausführungen in der jeweils erforderlichen Detailliertheit:

1. *Der Ontologiebegriff ist ambivalent, die Ontologieverständnisse inkompatibel, die Ontologiedebatte konfus; ihre Klärung verlangt die fundamentale cyber-physische Perspektive, die nur digitalmetaphysisch fixiertes Ontological Computing eröffnet:* Mit der Feststellung »there is only one "Internet"« ist das Internet of Everything (IoX) einerseits dann richtig verstanden, wenn es als einziges "Universe of Discourse of Anything" adressiert wird, also als ein totales Diskursuniversum, in dem letztlich alles mit allem interdependent ist. Die Informatik hat es natürlich nicht

mehr mit isolierten Computern zu tun, sondern mit einem interagierenden Netzwerk vernetzter Automaten bzw. Agenten, die ungeachtet ihrer heterogenen Einsatzkontexte (IoT, IoA, IoP usf.) dennoch zusammen *ein* komplexes System bilden: das *Internet of Everything* (IoX). Andererseits agieren diese vernetzten Automaten bzw. Agenten selbstorganisatorisch resp. autonom; entsprechend ist für das IoX-Diskursuniversum das *Autonomic Computing* in Form eines "*Reality Computing*" [1815 ff.] konstituierend. Damit wird insgesamt offenbar, dass die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf *Distributed Artificial Intelligence* (DAI) zielt. Mit dem Aspekt der Vernetzung geht es dabei gar nicht so sehr um lokales Lernen, auch wenn es in ewig neuen *Event Streams* gewiss unabdingbar ist. Weitaus zentraler sind die *Ontologien*, auf denen nicht nur die AI-Disziplin, sondern die Informatik insgesamt mit allen Modellen bzw. Systemen fußt. Zusammen genommen, also bei verteilter Intelligenz, die sich auf *ein und dasselbe Diskursuniversum* bezieht, wird deutlich, dass alle Ontologien *in fundamentaler Hinsicht* orchestriert sein müssen, indem sie sich auf das gleiche Integriationsszenario beziehen. Anders gewendet dürfen sie in fundamentaler Weise, nämlich bezogen auf die *Top-level Ontologie* (TLO) nicht inkommensurabel, d.h. unübersetzbar und somit inkompatibel sein [147 ff.]. Entscheidend ist vielmehr, dass jede vollumfängliche semantische Interoperabilität in fundamentaler Hinsicht eine Korrespondenz aller Ontologien voraussetzt. Andernfalls ist sie unmöglich zu realisieren. Blickt man indessen auf den Stand der Ontologieforschung, ergibt sich in dieser entscheidenden Sache ein ernüchterndes Bild: Fakt ist, dass bereits der *Ontologiebegriff* in der Informatik in mindestens *sieben* disparaten, d.h. inkompatiblen Varianten gebraucht wird [442], und bezogen auf jeden einzelnen dieser Ontologiebegriffe begründen sich dann die diversen, wiederum untereinander inkompatiblen fundamentalen *Ontologieverständnisse*. Schließlich geht es dann erst auf einer dritten Stufe um die Koexistenz miteinander inkompatibler *Ontologiekonzeptionen*, insbesondere um das System aller kategorialen Details. Diese Ontologiekonzeptionen sind insofern als *konkurrierend* zu erachten, als es sich um bewusste Alternativentwürfe zur fundamentalen Ontologie handelt, die also mit einer Nichtakzeptanz der jeweils anderen Ansätze zu tun haben. Ansonsten würde es längst eine *Einheits-TLO* geben, die jedoch heute – über das ganze Feld betrachtet – nicht einmal im Ansatz auszumachen ist. In der Tat ist das Ontologieproblem der Informatik dreistufig; will man es auflösen, muss man Stufe für Stufe analysieren und sie sachgerecht klären. Im Grunde ist eine Klärung problemlos möglich, indem jede Ontologie in *fundamentaler Hinsicht ex definitione* immer einen Allgemeingültigkeitsanspruch stellt, auch wenn es nicht explizit erfolgt. Dann muss sie also für das "*Universe of Discourse of Anything*" der Informatik und damit für das *Internet of Everything* (IoX) insgesamt voraussetzbar sein. Die drei Stufen lassen sich dabei wie folgt fassen: (i) *Ebene der Ontologiedisziplin:*

Ist *Ontologie* ein philosophischer oder ein linguistischer bzw. kognitionswissenschaftlicher Sachverhalt; mit welcher Disziplin ist der Ontologiebegriff entsprechend *primär* zu assoziieren? Durch linguistische Ontologen bzw. Computerlinguisten wird dabei regelmäßig die Anschlussfrage übersehen: bezieht sich die Ontologiefrage allein auf *semantische* Modelle bzw. die *Knowledge Ontology* [536 ff.], oder auch auf *konzeptuelle* Modelle [479 ff.]? Und wenn letzteres gilt, nur auf konzeptuelle Modelle von Informationssystemen oder auch auf solche von Wissenssystemen, und dann auch auf *wissenschaftliche* Diskursuniversen? Das Ontologieverständnis von TLO-Ansätzen wie BWW oder GFO bezieht sich dabei gar primär auf solche konzeptuellen Modelle, für die nicht zuletzt das Realitätsverständnis entscheidend ist; entsprechend versteht sich die BWW-TLO auch explizit als *metaphysische* Ontologie, während die GFO-TLO ebenfalls einen realistischen Ontologiebegriff voraussetzt, der auf verschiedenste Philosophien verweist. Die Sowa-TLO fokussiert speziell das Zusammenspiel von konzeptuellen und semantischen Modellen, wie es für semantisch interoperable IoX-Systeme insgesamt unabdingbar ist. Die Konsequenz besteht in dem Erfordernis der Konvergenz der Ontologien [592 ff.]. Damit setzen solche wie andere Ontologieansätze nicht nur ein gänzlich anderes Ontologieverständnis als jenes bei Gruber (1993, 1995) voraus [454; 784 ff.], sondern legen damit verbunden auch einen völlig anderen Ontologiebegriff zugrunde. Indem Linguisten für ihre semantischen Modelle gewiss keine anderen meta-ontologischen Dispositionen bzw. Kategorien voraussetzen können als jene, die für die konzeptuelle Modellierung gelten, ist klar, dass Ontologen nicht mit linguistischen Semantikern wie Gruber gleichgesetzt werden können. Ontologen sind vielmehr als *primär realitätsbezogene* konzeptuelle Modellierer zu erachten, indem sie zunächst die Natur aller Entitäten der jeweiligen Diskurswelt samt strukturellen Aspekten erfassen; erst darauf aufsetzend widmen sie sich der eigentlichen Semantik. Es geht also primär um *fachkonzeptuelle*, nicht um linguistische Modellierung, womit die Modellierer auch Fachexperten für das jeweilige spezifische Diskursuniversum sein müssen. Genauso wenig wie reine Linguisten Ontologien für die Industrie 4.0 entwickeln können, weil sie keine Industrieexperten sind, können sie auch keine fundamentalen Ontologien entwickeln, weil sie keine Philosophen sind. McCarthys (1995) Hilfsersuchen richtet sich nicht ohne Grund explizit an die Philosophie, und nicht an die Linguistik oder irgendeine sonstige Disziplin. Im Hinblick auf das *totale Diskursuniversum* ist entsprechend zu fordern, dass jeder Ontologe bei allen fundamentalen Fragen ein revisionärer Metaphysiker sein muss; denn nur sie sind Fachexperten für alle Fragen bezüglich der fundamentalen Strukturen aller Diskurswelten, insbesondere der Realität. (ii) *Ebene der Meta-Ontologie*: kann alles beliebig repräsentiert werden oder sind dabei Restriktionen zu beachten? Ist zwischen Aktualismus und Possibilismus zu differenzieren oder ist alles

eins? Geht es bei Ontologie um Universalien, um Konzepte oder mit Blick auf kombinierte Informations- und Wissenssysteme ggf. um beides [1615 ff.; 1847 ff.]? Gibt es eine objektive Realität oder ist alles konstruiert [1689 ff.]? Wie sind Konstruktivismus und Relativismus im Kontext von Ontologie und Epistemologie zu beurteilen, wenn Automaten etwa bei *vollautonomen Fahrzeugen* (IoV, SAE Level 5), im *Internet of Chemical Things* (IoCT) oder *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) in einer cyber-physischen Realität interagieren, und somit entsprechend ausnahmslos alle naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten gelten? Dass es einen ontologischen Relativismus gibt, der letztlich nur erfahrungswissenschaftlich bzw. naturwissenschaftlich aufzulösen ist, bildet den zentralen Grundpfeiler der vielfach unverstandenen Ontologie Quines. Indem jede CPS-adäquate Ontologie indessen in transdisziplinärer Weise *techno-wissenschaftlich* und damit unter dem Aspekt *kausaler Wirksamkeit* zu verankern ist, führt der Irrweg, den die Ontologie mit Wittgenstein, Strawson und anderen genommen hat, über Quine zum Leibniz-Whitehead-Konnex ratio-empirischer Digitalmetaphysik als Cyber-Physik zurück. Es besteht eine ganze Reihe weiterer solcher meta-ontologischer Fragen. Geht es um den philosophischen Ontologiebegriff, dann finden auf dieser zweiten Ebene zumindest grob alle neo-aristotelischen Ontologiekonzeptionen zusammen, zu denen dann so widersprüchliche Ansätze wie jene von B. Smith, E.J. Lowe oder Bunge zu einer Gruppe zusammenzufassen sind. Denn es handelt sich um philosophische Ontologien, die am Endurantismus und Aktualismus sowie am Grundstoff der Materie festmachen, und dabei in ihrer aristotelischen Grundrichtung im Gegensatz zu anderen Ansätzen eine mehr oder minder ausgeprägte Wissenschaftsnähe aufweisen. Diese ist dann bei Bunge am ausgeprägtesten [1302 ff.]. Ungeachtet ihrer grundsätzlichen meta-ontologischen Einordbarkeit sind sie jedoch in allen genauso entscheidenden meta-ontologischen Details grundverschieden, indem es etwa bei Bunge explizit um *Scientific Metaphysics*, einen systematischen *Ratio-Empirismus* und einen *Scientific Realism* als methodologische Basis geht, was etwa bei B. Smith (BFO) alles nicht der Fall ist. Demgegenüber findet sich bei Bunge auch nicht der sprachphilosophische Ansatz Smithens, der auf der deskriptiven Auslegung der aristotelischen Kategorienlehre gründet. Vielmehr setzt Bunge auf formale Methoden. Entsprechend stellt sich der eigentliche ontologische Widerstreit erst auf der dritten Ebene. (iii) *Ebene der Kategoriensysteme*: wie ist das Kategoriensystem im Detail spezifiziert [1540 ff.]? Welche Kategorien gibt es und warum? Welche Kategorien sind über-, welche untergeordnet – und warum? Ist dabei die Ereignis- oder die Objektkategorie primär [1142 ff.; 1517 ff.]? Wie sind die jeweiligen Kategorien meta-ontologisch disponiert [1508 ff.]; ist also etwa die Ereigniskategorie konkret oder abstrakt [1615 ff.], endurantistisch oder perdurantistisch [1657 ff.; 1849 ff.], aktual oder possibilistisch [1637 ff.; 1848 ff.], multiplikativ

(Whitehead, Popper) oder reduktionistisch (Quine, Bunge) verankert [1708 ff.]? Auf dieser dritten Ebene stehen sich entsprechend erst die zahlreichen konkurrierenden TLO-Theorieanwärter bzw. Hunderte einfacher Ontologien mit eigenen *Top-level Kategorien* gegenüber [123 ff.]. Die Inkompatibilität zeigt sich dann etwa insofern, als die Ereigniskategorie in dem einen Ontologieansatz auf Basis des Grundstoffs *Information* im Zeichen eines 4D-Possibilismus steht, während sie in dem anderen einen 3D-Aktualismus auf Basis des Grundstoffs *Materie* bedeutet und dabei nicht für sich steht, sondern immer auf einen Träger bezogen ist [1454 ff.]. In der nächsten Ontologie fehlt dann die Ereigniskategorie komplett, indem es etwa bei Gruber nur Objekte gibt [791]. Erst auf dieser dritten Ebene geht es also um die eigentlich entscheidende Frage nach der Realisierbarkeit einer *vollumfänglichen semantischen Interoperabilität*, was gewiss nur auf den ersten Blick ein linguistisches Problem markiert. Vielmehr stellt die semantische Interoperabilitätsfrage in fundamentaler Hinsicht immer ein *metaphysisches* Problem dar; das Inkommensurabilitätsproblem ist demnach ein *metaphysisches* [147 ff.; 156 ff.], das auch nur auf Grundlage der Metaphysik selbst auflösbar ist. – Man muss kein Ontologe sein, um zu verstehen, dass sich tatsächliche semantische Interoperabilität in komplexen *IoX/DAI-Strukturen* auf einer solch chaotischen Basis nicht einmal im Ansatz realisieren lässt. Denn sie kann keineswegs billigen, dass etwa bei M2M-Kommunikation die Inhalte einer in beiden Systemen gegebenen Ereigniskategorie in fundamentaler Hinsicht etwas völlig anderes bedeuten. Deshalb ist es auch falsch, Kategorien rein linguistisch auslegen zu wollen. Dieses Problem verschärft sich dabei ganz erheblich, indem völlig inkompatible Ontologieansätze dennoch teils einheitliche Repräsentationssprachen nutzen. D.h., dass ein entscheidungsautonomer Computer als *cyber-physische "Reality Machine"* ggf. verschiedene Ontologien im gleichen Format miteinander kombiniert bzw. verschaltet, ohne erkennen zu können, dass mit ihren fundamentalen Kategorien etwas nicht stimmt bzw. dass sie letztlich völlig unterschiedliche reale Sachverhalte repräsentieren. Indem Computern nicht zuletzt bei einheitlichen Repräsentationssprachen noch lange die Intelligenz fehlt, um solch regelmäßig verdeckte Inkompatibilitäten von Ontologien eigenständig zu erkennen und zu korrigieren, können AI-Systeme auf einer solch inferioren Basis auch keine reflektierten Entscheidungen treffen. Lernen und fundamentales Verstehen gehen bei AI-Systemen also keineswegs Hand in Hand. Im Grundsatz besteht die gleiche Problematik beim maschinellen Lernen, indem autonome Maschinen auch hier nicht ohne ein fundamentales Weltmodell auskommen, das bei einer Vielzahl solcher Maschinen überdies nicht grundlegend heterogen sein kann. Dabei ist etwa das Erfordernis, Entitäten vierdimensional zu erfassen, für kognitive Roboter gewiss nicht im Hinterhof *ad hoc* erlernbar; gerade entscheidungsautonome *"Reality Machines"* ohne umfassendes Reflexionsvermögen benö-

tigen vielmehr ein fundamentales Weltmodell, wie es McCarthy (1995) nicht ohne Grund gerade auch für die kognitive Robotik eingefordert hat. Vor diesem Hintergrund ist die Ontologiedebatte nicht nur aus dem Grunde vertrackt, weil diese grundsätzlichen Probleme gar nicht erst diskutiert werden, obschon sie natürlich immer existent sind. Vielmehr wird die Debatte ebenso nachlässig geführt, weil vielen Beteiligten die beschriebene Dreistufigkeit offensichtlich nicht bewusst ist. Sie gehen in ihr nicht analytisch vor, indem sie Stufe für Stufe auf ihre tatsächliche Adäquanz für die Informatik neutral untersuchen. Tatsächlich steht die eigene Perspektive erst gar nicht zur Disposition. Indessen wurde oben anhand des totalen IoX-Diskursuniversums begründet, warum die Informatik dennoch zu einem *universalen* Ontologiebegriff wie zu einem *einheitlichen* Ontologieverständnis gelangen muss. Nichtsachkundigen Informatikern können auf Dauer nicht durch unterschiedliche Autoritäten völlig disparate Ontologieansätze vermittelt werden, ohne dass die Ontologieexperten zuvor die Ontologiefrage neutral wie systematisch für die universalen Zwecke der Informatik gestellt haben. Dieser Schritt ist in Form einer universalen Anforderungsspezifikation zu vollziehen, die zur Beseitigung dieses zentralen Forschungsdefizits im siebten Teil entwickelt wird [1809 ff.]. Das Ontologieproblem der Informatik ist also zunächst einmal durch die Ontologieexperten zu lösen, bevor die breite Masse ontologisch zumeist unzureichend geschulter Informatiker *Ontologien* im Zeichen Pisanellis et al. (2002: 125) in der ganzen Disziplin und den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen einsetzen. Für den Stand der Ontologiepraxis ist dabei Mikas (2007) "*ontologies are us*" auch insgesamt bezeichnend; denn an der systematischen Realisierung einer tatsächlich universalen Perspektive besteht kein zwingendes Interesse. Das wiederum ist nicht zuletzt ursächlich dadurch bedingt, dass der Disziplin die Universalinformatiker ausgehen, während sie durch Fachinformatiker dominiert wird, die nicht mehr das Ganze sehen, auf das es in ihren integrativen wie transdisziplinären Kontexten im Zeichen Leibnizens jedoch gerade ankommt. Dabei gilt: je intelligenter AI-Systeme werden, desto grundlegender sollten Informatiker philosophisch, d.h. ontologisch, epistemologisch wie methodologisch geschult sein. Das kann indessen nicht bedeuten, dass die Philosophie in dieser Sache vorgefertigte Lösungen für die Informatik parat hielte. Denn die Ontologiedebatte gestaltet sich in der Philosophie nicht unbedingt besser. Vielmehr besteht auch hier das Problem, dass regelmäßig vier, fünf oder gar sechs Varianten von Ontologiebegriffen mit jeweils völlig unterschiedlichen Ontologieverständnissen abgegrenzt werden [442], ohne dass dabei allen elementaren Fragen nachgegangen wird. Vor diesem Hintergrund können Philosophen durchaus zu neuen Einsichten gelangen, wenn sie beginnen, Ontologie auch im technologischen Licht der Informatik zu begreifen. Welcher Philosoph wird dann noch ernsthaft bestreiten, dass *Cyber-physische Systeme* (CPS) real existent sind?

Unter dem Aspekt der Cyber-Physik haben es dann auch Philosophen ontologisch mit *Systemen* zu tun, die sich gewiss nicht auf Materie reduzieren lassen. Zwar sind alle Größen der Physik ontologisch relevant; allerdings bilden Materie und Energie keine durchgängigen Prinzipien. Signale bzw. Information im Zeichen der Booleschen Logik hingegen schon [1304; 1309]; es handelt sich dabei nicht etwa um etwas Emergentes, als vielmehr um universale Prinzipien, die sich entsprechend auch *in allem Emergentem* wiederfinden. Emergenz und Submergenz sind entsprechend für alle Ontologie universal ausschlaggebend [1724]; vor dem Hintergrund *Cyber-physischer Sozialer Systeme* (CPSS) wird deutlich, dass der *CPST-Hyperspace* kausal irreduzibel ist (vgl. These 9), indem er auf *diesen* universalen Prinzipien kausaler Wirksamkeit steht, nicht etwa auf ontologischen Existenzprinzipien, die im Zeichen dreidimensionaler Körper an Materie festmachen. Somit stellt sich in allen Disziplinen der Streit um die Ontologie in Wirklichkeit als *Streit um die richtige Metaphysik* dar [962 ff.]. Es geht insgesamt um die *eine* Ontologiefrage und damit ist dieser Streit universal zu lösen, d.h. für alle Disziplinen: für die Philosophie, für alle Wissenschaften, alle Technologien wie für alle Praxis. Wenn zu fordern ist, dass Informatiker philosophisch besser zu schulen sind, kann es nicht um vorgefertigte Lösungen oder Positionen gehen, sondern vielmehr um die Fähigkeit zum kritischen Infragestellen etwa von Modellen, Methoden und Konzepten. Bei Cyber-physischen Systemen (CPS), mit denen es Informatiker zu tun haben, läuft das dann notwendig auf die Whiteheadsche Metaphysik als *Cyber-Physik* hinaus; diese kommt *nach* allen techno-wissenschaftlichen Disziplinen, einschließlich H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial*. Insofern ist sie strikt ratio-empirisch verankert, was zwingend erforderlich ist, wenn die *metaphysische Ontologie* erst das Kategorienschema erschafft, mit dem die *Wissensontologie* in allen Domänen in transdisziplinärer Weise arbeitet. – Wenden wir uns vor diesem Hintergrund nochmals ad (i) der *Ebene der Ontologiedisziplin* zu: dieser erste Streit ist als Streit verschiedener Disziplinen um die Deutungshoheit in Sachen *Ontologie* zu verstehen. Es ist der Streit zwischen Verfechtern des klassischen philosophischen Ontologieverständnisses auf der einen Seite und Linguisten, Computerlinguisten, Kognitionswissenschaftlern bzw. reinen Sprachphilosophen auf der anderen Seite. Das geht dann so weit, dass Guarino den Ontologiebegriff exklusiv für die Informatik einfordert; die Philosophie solle stattdessen von *Konzeptualisierung* sprechen [1878]. Dessen ungeachtet stehen die meisten Informatiker im Grunde zwischen den Stühlen; tatsächlich wird Ontologie in der Informatik parallel sowohl im philosophischen wie linguistischen Modus betrieben, während in der Systemnutzung bzw. ihrer Umsetzung in Repräsentationssprachen bzw. Ontologieformaten nicht differenziert wird. In dieser parallelen Praxis besteht das erste Fundamentalproblem. Der Streit auf der ersten Ebene, der seine Ursache vor allem im Konstruktivismus [1689

ff.] bzw. damit verbunden in der *linguistischen Wende* der Philosophie besitzt [442], lässt sich im Grunde schnell belegen, nämlich mit einem einzigen Argument: Ontologie ist allein schon deshalb notwendig *Metaphysik*, weil man allein dann über das *Wesen der Ontologie* wissenschaftlich diskutieren kann, z.B., ob sie sich auf den Grundstoff der Materie oder jenen der Information bezieht, oder ob Alltagssprache wirklich immer mit der faktischen Realität korrespondiert. Wer sich als Ontologe nicht auf solche Diskurse einlässt, vertritt zumeist doktrinäre Positionen, was kaum einer geeigneten Wissenschaftspraxis entspricht. Indem deskriptive Metaphysiker ihre Position regelmäßig im Rekurs auf Kant rechtfertigen, kommen sie nicht umhin detailliert zu belegen, *warum* man auf revisionäre Metaphysik tatsächlich verzichten kann. Denn Kant sagt gewiss etwas völlig anderes, nämlich das genaue Gegenteil. Die Zuordnungen und Ausführungen bei Strawson (1959), auf den sich Informatiker auch explizit berufen, sind nicht nur entsprechend dürftig, sondern sie sind auch schlecht. Denn sie stimmen nicht. Aristoteles wie Kant als Gewährsträger einer deskriptiven Position anzuführen, ist schlichtweg falsch. Denn für Aristoteles ist Metaphysik allein schon insofern *revisionär*, als sie immer, d.h. gerade auch in ihren Inhalten, *nach* der Physik kommt [1244 ff.], während Kant die Metaphysik gerade als ein "Zensoramt" sieht, das auf die Erfahrung bezogen ist [989 ff.]. Auch letzteres ist als *revisionäre* Position zu verstehen. Strawson, der sich explizit auf Kant bezieht, vertritt also in Wirklichkeit eine zu Kant inverse Position. Darin besteht nicht etwa eine unbedeutende Fehlinterpretation, sondern eine Umkehrung zentraler Tatsachen, da es genau den Kantischen Kern betrifft. Denn Kants Votum für eine Metaphysik, die dem *Ratio-Empirismus* bzw. der revisionären Metaphysik Whiteheads entspricht, gründet gerade darin, dass er jede Metaphysik jenseits von Erfahrung mit verabsolutierten Positionen vehement ablehnt. Er lehnt also gerade das entschieden ab, was Strawsons *deskriptive Metaphysik* verkörpert [1588 ff.], worauf sich wiederum der größte Teil der Ontologien der Informatik direkt oder zumindest indirekt beruft. Natürlich geht es auch beim alltagssprachlichen naiven *Common Sense* letztlich um solch verabsolutierte Positionen, denn dieser ist kulturalistisch und damit pfadabhängig. Auf die systematische Hinterfragung seiner Inhalte ist *Common Sense* im Gegensatz zu methodologisch richtig verstandenen *Scientific Ontologies* gerade nicht angelegt. Entsprechend weisen in *dieser* Hinsicht die Positionen Poppers auch eine Kant-Nähe auf, denn es geht gewiss nicht um einen echten Konstruktivismus, sondern vielmehr um einen *kritischen Realismus*, wie er schließlich bei Whitehead und Popper zur ganzen Entfaltung gebracht wird. Gewiss ist *Common Sense* nicht grundsätzlich abzulehnen, indem es überzogen wäre, für die Erfassung bzw. Repräsentation einfachster Sachverhalte durch menschliche Agenten auf wissenschaftliche Methoden zurückgreifen zu wollen. Vielfach ist das auch gar nicht möglich, wenn sich der *Common Sense* nicht auf die Natur, sondern

auf die Eigenarten und Artefakte sozialer Welten bezieht [1961 ff.]. Gegenstand von *Common Sense Ontologien* ist dann der *Common Sense*. Dann geht es um Entitäten, die es nur im *Common Sense* gibt. Demgegenüber liegt jedoch das Problem der Erfassung der Realität *Cyber-physischer Systeme* (CPS) gänzlich anders. Diese ist etwa auf Basis von Multisensorsystemen derart komplex, dass es gar nicht menschliche, sondern vielmehr maschinelle Agenten sind, die diese Realität wahrnehmen. Dabei ist nicht menschlicher *Common Sense* ausschlaggebend und auch nicht analog das, was maschinelle Agenten induktiv erschließen. Vielmehr muss es dann selbst bei einfachsten *Engineering Artefakten*, wie sie für das *U-PLM-Referenzszenario* charakteristisch sind [183 ff.], um exakte *technologische Ontologien* gehen, die ungeachtet ihrer pragmatischen Ausrichtung in allen wichtigen Belangen strikt auf wissenschaftliches Wissen referenzieren. Das ist bei Cyber-physischen Sozialen Systemen (CPSS), die den Restriktionen der Cyber-Physik unterliegen, unerlässlich. Auch wenn *Scientific Ontologies* heute kaum eine Rolle spielen und technologische Ontologien im Grunde gar keine, gehört ihnen, insbesondere letzteren in ihrer Mittlerfunktion im "*Reality Computing*" die Zukunft. Was die Ontologieforschung heute auf Grundlage von *Common Sense Ontologien* bietet, ist demgegenüber gerade nicht CPSS-adäquat. Mehr noch: diese Ontologieposition ist für die Informatik insgesamt gar als irreführend zu erachten, weil sie an *Materie* und *3D-Objekten* festmacht, während sie die eigentlich ausschlaggebenden kausalen Interaktionen *Cyber-physischer Sozialer Systeme* (CPSS), die sich auf Basis des Grundstoffs der *Information* als *4D-Event Streams* vollziehen, mit ihrem dafür inferioreren kategorialen Schema erst gar nicht registriert. Daraus folgt, dass in den Bereichen, in denen es angezeigt ist, eine andere, geeignetere fundamentale Ontologie ins Spiel gelangen muss als jene TLO-Theorieanwärter, die heute das Feld dominieren. Es muss dann um Ontologien gehen, die man als echte *techno-wissenschaftliche* Ontologien erachten kann, die exakt sind. Betrachtet man die in den Vorbemerkungen abgegrenzten fünf IoX-Subsysteme insgesamt, wird deutlich, dass der tatsächliche Stellenwert inexakter *Common Sense Ontologien* letztlich eher gering ist. Das Leibnizsche *Computing* geht nicht zuletzt gerade auch darauf zurück, die inexakte Alltagssprache durch formale exakte Sprachen zu ersetzen. So gesehen hat der *Common Sense* mit den Grundlagen des *Computing* rein gar nichts zu tun. Er ist in der AI-Disziplin nur aus zwei Gründen existent: erstens, weil er im Zuge der "*toy problems*" der AI-Anfänge genutzt wurde, zweitens weil *menschliche* Agenten Bestandteile *Cyber-physischer Sozialer Systeme* (CPSS) bilden und AI-Anwendungen auf ihren Nutzen zugeschnitten sein sollten. Das macht ein entsprechendes Interface zur *Human-Computer Interaction* (HCI) erforderlich, was jedoch keineswegs bedeutet, dass *maschinelle* Agenten selbst auf dieser inferioren Basis operieren sollten, wenn sie in cyber-physische IoX-Kontexte eingebunden sind, die

realwissenschaftlich bzw. technologisch erfassbar sind. Das Leibnizsche exakte Computing, das auf dem "*general world view*" der Digitalmetaphysik gründet, durch inexakte alltagssprachliche *Common Sense Ontologies* ersetzen zu wollen, missachtet nicht nur die eigentlichen Grundlagen des *Computing*, sondern es konterkariert insgesamt das, was das Leibnizprogramm als solches ausmacht (vgl. These 10). Wir halten also fest, dass *Common Sense* nicht mehr als einen wesentlichen Teilbereich der Ontologieproblematik im *Internet of People* (IoP) ausmacht, wobei indes entscheidend ist, dass dieser mit den Ontologien aller anderen vier Subsysteme umfassend verquickt ist, also etwa mit IoA- oder IoT-Ontologien. In dieser Verquickung besteht das Problem, indem die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* allein auf *einer* einheitlichen fundamentalen Basis stehen kann. – In Kant besteht also insgesamt einer der Schlüssel zur Auflösung der Ontologieproblematik. Dass Whitehead sein Kategoriensystem nicht doktrinär vertritt, sondern für ihn außer Zweifel steht, dass es im Zeichen des *Ratio-Empirismus* ständig zu überprüfen ist, geht mit der Kantischen Metaphysikkritik konform – Strawsons Idee einer verabsolutierten, d.h. von der Erfahrung entbundenen deskriptiven Metaphysik jedoch gerade nicht. Wer Ontologie als eigentlichen Sachverhalt für die Computerlinguistik bzw. die Kognitionswissenschaften reklamiert, kann also weder *Ontologie* noch *Computing* verstanden haben. Wer sich als *deskriptiver Metaphysiker* bezeichnet, hat auch die Metaphysik nicht begriffen; wie in den Vorbemerkungen ausgeführt, geht dies weder mit dem Metaphysikbegriff noch mit ihrem eigentlichen Gegenstand konform. Damit ist diese erste, disziplinäre Ebene der Ontologieprobleme geklärt: die *Ontologie* gehört in ihren Grundlagen in die Philosophie; sie ist *allgemeine Metaphysik* und macht als solche nicht weniger als die *Erste Philosophie* aus. Wie weiter unten deutlich wird, gilt dies für die CM-Ontologie im Bereich der konzeptuellen Modellierung ohnehin, da es dann um die Realitätsfrage usf. geht; es gilt jedoch natürlich genauso für die klassische AI-Ontologie, was auch führende AI-Vertreter wie Glymour/Ford/Hayes (2000) unterstreichen, wenn sie feststellen, dass die *AI-Disziplin* im Kern *Philosophie* ist [606]. Dessen ungeachtet ist es natürlich richtig, dass Ontologie etwas mit Epistemologie wie mit Kognition zu tun hat; auch ist richtig, dass Ontologien in bestimmten Fällen, konkret in jenen des *Common Sense*, teils auch darüber hinaus auf Basis der Alltagssprache sachgerecht repräsentiert werden können. Ontologie hat also gewiss genauso wie mit der Mathematik auch etwas mit Linguistik zu tun, mit den Kognitionswissenschaften wie mit der Wissenschaftstheorie, mit Logik wie mit der Informatik. Allerdings gehört sie als allgemeine Metaphysik natürlich grundsätzlich in die Philosophie und somit ist jede Ontologie in ihren mindestens impliziten fundamentalen Dispositionen immer philosophische Ontologie. Natürlich lässt sich der Streit um die Ontologie gar nicht ohne Metaphysik aufheben; denn eigentlich ist es ein Streit um die Metaphysik, in-

dem es letztlich um die Frage der Natur der Dinge bzw. Prozesse geht. Wenn nur hier die Lösung erzielt werden kann, verlagert sich der Streit um die Ontologie automatisch auf die Ebene der Metaphysik. Dann stellt sich die Frage der für die Informatik tatsächlich adäquaten Metaphysik; und diese lässt sich nur dann verstehen, wenn das Computing als solches verstanden ist. Dann muss man es abstrakt verstehen; dann muss man nicht nur zurück zu Turing, sondern noch weiter, man muss zurück zu den *Logical Machines* bei Peirce, dann muss man zurück zu Boole und schließlich zurück zu Leibniz, mit dem man dann wieder vorrücken kann zu Whitehead. Das *Internet of Everything* (IoX) ist in fundamentaler Hinsicht lediglich auf der Grundlage des Leibniz-Whitehead-Paradigmas verstehbar. Denn das totale Diskursuniversum der Informatik lässt sich allein vor dem Hintergrund des *universalen Computing* aller Automaten bzw. Agenten in allen relationalen Strukturen aller Domänen sachgerecht verstehen. Das Verständnis eines *universalen Computing* von *Logical Machines*, die zugleich *cyber-physische "Reality Machines"* verkörpern, setzt den metaphysischen Logizismus der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik voraus. Es zeigt sich also nicht nur durch die formale Logik bestimmt, sondern durch die Automatenklasse und ihre Netzwerkstruktur. Ontologie betrifft somit die metaphysische, d.h. fundamentale Struktur des Diskursuniversums genauso wie damit wissensontologisch zusammenhängend die Intelligenz der Automaten bzw. Agenten. Der Streit um die Ontologie der Informatik ist ohne das *Ontological Computing*, das auf der Digitalmetaphysik gründet, nicht aufzulösen. Denn die Ontologie der Informatik ist letztlich notwendig in die Digitalmetaphysik eingebettet – auch wenn davon – vielleicht mit Ausnahme von McCarthy/Hayes (1969) – in den fünfzig Jahren Ontologiedebatte niemals die Rede gewesen ist. Alles *Computing*, etwa *Ubiquitous Computing* [1821 ff.],¹ *Cyber-physical Computing* [1815 ff.] oder *Cognitive Computing* [1838 ff.], ist mit Castel (2002) immer als *Ontological Computing* zu verstehen. Sie stellen nicht mehr als Facetten von diesem dar,² während es gerade darauf ankommt, das *Ontological Computing* im Ganzen der Digitalmetaphysik zu verstehen. Wenn etwa das *Cognitive Internet of Things* (CIoT) als IoA/IoT-Symbiose Teil des *Internet of Everything* (IoX) ist, betrifft auch das *Cognitive Computing* unmittelbar die Frage der Ontologie bzw. Metaphysik. Sieht man es aus der Perspektive der Fachinformatiker, ist es samt seiner Semantik auf den *Common Sense* menschlicher Agenten und ihrer Alltagssprache

¹ Als solches ist es als "*context-aware and situation-aware computing*" zu verstehen, was entsprechende *kontextsensitive* (CAW-) resp. *situationssensitive* (SAW-) Ontologien voraussetzt, die wiederum auf eine Kopplung mit 4D-basierten *Real-Time Locating Systems* (RTLs) hinauslaufen und damit ein *4D-basiertes Ontologieverständnis* einfordern. Das Erfordernis *universaler Ontologie* wird genauso unterstrichen, wenn das *Complex Event Processing* (CEP) in komplexen IoX-Systemen notwendig zum *Ubiquitous Complex Event Processing* (U-CEP) avanciert, das wiederum als TLO-basiertes *Ontology-driven Complex Event Processing* (OCEP) ontologisch mit allen situativen IoX-Kontexten umgehen können muss.

² Anders gewendet lässt sich sagen, dass alle Formen des *Computing* Facetten des *IoX-Computing* bilden, das ein "*Reality Computing*" repräsentiert und als solches insgesamt *ontologisch* veranlagt ist.

bezogen und damit auf die linguistische Ontologie fixiert. Ein echter Universalinformatiker sieht das *Cognitive Computing* jedoch ganz anders, nämlich aus der ganzheitlich-systemischen Perspektive der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Diese beginnt gerade nicht damit, die inferiore Kognition menschlicher Agenten auf das generelle Computing zu projizieren. Denn das stellt das Leibnizsche Computing genau auf den Kopf. Vielmehr ist bei der Cyber-Physik und damit bei der *universalen Perzeption* der Leibniz-Whiteheadschen Art zu beginnen; die *Perzeption* ist also in einer Weise zu konzipieren [1082], die für alle Automaten- bzw. Agentenklassen Bestand haben kann. Erst auf dieser universalen Basis setzt die *Kognition* auf, womit sie neutral zu konzipieren ist, indem kognitive maschinelle Agenten keineswegs prinzipiell genau in der gleichen Weise operieren sollten wie menschliche Agenten – auch wenn sie letztere verstehen bzw. emulieren können müssen. Im Leibniz-Whiteheadschen Computing steht damit die Semantik in einer direkten Beziehung zur Semiotik bzw. Symbolisierung, die wiederum im Sinne der Sensorik *unmittelbar empiristisch*, und zwar *informativ* verankert ist. Insofern ist hier alle Semantik immer nur nachgelagert; die erfahrungswissenschaftlichen realen Vorgänge bilden also das Primäre, und nicht das Schema naiver Sprachwelten. Das auf CYPO FOX aufsetzende *Ontology-driven Complex Event Processing* (CYPO OCEP) als *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) [1572 ff.; 1846 f.], bei dem die ontologische Semantik auf Strukturmuster bezogen ist und somit einen unmittelbaren Bezug zwischen Semiotik und Semantik impliziert, verdeutlicht diesen Zusammenhang (vgl. These 8). Es ist dieser Zugang, der im sensorbasierten *Cognitive Internet of Things* (CIoT) den richtigen Ansatzpunkt markiert. CPSS-adäquat ist das konventionelle Verständnis des *Cognitive Computing* also nicht; es zeigt nur final, dass die Informatik in ihrer linguistischen Orientierung einem grundlegenden Irrtum aufgesessen ist, der im Leibniz-Whiteheadschen Sinne zu korrigieren ist. Das gilt auch dann, wenn viele Fachinformatiker diese Notwendigkeit erst gar nicht verstehen wollen; Meta-Ontologie ist vielen zu abgehoben, nicht von Interesse oder fällt nicht in ihren Kompetenzbereich. Dessen ungeachtet betrifft sie natürlich den Kern ihres Tuns; sie ist von *direkter* pragmatischer Relevanz, gerade was die *Cyber-physischen Systeme* (CPS) betrifft, mit denen die Informatik seit Leibniz eigentlich immer schon konfrontiert ist. Wenn auch Fachinformatiker nicht um *Cyber-physische Systeme* (CPS) umhinkommen, sollten sie schon genau verstehen, was diese in systemischer Hinsicht ausmacht, wie sie kausal funktionieren, inwiefern sie "real in der Welt" sind, oder worum es bei einer CPS-adäquaten Ontologie im Kern gehen muss. Sie würden dann alsbald feststellen, dass die Kernfrage der Ontologie, nämlich was existiert, genauso wenig an dem Aspekt der Materie wie an jenem der Energie festmachen kann. Indem es die Informatik mit CPS-Kontexten zu tun hat, sollte prinzipiell jeder Fachvertreter zum *cyber-phy-*

sischen Informatiker avancieren; zum systemischen "Cyberneticist", der in organismischen Regelkreisen von "*Reality Machines*" denken kann. Für diesen ist klar, dass die Realitätsfrage der Ontologie bzw. der Informatik allein an der *kausalen Wirksamkeit* festmachen kann, womit dann evident ist, dass die Informatik ihre bisherige Ontologie zu hundert Prozent *ad acta* legen muss.³ Denn diese ist im Grunde durchweg auf den Grundstoff der Materie bzw. im Kern auf Objekte fixiert, nicht aber auf den exklusivistischen cyber-physischen Vierdimensionalismus, den informatorische *Event Streams* in transdisziplinärer Weise einfordern. Dieser lässt im Whiteheadschen Sinne auch *Objekte* als prinzipiell vierdimensionale Entitäten zu. Mit den *Event Streams* unmittelbar zusammenhängend kann das Kausalitätsproblem nicht im Kantischen Sinne als eine Leistung des Verstandes begriffen werden, sondern es ist mit Whitehead von einer *empiristischen* Grundposition anzugehen, wie sie H.A. Simon (1995a) für die AI-Disziplin insgesamt postuliert. Die unmittelbare pragmatische Relevanz des *Ontological Computing* ist dabei darin gegeben, dass es die Frage der *konzeptuellen Modellierung* (CM) wie jene des *Ontology Engineering* (OE) in allen elementaren Aspekten direkt betrifft. Wenn mit Pisanelli et al. (2002: 125) gilt: »no computerized systems in this century will ever be designed without an ontological approach«, wird deutlich, dass diese Sachverhalte einer eingehenderen Klärung verlangen. Indem im Zeichen von McCarthys (1995) metaphysischen "*general world view*" [99 f.] und der durch diesen determinierten Semantik in Leibnizens Ontologie der eigentliche Kern der AI-Disziplin zu sehen ist, und letztere bei den heute gegebenen adaptiven bzw. intelligenten Systemen wiederum zum Kern der ganzen Informatik aufrückt, handelt es sich bei dieser fundamentalen, jedoch für pragmatische Zwecke unmittelbar relevanten Frage um eines ihrer großen Kernprobleme. Eigentlich ist es ihr Kernproblem schlechthin: Denn weder die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Speziellen noch die Ontologiefrage der Informatik im Generellen werden heute auch nur annähernd in sachgerechter Weise verstanden bzw. überhaupt diskutiert: zumeist ist unklar, dass Ontologie seit Leibniz immer da war und ist, also auch selbst dann, wenn man nicht explizit von ihr spricht [929]. Doch ist auch fünfzig Jahre nach Mealys (1967) expliziter Übernahme des Ontologiegedankens aus der Philosophie festzustellen, dass sich die Ontologiedebatte der Informatik völlig konfus gestaltet [442 ff.]. Diese These lässt sich nicht nur durch das Argument untermauern, dass in der Informatik faktisch dutzende miteinander konkurrierende "*general world views*" existieren [123 ff.], die damit den Gedanken umfänglicher semantischer Interoperabilität von vornherein im Kern konterkarieren, sondern auch dadurch, dass diese in Bezug auf ihre tatsächliche universale Adäquanz für die Informatik in keinem einzigen Fall in geeig-

³ Das gilt selbst für Sowa (2000), indem für diesen ungeachtet seiner Whitehead-Orientierung die Alltagssprache die Stellung eines *primären* ontologischen Ansatzpunktes besitzt.

netter Weise reflektiert sind. Denn ansonsten wären die existierenden "*general world views*" für die Informatik passender; tatsächlich gehen im Grunde alle Ansätze zur Meta-Ontologie an ihren eigentlichen Zwecken grundsätzlich vorbei. Indem schon mit McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" bzw. mit Minskys (1968c) "*unitary model of the world*" [99 f.] deutlich wird, dass sich der Ontologieaspekt der Informatik keineswegs allein als *Knowledge Ontology* auf die Wissensrepräsentation erstreckt, sondern mit Henderson-Sellers et al. (2013a, 2013b) vielmehr über die Metamodellierung nicht nur sämtliche Modelle,⁴ Modellierungs- und Formalsprachen, sondern damit verbunden auch alle darauf aufsetzenden Systeme, Prozesse bzw. Applikationen betrifft, wird der grundlegende wie zugleich pragmatische Charakter der Ontologiefrage nochmals offensichtlich. Entsprechend ist für alle Teile der Informatik zu fordern: »before we choose representation systems or algorithms, we first must create models of the world and clarify "what exists." [...] Building ontologies is now an essential activity that underlies nearly everything we do in the development of computational systems«. ⁵ Insgesamt fangen die Ontologieprobleme der Informatik damit an, dass sie nicht über eine für sie geklärte Ontologiekonzeption verfügt [1814, 1878 ff.], auf der die Ontologiepraxis sicher, zukunfts offen und universal aufbauen kann. Vielmehr wurde die zentrale Frage nach dem für sie adäquaten Ontologieverständnis in neutraler, d.h. an ihren universalen Anforderungen systematisch ansetzender Weise noch nie gestellt.

2. *Linguistische "Ontologien" sind de facto semantische Netze ohne maximale ontologische Verpflichtung des fundamentalen Weltmodells; als solche sind sie IoX-inadäquat. Daher muss auf den "linguistic turn" ein erneuter "ontological turn" folgen:* Der entscheidende Unterschied zwischen *linguistischen* und *philosophischen* Ontologien besteht primär nicht in den Unzulänglichkeiten der Alltagssprache, sondern in den völlig disparaten Typen von Metaphysiksystemen, auf die sie sich in unterschiedlicher ontologischer Verpflichtung jeweils stützen. Korrespondierend zur Abgrenzung der vier Metaphysikklassen [962 ff.; 1808] werden dazu generaliter zwei grundsätzliche Typen von Metaphysik unterschieden, nämlich die bereits genannte *deskriptive vs. revisionäre Metaphysik* [1588 ff.]. Unter erste fallen *linguistische Ontologien* vom Typ Grubers [454], die keinerlei Rekurs auf die Philosophie nehmen, sondern sich allein der Alltagssprache bedienen [784 ff.]. Es handelt sich also um Linguisten, die sich als "Ontologen" verstehen, obwohl sie es in keiner Weise sind. Denn ihre linguistischen Ontologien sind in Wahrheit nichts weiter als *semantische Netze* [170]; um *Ontologien* handelt es sich gerade nicht, weil sie ganz bewusst nicht nur von jedem fundamentalen Weltmodell abstrahieren, sondern genauso von jedem wissenschaftlichen Physik- bzw. Informatikmodell. Vielmehr soll

⁴ Das beginnt mit den *konzeptuellen Modellen*, vgl. Guizzardi/Halpin (2008) oder Verdonck et al. (2015).

⁵ Vgl. Guarino/Musen (2005: 1).

entweder überhaupt keine ontologische Verpflichtung oder allenfalls eine minimale eingegangen werden: während Genesereth/Nilsson (1987: 13) explizit ein »lack of commitment« verfechten, besteht es bei Gruber (1995: 910) als »minimal ontological commitment« fort [99]. Dabei wird allerdings übersehen, dass auch der Alltagssprache umfassende meta-ontologische Dispositionen inhärent sind.⁶ Analog zu seiner minimalen ontologischen Verpflichtung fehlt auch bei Gruber der Realitätsbezug; was Realität ist bleibt genauso ungeklärt wie alle grundlegenden Kategorien einer Welt. Stattdessen vertraut man auf eine – nicht nur unter wissenschaftstheoretischer Maßgabe – höchst fragwürdige wie naive *Harmonie-These*, auf die wir weiter unten zurückkommen. Etwas besser als die an der Linguistik orientierten linguistischen "Ontologen" macht es jener Teil davon, die zudem an den Kognitionswissenschaften orientiert sind. Solche kognitiven "Ontologen" sind zwar weiterhin der Alltagssprache bzw. dem *Common Sense* verpflichtet, nehmen jedoch das Moment der *kognitiven Verzerrung* (cognitive bias) menschlicher Agenten ernst, das für Gruber et al. gar nicht von Belang ist. Zu diesem Typ gehört zuvorderst die DOLCE-TLO von Guarino et al., die sich explizit als *deskriptive Metaphysik* im Sinne Strawsons (1959) versteht. Dabei greift sie in eklektizistischer Weise zusätzlich auf verschiedenste philosophische Theoriefragmente zur Grundlegung zurück. Indessen lässt sich dabei kaum behaupten, dass diese Theoriefragmente tatsächlich kompatibel sind; um ein geschlossenes Ganzes handelt es sich gewiss nicht. Etwas anders positioniert ist hingegen die BFO-TLO von B. Smith et al., die sich von der Philosophie her den kognitiven wie sprachphilosophischen Aspekten öffnet. Entsprechend ist dieser Ansatz an sich auch am geschlossensten und – ungeachtet seiner an sich verfehlten ontologischen Position – am umfassendsten ausgearbeitet. Die BFO stützt sich in Sachen der Kognition auf F. Brentano und Husserl, und verkörpert mit ihrem strengen *immanenten Realismus* einen neo-aristotelischen Ansatz [1244 ff.].⁷ Im Gegensatz zu Gruber gibt es bei Guarino wie insbesondere bei B. Smith mit Blick auf die Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen eine überaus umfassende ontologische Verpflichtung. Allerdings bleiben es bei Guarino epistemische Kategorien im Kantischen Sinne Strawsons (1959), während es bei B. Smith um ontische Kategorien im aristotelischen Sinne des *immanenten Realismus* geht [1291]. Indessen handelt es sich dabei im Zeichen der deskriptiven Metaphysik bei B. Smith um sprachphilosophische Kategorien der speziellen "*School of*

⁶ Das gilt allen voran für ihren *Endurantismus*, für ihre *Objektzentrierung* (statt Zentrierung auf *Event Streams*), für ihre *unscharfe Trennung zwischen Aktualismus und Possibilismus* oder für ihre meta-ontologische Positionierung als *deskriptive*, d.h. nicht-revisionäre Metaphysik. Als solche ist sie auf den *Common Sense* fixiert, was wiederum einen spezifischen Wahrmacher, nämlich *einfachen Konsens* bedingt. Entsprechend wird mit der Alltagssprache eine *verabsolutierte Position* (implizit etwa gegenüber der Relativitätstheorie) eingenommen; d.h. die Dinge sind so, wie sie sprachweltlich zu fassen sind.

⁷ In ihrer streng realistischen, tendenziell wissenschaftsnahen Perspektive ist die BFO-TLO eher mit der neo-aristotelischen Ontologie E.J. Lowes als mit der DOLCE-TLO verwandt. Indessen handelt es sich bei E.J. Lowe im Gegensatz zu B. Smith um eine echte metaphysische Position im aristotelischen Sinne.

Manchester" [1211 ff.], während sie bei Guarino als linguistische OLP-Kategorien der *Analytischen Philosophie* zu verorten sind [1210]. Dass das Inkommensurabilitätsproblem nicht etwa linguistischer, sondern philosophischer bzw. metaphysischer Natur ist, zeigen die bereits hier involvierten bedeutenden Ontologen: während die *"School of Manchester"* gemeinsam die Position von Guarinos *Analytischer Philosophie* bekämpft [1052], hat P.M. Simons sich inzwischen aus erster vollends herausgelöst, indem er sich von der mit B. Smith ursprünglich geteilten Substanzontologie ab- und Whiteheads Prozessontologie zuwendet [1212].⁸ Letztlich aber gehen sowohl die Position Guarinos (Kant) wie speziell in sprachphilosophischer Hinsicht auch jene B. Smithens (Aristoteles) auf den *"linguistic turn"* in Philosophie wie Informatik zurück [442], der durch Strawsons (1959) Vision der *deskriptiven Metaphysik* mit ihren letztlich falschen Verweisen auf Kant und Aristoteles für viele Ontologen erst richtig opportun wurde. Damit wird bereits deutlich, dass die deskriptiven Metaphysiken schon unter sich fundamental inkompatibel sind, was indessen bei den revisionären Metaphysiken nicht anders ist. Die Inkompatibilität der deskriptiven Metaphysiken lässt sich dabei in geeigneter Weise am *semiotischen Dreieck* aufzeigen [700 ff.]. Bei ihm geht es um die Relation von *Symbol-ebene*, *Extension* und *Intension* [703 ff.]. Schon auf seiner Basis lassen sich in fundamentaler Hinsicht völlig unterschiedliche Ontologie- bzw. Semantikverständnisse bestimmen. Bei Gruber etwa ist Ontologie *extensional*; bei Guarino hingegen *intensional* [703 ff.]. Bei B. Smith steht die Extension im strengen Zeichen des *immanenten Realismus* [1618 ff.], was weder bei Gruber noch bei Guarino der Fall ist. Echte semantische Interoperabilität lässt sich auf dieser Grundlage also nicht einmal innerhalb der deskriptiven Ansätze realisieren. In Bezug auf die revisionäre Metaphysik Whiteheads stellt sich das semiotische Dreieck wiederum gänzlich anders dar: denn hier ist es strikt auf den cyber-physischen Erfahrungsraum bezogen, womit es primär um die Relation von Symbol und Extension geht, während die Intension erst als letzte Instanz ins Spiel gelangt. Ob eine Entität existiert, wird dabei nicht wie bei Smithens hylemorphistisch veranlagter Ontologie an der Frage materieller Existenz [1244 ff.], sondern an der cyber-physisch wie systemisch relevanten Kausalitätsfrage festgemacht [1172; 1715]. Natürlich vertreten Verfechter der *revisionären Metaphysik* wie Whitehead, Bunge oder Popper auch insgesamt eine zur deskriptiven Metaphysik grundsätzlich konträre Position [1588 ff.]: Hinter ihr steht die Auffassung des *kritischen Realismus* [1691 ff.], wonach die beste Näherung an die Realität auf wissenschaftlichem bzw. techno-wissenschaftlichem Wege zu realisieren ist. Insofern handelt es sich bei ihren Kategorien auch nicht um verabsolutierte Kategorien der Alltagssprache, sondern um *wissenschaftliche* (Bunge) bzw.

⁸ Dabei geht es nicht nur um den *Substanz- vs. Prozessgedanken*; vielmehr sieht P.M. Simons (2004c) damit auch die *revisionäre* Metaphysikposition Whiteheads als die Metaphysik des 21. Jahrhunderts.

techno-wissenschaftliche (Whitehead) Kategorien, die als metaphysische Kategorien unmittelbar auf dem *Ratio-Empirismus* gründen [1020 ff.; 1540 ff.]. Als solche werden sie im Zuge intensiver Auseinandersetzung mit *allen* Disziplinen nach kosmologischer Maßgabe als Gesamtbild in Leibnizens universalem Sinne gewonnen. Revisionäre Metaphysiker sind solche, die sich mit der Abstraktion aller Erfahrung beschäftigen, die nach den fundamentalen Strukturen aller Welten, insbesondere der Realität suchen. Als solche sind sie natürlich keine Linguisten, sondern zuvorderst Physiker und Philosophen (Bunge) bzw. Cyber-Physiker, logico-mathematische Physiker und Kosmologen (Whitehead), die jedoch ein ebenso gutes Gespür für alle anderen Disziplinen einschließlich der Sozialwissenschaften, Technologien sowie Praxis benötigen. Indessen geht es dabei nicht um einen einfachen Empirismus wie etwa bei Quine bzw. um einen Positivismus.⁹ Vielmehr geht es um einen *Ratio-Empirismus*, der in dem Sinne zu verstehen ist, dass auf Basis einer empiristischen Universalsynthese rationale Hypothesen gebildet bzw. Axiome formuliert werden. Diese werden dann wiederum im Zuge methodologischer Wissenschaftspraxis auf ihre Haltbarkeit überprüft. In diesem Sinne findet sich der *Kritische Rationalismus* Poppers [1693 ff.] bereits im *Ratio-Empirismus* Whiteheads [1020 ff.] – allein mit dem Unterschied, dass es bei Whitehead im Zeichen der Kosmologie wie eines »interplay between science and metaphysics« vor allem um die universalen Fragen geht [140; 985], während Popper auf konkrete erfahrungswissenschaftliche Sachverhalte zielt, die jedoch nicht mehr als die Verfeinerung der mit Whitehead deckungsgleichen Kosmologie bilden. Insofern ist Popper in allen fundamentalen Hinsichten ein verfeinerter Whitehead (auf den er sich auch explizit beruft), der etwa im Zuge der Methodologie auch die wissensontologisch relevante Frage nach der *Natur des Wissens* stellt. Im Gegensatz zu Quine ist Popper klar, dass man ontologisch nie auf Metaphysik verzichten kann. Das gilt nicht nur in den hier dargelegten generellen Hinsichten, sondern auch ganz konkret in Bezug auf die Argumentation Quines. Denn das für Quine entscheidende Problem der *ontologischen Relativität* lässt sich durch naturalistische Theorien zwar entscheidend mindern, jedoch nicht annähernd auflösen. Denn natürlich stellt sich das Problem *ontologischer Relativität* auch *prinzipiell* im *Scientific Realism* [443], und zwar des-

⁹ Der Unterschied zu Quine besteht dabei darin, dass sich Quine als *Empirist* unmittelbar auf die besten verfügbaren naturalistischen, insbesondere physikalischen Theorien stützt und diese mathematisch zu reduzieren sucht. Demgegenüber adressieren Metaphysiker als *Ratio-Empiristen* im Grunde alle Disziplinen einschließlich der Technologien und ggf. der Praxis, deren Theorien bzw. Ansätze sie zunächst kritisch rational reflektieren um auf dieser Basis eine Universalsynthese zu schaffen. Quines Naturalismus stellt ein pragmatisches, jedoch zu kurz greifendes Vorgehen dar; es entspricht der *Querdisziplinarität* [158]. Das umfassend philosophisch reflektierte Vorgehen bei Bunges *Klasse-3-* bzw. Whiteheads *Klasse-4-Metaphysik* [962 ff.] zielt demgegenüber auf *Transdisziplinarität* [158], wobei der Bungesche bedingte *Reduktionismus* in Form des *emergentistischen Materialismus* dieser letztlich nicht gerecht wird, während der Whiteheadsche *Multiplikationismus* im Zeichen der *kausalen Irreduzibilität des CPST-Hyperspace* (vgl. These 9) dem Transdisziplinaritätsmoment tatsächlich entspricht.

halb, weil einzelne Theorien auf unterschiedlichen meta-ontologischen Dispositionen aufbauen. Wirklich relativieren lässt sich die ontologische Relativität erst dann, wenn das Inkommensurabilitätsproblem schlussendlich gelöst ist, und als metaphysisches Problem lässt es sich auch nur *metaphysisch* lösen. Und das gerade allein mit jener Metaphysik, die von Quines akademischem Lehrer stammt, nämlich auf Basis eines *Ratio-Empirismus*, der tatsächlich *alle* techno-wissenschaftlichen Disziplinen transdisziplinär in diese Synthese einbezieht. Insofern lässt sich dann im Popperschen Sinne auf dieser Ebene einer ratio-empirischen Metaphysik der Streit der hier konkurrierenden Systeme, die faktisch in jenen von Bunge und Whitehead bestehen, auf Basis rationaler Argumente einfach entscheiden, indem jede Metaphysik in der Klärung der fundamentalen Strukturen universal auf alle durchgängig zu erfassenden *cyber-physischen* Diskurswelten anwendbar sein muss. Und genau das ist mit der Bungeschen Alternative allein vermeintlich, indes faktisch nicht möglich [1369]. In der metaphysischen Realitätsfrage suchen revisionäre Metaphysiker den engen Bezug zu den Wissenschaften, allen voran zur Physik, wie es dem Metaphysikbegriff einzig gerecht wird, wenn die Metaphysik *nach* der Physik steht resp. in der angezeigten zirkulären Sicht gleichzeitig das transdisziplinäre, eigentliche Fundament aller Disziplinen bildet. Deskriptive Metaphysiker interessiert das Whiteheadsche »interplay between science and metaphysics« mit Blick auf die Kategorienbildung bzw. meta-ontologischen Dispositionen jedoch wenig (Smith, Guarino) bis gar nicht (Gruber); ein *systematisch* betriebener *Ratio-Empirismus*, der die rigorose Auseinandersetzung mit allen Technologien und Wissenschaften sucht, ist bei der deskriptiven Metaphysik schlichtweg undenkbar. Denn ansonsten würde es sich um *revisionäre* Metaphysik handeln, die nicht auf linguistische bzw. sprachphilosophische, sondern auf *techno-wissenschaftlich universale Kategorien* fixiert ist. Die *Kybernetik* Wieners [1042; 1110] steht genauso explizit in Leibniz-Whiteheadscher Tradition wie die *Allgemeine Systemtheorie* Bertalanffy [1562], und damit wiederum auch die für die *Holonische Manufacturing Systems* (HMS) der *Smart Factory* entscheidenden "Holonen" Koestlers (1967) [390 ff.] oder Laszlos (1972a) darauf aufsetzende *Systems Philosophy* [393]. Entscheidend bzw. allein wegweisend bleiben jedoch die metaphysischen Originale, indem erst diese insbesondere mit Whitehead die ratio-empirische Digitalmetaphysik als Cyber-Physik mitsamt einem universalen Kategoriensystem begründen. Es ist gewiss ein Fehler, wenn Bertalanffy gerade explizit die Kategorienlehre bzw. Ontologie durch seine Systemtheorie ersetzen will [1562], und sich dabei strikt an jener von Leibniz bzw. Whitehead orientiert [1039]. Tatsächlich erweisen sich diese zahlreichen Derivate inklusive der Ontologie Quines als zu eng, einschränkend und letztlich als problematisch und für die universalen Zwecke der Informatik schließlich als fehlleitend. Gilt es, den "*linguistic turn*" durch einen erneuten "*ontological turn*" zu ersetzen,

kommt die Informatik entsprechend nicht an der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik vorbei (vgl. These 3 und 4). Dennoch wird insbesondere mit der Kybernetik Wieners (1948) deutlich, dass die zeitgenössische Informatik immer schon *cyber-physisch* verankert war, wenn auch die Rede von *Cyber-physischen Systemen* (CPS) erst mit der Emergenz von IoT-Systemen als *cyber-physische Automaten* Leibniz-Whiteheadscher Provenienz *en vogue* geworden ist. Damit ist evident, dass die Ontologie der Informatik selbstverständlich *CPS-adäquat* sein muss. Das betrifft nicht nur den Aspekt ihrer Grundlegung, sondern vielmehr auch den Umstand, dass man kaum von *Ontologie der Informatik* sprechen kann, wenn diese nicht ihre eigenen Systeme ontologisch erfassen kann. Natürlich ist nur eine *CPS-adäquate* Ontologie in der Lage, *Cyber-physische Systeme* (CPS) ontologisch zu erfassen bzw. zu fundieren. Auf den ersten Blick sind das Banalitäten, doch ist darauf aus dem Grunde gesondert hinzuweisen, weil sich bisher darüber noch kein einziger Ontologe Gedanken gemacht hat; geschweige denn, dass die heutigen Ontologiekonzepte einer darauf ausgelegten Anforderungsspezifikation tatsächlich entsprechen. Das gilt genauso für den Umstand, dass alle Systeme, mit denen es die Informatik zu tun hat, prinzipiell *komplexe Systeme* bilden [1100 ff.]. Alltagssprache kann diese Komplexität jedoch gar nicht abbilden und darüber hinaus ist kein einziger Ontologieentwurf der Informatik systematisch auf eine *Ontologie komplexer Systeme* angelegt. All ihre externen und internen Systeme wie deren kausale Wechselwirkungen sind jedoch komplex, wie es H.A. Simon (1962), J.H. Holland (1962, 1987), J. von Neumann (1966) oder K. Mainzer (2007a) betonen. Die Voraussetzung notwendig selbstidentischer 3D-Objekte in der Informatik ist gewiss an sich verfehlt. Vielmehr sind ihre Entitäten bzw. Systeme dann sachgerecht verstanden, wenn man sie als Ordnungsmuster auffasst, die im Sinne der *Theorie dissipativer Strukturen* [1121 ff.] entstehen und wieder vergehen. Objekte der Informatik sind damit als *4D-Objektlebenszyklen* [142; 517; 1530 f.; 1970] zu konzipieren, die insgesamt in *4D-Event Streams* stehen. Wenn im Grunde fast alle bisherige Ontologie entweder dem naiven *Common Sense* oder sprachphilosophischen Erwägungen folgt und man meint, die Informatik sei auf die ontologische Basis selbstidentischer bzw. statischer *3D-Objekte* zu stellen, dann liegen ihre Ontologieforschung und Ontologiepraxis offensichtlich in grundsätzlicher Hinsicht falsch. Das gilt auch dann, wenn ihnen in etwas aufgeklärteren Ansätzen *4D-Ereignisse* zu Seite gestellt werden, denn diese sind dann entweder mit ersten inkompatibel oder aber es handelt sich in Wirklichkeit um 3D+T-Entitäten. Natürlich mag es einfache Anwendungskontexte geben, für die 3D-Entitäten auf den ersten Blick ausreichend erscheinen mögen. Generell ist dies jedoch nicht der Fall, während für die Ontologie auch insgesamt wesentlich ist, dass sie an sich *universal* ist. Das aber ist alle heutige Ontologie der Informatik gerade nicht; sie ist damit wider ihrer eigentlichen Natur.

Ontologie ist immer *metaphysica generalis*, d.h. *universale* Ontologie, und alle Ansätze, die sich über dieses charakteristische Kriterium hinwegsetzen, werden sich auf Dauer nicht behaupten können. In der Tat sind sie weder zukunfts offen noch investitionssicher [1875], womit es gerade vor dem Hintergrund der fundamentalen ontologischen Änderungsproblematik [113] ein grundlegender Fehler wäre, alle Systeme, Prozesse, Services, Datenmodelle usw. auf die Grundlage solcher inferiorer Ontologieansätze zu stellen. Es ist vor diesem Hintergrund in jeder Hinsicht verfehlt, wie Gruber et al. die Losung einer minimalen oder gar keiner ontologischen Verpflichtung zu propagieren. Es ist genauso wenig angezeigt, den Eindruck zu vermitteln, dass Ontologie eine triviale Sache sei. Das ist sie schon deshalb nicht, weil Ontologie als *Vielheit in der Einheit* von Leibnizens *Ontological Computing* aufzufassen ist. Als solche verlangt sie einerseits die maximale ontologische Verpflichtung zur Begründung ihrer *Einheit*, der sie im Sinne von *Cyber-physischen Systemen* (CPS) als *Multiagentensysteme* (MAS) wie als *Complex Adaptive Systems* (CAS) bedarf, während sie andererseits im Zeichen ihrer *Vielheit* alle Welten, ob aktuelle Domänen oder mögliche Welten eröffnen können muss. In diesen Grundlagen der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik besteht die eigentliche Herausforderung der technischen Ausgestaltung einer solchen omnipotenten Ontologiearchitektur. Wir halten also fest, dass sich deskriptive Metaphysiker in der Realitätsfrage auf die Adäquanz der Alltagssprache verlassen und es damit belassen, während revisionäre Metaphysiker sie sehr genau nehmen und ihr im Einzelnen nachgehen. Im Gegensatz zu linguistischen Semantikern gehen echte Ontologen vor diesem Hintergrund eine *maximale* ontologische Verpflichtung ein. In revisionären Metaphysiken handelt es sich dabei um eine *ratio-empirische* Verpflichtung, die nicht zuletzt an den Erfordernissen der Cyber-Physik, etwa an physikalischen Gesetzmäßigkeiten festmacht. Whiteheads exklusivistischer *Vierdimensionalismus* geht etwa direkt auf die Einsichten der Relativitätstheorie zurück. In gleicher Weise, wie der *"linguistic turn"* zur *deskriptiven* Metaphysik führte, impliziert der mit C.B. Martin/Heil (1999) zu fordernde *erneute "ontological turn"* selbstverständlich eine neue, adäquate metaphysische Grundlegung, die indessen den Positionen von J. Heils (2003) *"one-level ontology"* nicht entsprechen kann [1715 ff.]. Vielmehr muss es um eine *revisionäre* Metaphysik gehen, die N. Hartmanns (1940) Schichtengedanken erstnimmt. Indem der *CPST-Hyperspace* kausal irreduzibel ist, ist Ontologie notwendig *emergentistische Mehrweltenontologie* [1715 ff.], wie sie CYPO FOX entlang der Argumentation der Whitehead-Hartmannschen *Neuen Ontologie* verkörpert [828 ff.]. Gleichzeitig hat dieser *erneute "ontological turn"* zur Konsequenz, dass alle Disziplinen auf eine techno-wissenschaftlich verankerte, transdisziplinäre Semantik zurückgreifen können, die in ihrer strikten TLO-Referenz tatsächlich *Ontologie* ist. Sie ist *metaphysica generalis*, die die *ex definitione*

zu fordernde systematische Durchgängigkeit zu allen techno-wissenschaftlichen Disziplinen auch faktisch realisiert. Denn natürlich kommt bereits bei Aristoteles ([Met.]) die *Metaphysik* nicht nur *nach* der *Physik* ([Phys.]), sondern nach allen durch ihn behandelten Disziplinen, und sie ist dabei bereits hier gleichzeitig vielleicht nicht – wie später bei Whitehead – zirkulär, jedoch bereits mindestens im Zusammenhang gedacht. Denn natürlich geht es auch bereits hier um die metaphysische Identifikation jener universalen *Kategorien* ([Cat.]), auf denen die formale Wissensrepräsentation insgesamt gründen kann. Indessen ist das allein mit Blick auf das notwendige Whiteheadsche »interplay between science and metaphysics« von Relevanz, das es in vielen Metaphysiken, allen voran den deskriptiven, nicht gibt. Damit ist klar, dass solche Ansätze nicht dem gerecht werden, was Metaphysik ausmacht. Demgegenüber kann die aristotelische Metaphysik, die für eine Reihe von TLO-Theorieansätzen prägend ist, gewiss nicht einen Fixpunkt für die Ontologie der Informatik bilden. Das liegt schon darin begründet, dass sie lediglich *naturalistisch*, nicht aber wie die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik *digitalistisch* ist. Das ist deshalb entscheidend, weil sich alle Daten, Informationen und alles Wissen, um das es in der Informatik mitsamt von Systemen, Prozessen, Applikationen usf. geht, immer auf *Weltmodelle* beziehen, die indessen nicht notwendig faktische Realitätsausschnitte bilden, sondern es regelmäßig *Diskursuniversen* (UoD) gibt, die als logisch *mögliche Welten* modelliert werden. Darüber hinaus ist das cyber-physische Wechselspiel entscheidend, dem eine naturalistisch gehaltene Metaphysik bzw. Ontologie gewiss nicht entsprechen kann. Die strenge Modellierung physischer Welten ist also genauso erforderlich wie darauf unmittelbar bezugnehmende mögliche Welten, während rein gedachte Welten gleichermaßen den Gegenstand konzeptueller Modelle bilden können müssen. Die Struktur der Daten, Information bzw. des Wissens, also seine Repräsentationsstruktur, bezieht sich dabei auf die Entitäten sowie die relationale Struktur des jeweiligen Diskursuniversums. Insofern wird bereits der elementare Bezug zwischen dem konzeptuellen Modell des Diskursuniversums und dem darauf bezogenen semantischen Modell offensichtlich [148]. Indem die Informatik es bei IoX-Systemen mit *Cyber-physischen Systemen* (CPS) zu tun hat, muss sich die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bzw. die Ontologie der Informatik insgesamt sowohl auf die physikalisch korrekte Erfassung der physisch *aktualen* Realität als solcher, als gleichzeitig auch auf alle logico-mathematisch denkbaren Cyberwelten als *mögliche Welten* erstrecken können. Eine *CPSS-adäquate Ontologie*, um die es in der Informatik zwingend gehen muss, ist dabei einheitlich für alle Welttypen zu konzipieren; es kann also nicht um eine Koexistenz unterschiedlicher Ontologieverständnisse gehen, sondern es ist vielmehr *eine* universale CPSS-adäquate Ontologiekonzeption vorauszusetzen. Denn ontologisch ist alles mit allem prinzipiell interdependent. Insofern zeigt sich, dass große

Teile der Informatik dem populären Irrtum aufgesessen sind, wonach Ontologie lediglich als *Wissensontologie* zu verstehen sei, was auf ein *linguistisches Ontologieverständnis* im Sinne Grubers (1993, 1995) hinausläuft (et v.v.). Woraus dieses naive Ontologieverständnis hervorgegangen ist, wird mit Hayes' (1979) Kritik der AI-Fixierung auf "*toy problems*" statt einer Orientierung an "*nontoy worlds*" offensichtlich [606; 689], indem nicht zuletzt durch Gruber (1993, 1995) Quillians *semantische Netze* der Linguistik [170], die für die "*toy problems*" der AI-Anfänge bemüht wurden, mit Quines *Scientific 4D-Ontology* als Variante der Whitehead-Schule verwechselt werden [1220 ff.],¹⁰ die Mealy (1967) in die Informatik eingebracht hatte und für die speziell McCarthy (2000) plädiert [1220].¹¹ Ontologien sind als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* zu definieren und erfordern als *universale Ontologie* zwingend eine meta-ontologische Referenz auf ein *fundamentales Weltmodell*, das durch die *Top-level Ontologie* (TLO) verkörpert wird [625 ff.]. Eine solche TLO-Referenz ist aus dem Grunde erforderlich, als alle fundamentalen, d.h. kategorialen wie meta-ontologischen Aspekte semantisch im Zeichen der explikativen *Heavyweight-Ontologie* zur Realisierung absolut präzisen, objektiven Wissens explizit zu spezifizieren sind [1829].¹² Diese Verwechslung bzw. Substitution von Ontologie durch linguistische Semantik Grubers ist insofern verhängnisvoll, als festzustellen ist, dass das heute populäre, wenngleich in seinen Konsequenzen kaum durchdachte linguistische Ontologieverständnis für die Informatik in seinem Absolutheitsanspruch gänzlich unhaltbar ist. Das hat nicht nur damit zu tun, dass die Alltagssprache unscharf und damit für exakte Computer kaum geeignet ist, wobei zudem gilt, dass sich tatsächlich intelligente Systeme kaum auf naiven *Common Sense* begründen lassen. Vielmehr liegen die eigentlichen Ursachen dafür tiefer, worauf wir mit der letzten, der programmatischen zehnten These zurückkommen. Damit zusammenhängend ist bereits an dieser Stelle zu konstatieren, dass Leibniz und Whitehead wie in dessen Tradition auch Quine nicht umsonst den linguistischen Zugang zur Ontologie in aller Entschiedenheit ablehnen. Bereits

¹⁰ Indessen zeigt sich, dass lediglich Whiteheads Ontologie tatsächlich *cyber-physisch* resp. *digitalistisch* strukturiert ist, während die seines akademischen Schülers Quine physikalisch-mathematischer resp. *naturalistischer* Natur ist und damit dem Leibnizschen Gedanken der *Digitalmetaphysik* nicht entspricht.

¹¹ Mit der vergleichsweise großen Aufmerksamkeit, die Quines Ontologie in der Informatik erfährt, sei hier nochmals festgestellt: Quine geht gewiss in die richtige Richtung, was den 4D-Ereigniszentrismus, die logico-mathematische Fassung, den Wissenschaftszentrismus und den Empirismus seiner Ontologie anbetrifft. Allerdings stammen all diese Momente zweifelsohne von seinem akademischen Lehrer, nämlich von Whitehead. Demgegenüber scheitert Quines Ontologie bzw. sein strikt naturalistischer bzw. physikalischer Empirismus nicht nur an H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial*, indem H.A. Simon (1995a) diese bzw. speziell auch die AI-Disziplin als *empirische Wissenschaften* auslegt, sondern gerade auch an der fehlenden *CPSS-Adäquanz* seiner Ontologie, vgl. dazu Fn. 10. Die Informatik muss entsprechend von Quine zurück zu Whitehead [675; 1241].

¹² Zwar lassen sich ggf. *Lightweight-Ontologien* für Zwecke der Vereinfachung von *Heavyweight-Ontologien* ableiten, jedoch gilt dies schon deshalb nicht umgekehrt, als für letzte die TLO-Referenz verbindlich ist. Mit dieser stehen die Meta-Ontologie sowie die Bestimmung des adäquaten Kategorienschemas immer am Anfang, womit alle Repräsentation spezifisch *kategoriale* Repräsentation ist.

Leibniz stellt die Mehrdeutigkeit natürlicher Sprachen als ontologisch inakzeptabel heraus und entwickelt nicht zuletzt deshalb die formale Logik, auf der die Informatik heute steht. Exakte Computer und damit maschinelle Agenten verlangen dabei nicht nur nach exakter formaler Logik, sondern auch nach exakter formaler Ontologie, also jenen Weltmodellen, auf die sich die Inferenzprozesse wie schließlich auch der Logikkalkül als solcher beziehen. Die Fehler des linguistischen Ontologieverständnisses betreffen natürlich nicht nur das semantische Modell als solches, sondern insbesondere auch sein Wechselspiel mit dem konzeptuellen Modell. Dabei ist festzustellen, dass dieses im linguistischen Ontologieverständnis diametral falsch aufgesetzt ist. Denn es wird nicht vom konzeptuellen Modell bzw. der jeweiligen faktischen Weltstruktur auf die Struktur der semantischen Repräsentation geschlossen, sondern genau umgekehrt aus der Struktur der semantischen Repräsentation blind gefolgert, wie die jeweilige Welt elementar strukturiert sein muss. Oder anders gewendet: es wird von der grammatikalischen Struktur der Alltagssprache auf die *Struktur der Realität* geschlossen. Dabei kann sie im linguistischen Ontologieverständnis nur genau so strukturiert sein, wie es der normalsprachlichen Grammatik bzw. dem Schema *Subjekt-Prädikat-Objekt* entspricht, an dem das *RDF Triple* wie weitere *Semantic Web Technologien* (SWT) des W3C unmittelbar festmachen.^{13,14} Diese – zumeist implizit vorausgesetzte – Kongruenz bezeichnen wir mit P.M. Simons (2002) als *Harmonie-These* [983, 1818; 1856]; sie besagt, dass die Struktur natürlicher bzw. idealer Sprachen mit den Grundstrukturen der realen Welt harmoniert. Belegt wurde diese These nie; ein Versuch dazu wurde nicht einmal im Ansatz unternommen, wengleich diese These in ihrer ontologischen Bewandnis für die gesamte Wissenschaftspraxis entscheidend ist. Mindestens nach wissenschaftstheoretischer Maßgabe ist eine solche Praxis vollständig inakzeptabel; vielmehr ist Linguisten vorzuwerfen, dass sie keine sachgerechte Wissenschaft betreiben, wenn sie sich auf solche unbegründeten Thesen stützen. In ihrer fundamentalen Stellung müsste eine solch entscheidende These dezidiert abgesichert sein. Das gilt umso mehr, als bereits auf den ersten Blick erkennbar ist, dass diese These nicht stimmen kann. Dafür lässt sich eine Reihe von Gründen anführen, nicht nur die mangelnde Übereinstimmung der Alltagssprache mit den modernen Wissenschaften. Vielmehr besteht das Problem schon allein darin, dass Alltagssprache immer kulturalistisch wie paradigmatisch geprägt ist und damit nicht nur Sache abgegrenzter Sprachgemeinschaften, sondern immer auch umfassend pfadabhängig ist. Radikal verwerfen lassen sich Alltagssprachliche Sprachwelten kaum, was ein

¹³ Indem das W3C mit seiner *SSN Sensor Ontology* gleichzeitig auf DOLCE+DnS Ultralight (DUL) als *Top-level Ontologie* referenziert, ist ihr ontologisches Verständnis in fundamentaler Hinsicht bereits insofern uneinheitlich, als die normale Sprachgrammatik einen anderen ontologischen *Top-level* impliziert als ihn DOLCE als *bi-kategoriale* Ontologie voraussetzt. Ungeachtet dessen ist dieser inkonsistent.

¹⁴ Erst im Nachhinein wurden verschiedene Versuche unternommen, die *zeitliche* und *räumliche* Dimension in RDF bzw. OWL sowie in SPARQL zu inkorporieren [558]; die Struktur stimmt dennoch nicht.

wissenschaftstheoretisches wie epistemologisches Problem darstellt, wenn es um das Realitätsverständnis geht. Darüber hinaus kann die *Harmonie-These* schon allein aus dem Grunde nicht universal gelten, weil ansonsten auch jede isolierte Sprachgemeinschaft, also etwa ein von der modernen Lebenswelt abgeschnittener Urwaldstamm für sich in Anspruch nehmen können müsste, mit genau *seiner* Sprache der faktischen cyber-physischen Weltenstruktur zu entsprechen. Aus den Strukturen der Sprache kann natürlich nicht auf die fundamentalen Strukturen der Realität geschlossen werden. Tatsächlich gibt es keinerlei Garanten, dass die Sprachgrammatik mit den Strukturen aller Welten, insbesondere der Realität, faktisch korrespondiert. Das gilt umso mehr, als das, was die Wissenschaften als *physische Realität* verstehen, seit längerem wie noch gegenwärtig einer *radikalen Transformation* unterzogen ist [1035]. Solche Transformationen sind für die Wissenschaften im Grunde völlig normal, indem sie Resultat der wissenschaftlichen Entwicklung sind. Demgegenüber ist zwar auch die Alltagssprache im Wandel, jedoch geht es dabei um Nuancen; ihre kulturalistische Prägung steht vielmehr jedem fundamentalen Wandel beharrlich entgegen, während ihre Grammatik begrifflicherweise gar nicht verhandelbar ist. Insofern wundert es nicht, wenn Linguisten weder von ontologie-relevanten *Scientific Revolutions* Notiz nehmen wollen noch von der Tatsache, dass in den Wissenschaften nicht weniger als der ganze bisherige "*general world view*" programmatisch aus den Angeln gehoben wird. Das Schema der Normalsprache gilt für sie immer; Linguisten sind somit in entsprechender Weise gegen allen Wandel erhaben. Sie haben sich damit faktisch gegenüber aller systematischen Infragestellung und kategorialen Neubestimmung der *physischen Realität* immunisiert. Demgegenüber besteht der einzig überhaupt mögliche Garant einer faktischen Korrespondenz von Ontologie und Realität in der systematischen Klärung der fundamentalen Strukturen *realer* bzw. *möglicher* Welten. Und das kann natürlich nicht mit den Mitteln der Linguistik gelingen, sondern bildet vielmehr den eigentlichen Gegenstand einer anderen Disziplin, nämlich der Metaphysik [962 ff.]. Indem *reale* und *mögliche Welten* im CPSS-Kontext verschmelzen, ist im Leibniz-Whitehead-schen Sinne dabei von *universal voraussetzbaren Strukturen* auszugehen, was ihren *universalen Strukturalismus* bedingt [1531 ff.]. Insofern ist es konsequent, wenn führende Ontologen wie P.M. Simons (2004a) die fragwürdige *Harmonie-These* ablehnen [1818], und Heil (2003: 189) den linguistischen Denkfehler auf den Punkt bringt: »the linguistic tail wagging the ontological dog« [714]. Dieser Denkfehler besitzt seinen Ursprung in einer Fehldeutung der aristotelischen ([Cat.]) *Kategorien*, indem man diese nicht als Hilfsmittel zur aristotelischen ([Phys.]) *Physik* bzw. ([Met.]) *Metaphysik* versteht, sondern sie gegenüber letzteren als primär setzt. Dieser Fehler geht auf den "*linguistic turn*" zurück [442], der gerade auch in der Informatik initial vor allem durch Strawsons (1959) *deskriptive Metaphysik* verursacht

ist [1588 ff.]. Es lässt sich jedoch leicht nachweisen, dass der "*linguistic turn*" nicht nur aufgrund der Inexaktheit sowie der kontextbezogenen Varietät bzw. Mehrdeutigkeit der Sprache gewagt, und der auf ihr basierende *Common Sense* naiv ist, sondern dass er in seinem Anspruch auch falsch ist. Denn die Alltagssprache ist genauer betrachtet mit *4D-Event Streams* [1824 ff.], die die *Cyber-Physik* wie letztlich alle techno-wissenschaftliche wie praktische Prozesse kennzeichnen, kategorial wie meta-ontologisch inkompatibel. Damit aber ist der "*linguistic turn*" in seinem ontologischen Anspruch unhaltbar. Dabei ist insbesondere der "*linguistic turn*" für das *ontologische Inkommensurabilitätsproblem* verantwortlich [147 ff.], indem alle Alltagssprache gerade nicht systematisch wie universal *naturalistisch*, sondern vielmehr *kulturalistisch* geprägt ist; sie ist also keineswegs metaphysisch-universal, sondern vielmehr paradigmatisch gebunden. In diesem Sinne geht es letztlich um eine *relativistische* Bedeutungstheorie, wie sie Wittgenstein II vertritt [1408]. In der Linguistik ist dieses Problem seit langem in Form der *Sapir-Whorf Hypothese* bekannt [663], wonach Überzeugungen in Form normalsprachlich gefasster Gedanken eines Agenten nicht unmittelbar durch andere Agenten verstanden werden können, die auf Basis einer anderen Alltagssprache denken bzw. operieren. Die Hypothese besagt demnach, dass die Art und Weise, wie Agenten denken, wesentlich von ihren nativen Sprachen abhängig ist. Neben dem Problem der sprachlichen Relativität betrifft der *Whorfianism* auch den epistemologischen Aspekt, indem menschliche Erkenntnis durch die jeweilige native Sprache bedingt (starke Variante der *Sapir-Whorf Hypothese*) oder zumindest maßgeblich beeinflusst (schwache Variante) ist. Diese zunächst umstrittene These gilt inzwischen als allgemein akzeptiert, nachdem der Psychologe J. Davidoff den experimentellen Nachweis ihrer Gültigkeit erbracht hat [663]. Anhand umfassender Studien zur Farbwahrnehmung wird dabei dargestellt, dass die native Sprache die perzeptiven Kategorien entscheidend beeinflusst. Indem die jeweilige native Sprache die Kognition menschlicher Agenten maßgeblich bestimmt, ist sie für die Epistemologie wie für die *Knowledge Ontology* genauso entscheidend. Natürlich gilt dies für formale Sprachen prinzipiell ähnlich; der entscheidende Punkt ist jedoch ein anderer: Geht es um *Cognitive Computing*, gibt es keine Gründe, dieses *insgesamt* den Restriktionen menschlicher Alltagssprache zu unterwerfen. Wie J. Davidoff aufgezeigt hat, fördert ein genaueres Spektrum an Farbkategorien die kognitive Farbdifferenzierung. Dass dies auch für maschinelle Agenten zutreffend ist, lässt sich anhand der physischen Sensorik leicht nachweisen. Linguistische Ontologien menschlicher Agenten operieren auf Basis hochentwickelter Alltagssprachen mit einem vergleichsweise beschränkten Farbspektrum, das Farbnuancen etwa an "*hell*" oder "*dunkel*" usf. festmacht. Ist in alltagssprachlicher Kommunikation menschlicher Agenten etwa von "*dunkelgrün*" die Rede, geht es in der Kommunikation maschineller Agenten weitaus exakter. Erfolgt die Per-

zeption im Zeichen des *Cognitive Computing* mittels optischer Sensorik, lassen sich Farben *für sie* höchst exakt etwa auf Grundlage ausdifferenzierter Farbcodes wie dem RGB-Farbraum bzw. Hex-Farbcodes treffsicher bestimmen. Somit ist für eine CPSS-adäquate Ontologie entsprechend die Farbphysik maßgeblich und nicht die Beschränkungen, die linguistische Ontologien mit ihren alltagssprachlichen Farbtönen implizieren. Was für die Farbwahrnehmung gilt, erweist sich für alle CPSS-Aspekte als relevant; *Cognitive Computing* ist dann sachgerecht verstanden, wenn es physikalisch so exakt wie möglich vollzogen wird. Diese Exaktheit ist jedoch, wie es das Farbexperiment illustriert, via Alltagssprache in keiner Weise zu erreichen. Es gibt also für maschinelle Agenten keinen Grund, sich an der *kognitiven Verzerrung* (cognitive bias) menschlicher Agenten zu orientieren, deren zentrale Ursache nicht nur physisch, sondern vor allem auch sprachlich bedingt ist. Somit ist zu postulieren, dass Ontologie für alle Agentenklassen da ist und auf all ihre Interaktionsmodi abzustellen hat [1950]. Demgegenüber läuft die bisherige Ontologieforschung letztlich darauf hinaus, dass sie *maschinellen* Agenten die inferioren Schemata *menschlicher* Agenten aufzuoktroyieren sucht.¹⁵ Die *Sapir-Whorf Hypothese* ist also für die Informatik in mehrfacher Weise von elementarer Relevanz: vor allem betrifft sie McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" als solchen, indem die *Sapir-Whorf These* im Kern besagt, dass die native Sprache den "*world view*" eines spezifischen Agenten beeinflusst – bzw. in der starken Variante der These: – prägt. Unterschiedliche Alltagssprachen implizieren somit – zumindest in den Details – prinzipiell unterschiedliche "*world views*". T.S. Kuhn (1962) wie Feyerabend (1975) machen nicht umsonst ihr Inkommensurabilitätsproblem explizit an der *Sapir-Whorf Hypothese* fest, wobei gerade bei T.S. Kuhn (1962) die *semantische* Inkommensurabilität als *paradigmatische* Inkommensurabilität im Vordergrund steht [156 f.]. De facto impliziert die *Sapir-Whorf Hypothese* in ihrer starken wie schwachen Variante ein prinzipielles Unübersetzbarkeits- bzw. Inkommensurabilitätsproblem; ein überparadigmatisch vollumfänglich akzeptierter "*general world view*" ist entsprechend auf Basis von Alltagssprache unrealisierbar. Allerdings ist er mit McCarthy (1995) für die Informatik unverzichtbar. Darüber hinaus betrifft der *Whorfianism* den CPS-Aspekt, indem mit ihm deutlich wird, dass eine Kongruenz zwischen den einzelnen nativen Alltagssprachen und der physischen Realität keineswegs notwendig gegeben ist: ihr Verhältnis ist n:1; erforderlich ist jedoch eine *kritisch-realistische* Korrespondenz 1:1. Die *Sapir-Whorf Hypothese*

¹⁵ Das gilt nicht nur generell, sondern lässt sich an gängigen Ansätzen unmittelbar belegen, etwa anhand der W3C *SSN Sensor Ontology*; denn eine *Sensorontologie* sollte zunächst einmal *rein cyber-physisch* konzipiert sein, d.h. allein nach Maßgabe physikalischer Erwägungen einerseits und jener maschineller Agenten andererseits. Demgegenüber referenziert die W3C *SSN Sensor Ontology* auf DOLCE+DnS Ultralight (DUL) als *Top-level Ontologie* und damit im Kern auf einen Ansatz, der sich erstens nicht strikt zur Existenz der physischen Außenwelt bekennt, zweitens kein Physikmodell aufweist, und drittens stattdessen an linguistischer Inexaktheit und kognitiver Verzerrung *menschlicher* Agenten festmacht.

besitzt zudem für den MAS-Aspekt Relevanz, indem die klassischen *Belief Systems* in der AI-Disziplin inzwischen als ontologische Agentenwelten behandelt werden [1852 f.], und damit prinzipiell P.M.S. Hackers (2004a) *Ontology of Belief* entsprechen [444]. Mikas (2007) Idee des "*ontologies are us*", die unmittelbar auf eine linguistische Ontologieauffassung zurückgeht, offenbart schließlich die ganze paradigmatische *Inkommensurabilitätsproblematik*, wenn im *Internet of Everything* (IoX) jedwede [106], auch fremde Agenten in ihrer cyber-physischen Interaktion eine vollumfängliche semantische Interoperabilität voraussetzen [139], die somit gerade nicht paradigmatisch gebunden sein kann. Vielmehr ist für diese zu fordern, dass sie im Zeichen *universaler Ontologie* in jeder Hinsicht techno-wissenschaftlich korrekt ist. Das allerdings erfordert eine *maximale* ontologische Verpflichtung, die jedoch nur gegenüber der für die Informatik *tatsächlich adäquaten* Ontologie eingegangen werden kann. Es ist paradox, doch Fakt, dass es diese adäquate Ontologie immer schon gibt, während die vergangene wie aktuelle Ontologieforschung in dieser alles entscheidenden Frage gänzlich jenseits davon – und damit jenseits der eigentlichen Grundlagen der Disziplin – orientiert ist. Es ist an der Zeit nach dem insbesondere in den 1960er Jahren erfolgten "*linguistic turn*" im Leibniz-Whiteheadschen Sinne den "*ontological turn*" für die ontologischen Anforderungen des irreduziblen *CPST-Hyperspace* zu vollziehen. Diese erneute ontologische Wende macht es im "*Reality Computing*" mit *cyber-physischen "Reality Machines"* unabdingbar, Grubers grundsätzlich defektes "*commitment principle*" diametral zu revidieren: Es ist *de facto* genau umzudrehen, indem mit Mora et al. (2011) eine *maximale ontologische Verpflichtung* zu fordern ist [100]. Dabei hat auch diese quer durch alle Disziplinen exakt zu sein, nämlich techno-wissenschaftlich vollständig, d.h. transdisziplinär korrekt, was wiederum besondere Anforderungen an die Metaphysik stellt, worauf wir in den beiden folgenden Thesen eingehen.

3. *Ontologie ist "metaphysica generalis", womit der "ontological turn" die Frage der für die Informatik adäquaten Metaphysik impliziert; sie ist primär an cyber-physischen Signalen/Bits, Event Streams, und am Grundstoff Information zu entscheiden:* Mit dem "*ontological turn*" kann die Informatik nicht zu einer ontologischen Synthese kommen, wenn sie nicht an den elementaren Ontologiefragen ansetzt, und diese sind allein auf der metaphysischen Ebene entscheidbar. Damit ist evident, dass "*Ontologie*" mit G.W. Leibniz zuvorderst als *allgemeine Metaphysik* zu verstehen ist, die immer die Semantikfrage automatisch in sich inkorporiert. Es gibt natürlich nur *eine* Ontologie, die immer metaphysische und semantische Ontologie zugleich ist. Entsprechend verschiebt sich das Ontologieproblem auf die Metaphysikebene, indem es zunächst um die Frage der für die Informatik adäquaten Metaphysik geht. Ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis kann sich natürlich nicht nach den Eigenarten der Alltagssprache richten, sondern es muss an den faktisch

gegebenen Strukturen der Welten, insbesondere an der Realitätsfrage ansetzen. Es kann also nicht um ein *linguistisches*, sondern es muss in der Informatik vielmehr um ein *realistisches Ontologieverständnis* und einen ebenso *realistischen OE-Ansatzpunkt* gehen [657 ff.]. Analog zu Leibniz lehnt entsprechend auch Whitehead (1929a) einen solchen sprachphilosophischen Zugang zur Ontologie rundweg ab und votiert stattdessen für einen *Ratio-Empirismus* und damit für ein beständiges *zirkuläres Wechselspiel von Metaphysik und Wissenschaften* [140 f.; 985; 1832 ff.]. Sein physisches CPS-Moment macht dabei deutlich, dass es vor allem auf ein *techno-wissenschaftlich korrektes Physikmodell* ankommt;¹⁶ dabei muss bereits eine Kohärenz aller Ontologien zu physischen Sensor- bzw. Aktorontologien bestehen. Untersucht man diese genauer, wird deutlich, dass der *Objektzentrismus* der Alltagsprache inkompatibel ist mit dem *Ereigniszentrismus*, der im Zeichen von *4D-Event Streams* für physische wie für informatorische Sachverhalte ausschlaggebend ist [1824 ff.].¹⁷ Auf solche *4D-Event Streams* unmittelbar zugeschnitten ist das in der achten These aufgegriffene *Ubiquitous Complex Event Processing* (U-CEP), auf dem wiederum das *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) aufsetzt [1572 ff.; 1846 f.]. Weder wird dieses *Event Processing* an sich in den heute gängigen Ontologieentwürfen berücksichtigt noch seine mit IMKO *OCF* erforderlich werdende universale Auslegung, die im *CYPO Ontology-driven Complex Event Processing* (OCEP) besteht [1572 ff.]. Im Zeitalter des Leibniz-Whiteheadschen *ubiquitären cyber-physischen Cognitive Computing* kann es dann primär allein um dieses auf Bits und Bytes bzw. perzeptiv auf Pixel bezogene digitalmetaphysische Ontologieverständnis gehen [1834 f.]. Die Semantik kommt erst zum Schluss. Das Erfordernis zur Harmonisierung wird auch etwa mit Blick auf das *Cognitive Event Processing* (CoEP) als Symbiose des *Cognitive Computing* traditionellen Zuschnitts sowie des CEP-Ansatzes bei J. Yang et al. (2015) deutlich, bei der folglich cyber-physische *4D-Event Streams* auf die *3D-Semantik* des linguistischen *Cognitive Computing* treffen, ohne dass dabei die Problematik erkannt wird: Natürlich ist ein trägerbezogenes 3D-Event etwas gänzlich anderes als ein 4D-Event als primäre

¹⁶ Zumeist wird beim *IoX-Computing* ein fundamentaler CPSS-Aspekt übersehen, nämlich die Relevanz seiner physikalischen Voraussetzungen: »[t]he physics domain is indeed at the core of the IoT, as it allows the approximation and estimation of functionalities usually provided by things«, vgl. Hachem et al. (2011: 1). Das gilt vor allem in der Hinsicht, dass dieser Umstand im Sinne der *CPSS-Adäquanz der Ontologie* von erster Relevanz ist, womit sich die ganze Ontologiedebatte primär nach der Frage der *CPSS-Adäquanz* bzw. ratio-empirisch nach einem transdisziplinär adäquaten Physikmodell, und nicht etwa nach den Restriktionen der *Alltagsprache* und den Eigenheiten des *Common Sense* zu richten hat. Genau das aber ist mit Gruber, Berners-Lee et al. im heute populären Ontologieverständnis der Fall und damit grundsätzlich zu bemängeln.

¹⁷ Das Problem des *Objektzentrismus* vs. *Ereigniszentrismus* stellt sich dabei in Form der *Verhältnisbestimmung von Ereignis und Objekt* und wird damit im Zuge ihrer Stellung im Kategoriensystem relevant [1142 ff.]. Wenn Objekte aus Ereignissen emergieren, sind erste sekundär. Indem in disparaten Ontologien einmal das Ereignis, und einmal das Objekt primär [1454 ff.], das andere jeweilig nachgeordnet ist, führt dies zu einer anderen Architektur des Kategoriensystems [1540 ff.]. Diese geht wiederum mit diversen meta-ontologischen Dispositionen einher, z.B. dem *Endurantismus* vs. *Perdurantismus* [1657 ff.].

Kategorie. Das gilt nicht nur in raumzeitlicher Hinsicht, sondern damit verbunden auch insofern, als hinter erstem der Grundstoff der *Materie*, hinter letztem der Grundstoff der *Information* steht und diese Kategorien eine völlig andere Stellung in diesbezüglichen Kategoriensystemen besitzen. Dabei steht außer Frage, dass in der Physik wie in der Informatik auf physischer bzw. informatischer Signalbasis einzelner Atome bzw. Bits letztlich immer die *Ereignisse* primär sind; sie bilden nicht nur eine eigenständige bzw. unabhängige, sondern vielmehr die *primäre Kategorie*, wie es auch die Sensorik und Aktorik als cyber-physische Schnittstellen offenbaren. Jedes physische *Signal* bzw. jede *Sequenz von Signalen* wird vermittels der Sensorik zum *informatischen* Bit und bildet hier wie da ein *Ereignis*; in diesem Sinne geht es bereits bei Whitehead (1898: 7) um eine "*sequence of events*". Demgegenüber zeigen sich Objekte als nachgelagerte, sekundäre Kategorie, oder anders gewendet: Objekte konstituieren sich, wie es die Whitehead-Quinesche Pixeltheorie anhand grafischer Pixel als Bildpunkte verdeutlicht, erst aus Ereignissen und sind als solche auch in diesen situiert. Die Grubersche Ontologie kennt jedoch gar keine Ereignisse als eigenständige bzw. grundlegende Kategorie, sondern sie ist gemäß der Alltagssprache auf Objekte fixiert. Insofern ist richtig, was insbesondere Popper dargelegt hat, nämlich, dass die Informatik neben den Leibniz-Whiteheadschen *metaphysischen* Zusammenhängen sich genauso elementar mit der *Natur des Wissens* im Whitehead-Popperschen Sinne beschäftigen muss, wenn es um die zentrale AI-Ontologiefrage der *Wissensrepräsentation* geht. Denn auf Whiteheadscher Grundlage ist für Popper (1972a) evident, dass dem *objektiven Wissen*, mithin der *Scientific Ontology* die primäre Stellung gegenüber einfachem *Common Sense* gebührt. Doch Grubers Fehler besteht nicht nur wiederum darin, dass auch dieser Punkt genau diametral und damit inferior konzipiert wird, sondern sein naiver Ontologiegedanke ist auch in weiterer Hinsicht unhaltbar: Wenn sich jedes *IoX-Computing* prinzipiell physisch wie kausal "in der Welt" bzw. als "Teil" der realen Welt vollzieht, wird nicht nur die mit der zweiten These kritisierte *minimale* ontologische Verpflichtung zum Problem, sondern vielmehr das *defekte Metaphysikverständnis*, das dieses Problem eigentlich erst bedingt. Zweifelsohne ist mit autonomen "*Reality Machines*" eine *realweltliche* Semantik direkt impliziert, und mit ihr verlangt jedes Repräsentationssystem ein umfassendes »ontological commitment«. Das gilt sowohl mit Blick auf die *externe* wie die *interne* Metaphysik, also einerseits in Bezug auf alle erfahrbaren physischen bzw. sozialen Welten, und andererseits in Bezug auf Strukturen und Prozesse, in denen sich MAS-Agenten in ED-SOA-Architekturen bewegen oder etwa die physische IoX-Sensorik auf SOA-Basis (Sensors as a Service) operiert [1815 ff.]. Dann aber kann die physische Sensorik und Aktorik, für die – im Sinne einer physikalisch verankerten Informationstheorie – Pixel, Bits bzw. Signale und – allenfalls erst nachgelagert – eine alltagssprachli-

che Semantik grundlegend sind, allein unter dem Regime genau *einer* fundamentalen Ontologie stehen. Denn ontologisch ist alles mit allem genauso interdependent wie es insgesamt für cyber-physische Ereignisse in komplexen IoX-Systemen zu konstatieren ist. Dann aber ist die Referenz auf mehrere inkompatible fundamentale Ontologien unzulässig und somit die Koexistenz widersprüchlicher *Top-level Ontologien* inakzeptabel. Tatsächlich bestehen für Agenten extern wie intern zahlreiche Restriktionen, die es zu beachten gilt, indem autonome Agenten in *Multi-Agent Systems* (MAS) eingebunden sind [1835 ff.], die als *Complex Adaptive Systems* (CAS) zu adressieren sind [1100 ff.; 1819 f.]. Mikas (2007) Rede von "*ontologies are us*" geht nicht zuletzt auf Grubers mangelhaftes Ontologieverständnis zurück; es steht dabei außer Zweifel, dass eine solche Ontologieauffassung mit Verweis auf Leibnizens *Computing* das genaue Gegenteil von dem markiert, was für die Informatik richtig ist, nämlich ihre Verankerung in dem durch McCarthy nicht umsonst geforderten "*general world view*". In der Tat verlangen exakte Computer als autonome "*Reality Machines*" nach einer Ontologie, die das genaue Gegenteil von Grubers repräsentationaler Beliebigkeit auszeichnet.¹⁸ Grubers, Berners-Lees oder Mikas Idee von "Ontologie" sollte die Informatik rasch *ad acta* legen, bevor sie in realen "*nontoy worlds*" größeren Schaden anrichtet: Linguistische Semantik ist keine Ontologie, denn diese ist immer meta-ontologisch bzw. fundamental metaphysisch verankert. Insofern verlagert sich die Frage der adäquaten Ontologiekonzeption automatisch auf die Frage nach der adäquaten Metaphysikkonzeption, die die Abgrenzung distinkter Metaphysikklassen nahelegt [962 ff.]. Strawsons (1959) *deskriptive Metaphysik*, auf der implizit und teils explizit der größte Teil der Ontologie der Informatik steht, ist dabei schon im Grundsatz defekt [1588]. Denn sie legitimiert sich explizit über Kant [685], jedoch ohne Kant wirklich verstanden zu haben. Denn Kants (1784) Position steht gerade der Willkürlichkeit in der Verabsolutierung *rein rational* begründeter Positionen entgegen; es ist eine Kritik der Immunisierung gegenüber den Wahrheiten der objektiven Realität. Diese ist nur aufhebbar, wenn Aussagesätze in Konfrontation mit der Erfahrung scheitern können, wenn sie falsifizierbar sind. Das bedeutet für McCarthys Frage nach dem "*general world view*" nicht nur eine fundamentale Prämisse, sondern es ist letztlich für die

¹⁸ Aus Grubers (1993: 199) Diktum: »For knowledge-based systems, what 'exists' is exactly that which can be represented« folgen nicht nur schwerwiegende Probleme *semantischer Kommensurabilität* und es fördert das Entstehen semantischer Silos. Vielmehr ist diese These, die in ihrem generellen Charakter überaus fragwürdig ist, im Zeichen des *Leibniz-Computing* schlichtweg unhaltbar. Entsprechend ist sie genauso wie das linguistische Ontologieverständnis als solches grundsätzlich abzulehnen. Dabei ist evident: Gruber vertritt die ontologische Gegenposition zu Leibniz bzw. Whitehead. Wenn weite Teile der Informatik in unreflektierter Weise indessen mit Gruber der grundsätzlich falschen Ontologieposition folgen, besteht neben der problematischen Koexistenz inferiorer TLO-Theorieanwörter offensichtlich ein umfassenderer Revisionsbedarf. Denn wer das defekte Grubersche Ontologieverständnis favorisiert, kann weder das Wesen der *Ontologie* an sich noch das des *cyber-physischen "Reality Computing"* verstanden haben. Analoges gilt damit im Hinblick auf das für die Informatik zentrale Leibnizprogramm.

ganze Ontologie- bzw. Metaphysikfrage entscheidend. Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft* ist nicht nur eine Kritik absoluter Rationalität, sondern zuvorderst eine Kritik des *reinen Rationalismus* wie schließlich jeder willkürlichen sprachlichen Weltenbildung, wenn es um die allgemeine Weltauffassung geht. Kants Metaphysikkritik ist somit gewiss nicht Kritik an der Metaphysik als solcher, sondern vielmehr Kritik gerade an jener Metaphysik, die Strawsons (1959) *deskriptive Metaphysik* verkörpert. Kant verlangt vielmehr nach ihrem genauen Gegenteil, nach *revisionärer Metaphysik* [1832 ff.]; denn gute, d.h. tatsächlich verteidigbare Metaphysik ist mit Einstein (1934) bzw. Whitehead (1929a) *ratio-empirische* Metaphysik. Darauf zielt schon Kants Metaphysikposition, die im Sinne von Agassis (1976) Metaphysikverständnis als *regulative Idee* zu interpretieren ist.¹⁹ Um Metaphysik kommt *keine* Disziplin, allen voran die Informatik umhin; indes entscheidend ist mit P.M. Simons (2012: 139) »the right attitude to metaphysics« und dann sind mit ihm folgende Anforderungen an sie zu stellen: »realist, ambitious, yet realistically fallibilist, and above all, serious«. Das Erfordernis des *Requirements Engineering* gilt somit nicht nur für die Ontologie, sondern mit ihr auch für die Metaphysik, indem fast alle Metaphysik für die Informatik grundlegend inadäquat ist. Das kann insofern nicht überraschen, als nicht übersehen werden sollte, dass ihre Schlüsselstellung wie ihre Transdisziplinarität exorbitant hohe Anforderungen an die Metaphysik stellen. So läuft die Informatik als Strukturwissenschaft etwa notwendig auf eine universale techno-wissenschaftliche Strukturmetaphysik hinaus [1531 ff.], und gewiss hat eine für sie adäquate Metaphysik zuvorderst ihrem Grundstoff, der *Information*, gerecht zu werden. Dabei wurde die alles entscheidende Metaphysikfrage genauso wenig wie die Ontologiefrage jemals systematisch untersucht, ob schon bei allen anderen, gerade auch unwichtigeren Aspekten der Informatik immer mit einer solchen Anforderungsspezifikation begonnen wird. Auch diese Kritik ist umso mehr zu bekräftigen, als eine Lösung der Metaphysikproblematik immer schon bestanden hat (vgl. These 4); sie wurde bisher nur nicht in Erwägung gezogen, weil insgesamt die universale Bedeutung von Metaphysik wie der Ontologie in der Disziplin mehr oder weniger unverstanden ist. – Wie in der ersten These erwähnt, besteht in Kant insgesamt einer der Schlüssel zur Auflösung der Ontologieproblematik der Informatik. Natürlich steht Agassis (1976) *regulative Idee* der Metaphysik im direkten Zusammenhang mit Poppers *regulativer Idee der Wahrheit* [1691], und schließlich wiederum beides mit Kants metaphysischem Zensoramt wie mit seiner Metaphysikkritik an allen Metaphysiksystemen, die diese entscheidenden Aspekte nicht berücksichtigen und damit inferior bzw. grundsätzlich abzulehnen sind. Popper sollte für die Informatik in Leibniz-Whiteheadscher Tradition deshalb

¹⁹ Nach Kant (1781) ist es Aufgabe der Metaphysik, »Irrtümer abzuhalten«; als solche besitzt sie ein »Zensoramt, welches die allgemeine Ordnung und Eintracht [...] des wissenschaftlichen gemeinen Wesens sichert« [989]. Das ist allein möglich auf Basis *ratio-empirischer*, d.h. *revisionärer Metaphysik* [1597 f.].

eine feste Größe bilden, indem erst mit ihm klar wird, worum es im Wechselspiel zwischen metaphysischer Ontologie und der Wissensrepräsentation der *Knowledge Ontology* hinsichtlich der wesentlichen Frage der Wahrmacher (Truthmaker) [1747 ff.] gehen muss: auf beiden Ebenen wesentlich ist das Moment der Falsifikation, wenn es um fundamentale Aspekte geht. Denn es ist erst dieses, das wiederum den eigentlichen Unterschied zwischen *revisionärer* und *deskriptiver* Metaphysik zeigt. Gruber (1993, 1995) thematisiert das Problem der Wahrmacher erst gar nicht [454]; legt man Gruber (2004) wohlwollend aus, dann geht es bei ihm um *Natural Language Metaphysics* [1597], deren Wahrmacher (Truthmaker) auf einfachem paradigmatischen Konsens basiert. Allerdings greift das etwa mit Blick auf die Cyber-Physik von CPSS-Kontexten bei weitem zu kurz. Hingegen geht die BFO-TLO B. Smithens in dieser Sache einen Sonderweg, indem sie eine spezifische Korrespondenztheorie der Wahrheit zugrundelegt. Prinzipiell für deskriptive Metaphysiken denkbar ist die einfache empirische Verifikation sprachlicher Aussagen; diese ist möglich, ohne den *Ratio-Empirismus* revisionärer Metaphysik zu erfordern. Allerdings geht es bei der Metaphysik um fundamentale Aspekte und damit um *Allaussagen*, und diese lassen sich niemals empirisch verifizieren [1756]. Indessen reicht die Praxis der deskriptiven Metaphysik nicht einmal an ein *methodologisches* Verifikationsprinzip heran. Denn der Wahrmacher von Smithens BFO ist gar kein methodologischer, wie ihn indes die transdisziplinäre KR-Praxis der AI-Disziplin im techno-wissenschaftlichen Zusammenhang gewiss verlangt. Smithens BFO setzt in Sachen des *Truthmaker* vielmehr auf ein *kognitionswissenschaftliches* Prinzip, nämlich auf das *Prinzip der Veridikalität* [940, 1755, 1921], das als subjektives, ggf. als intersubjektives Prinzip niemals an ein methodologisches objektives Prinzip im Popperschen Sinne heranreicht. Wenn B. Smith auf Grundlage seiner deskriptiven Metaphysik wie seines *Prinzips der Veridikalität* von *Scientific Ontologies* spricht, dann sind es also nicht solche, die Popperschen Anforderungen standhalten. Von echten *Scientific Ontologies* kann gewiss nur auf Basis der *revisionären Metaphysik* in der Informatik die Rede sein, womit nicht unerwähnt bleiben sollte, dass die Informatik sie heute nicht besitzt. Es geht also um *Scientific Ontologies* im Popperschen Sinne, die dem Stand der Wissenschaften entsprechen, wobei deren empiristische Universalsynthese etwa mit H.A. Simon (1962), J. von Neumann (1966) oder K. Mainzer (2007a) nur über die *Theorie komplexer Systeme* als einigendes Paradigma führen kann. Technologische Ontologien wiederum können allein auf dieser Basis aufbauen, womit sich der Kreis schließt: Denn es geht um die kategoriale wie meta-ontologische Korrespondenz von Physikmodell und Informatikmodell, mit der sich kybernetisch erst die korrekte Realisierung ihrer kausalen Durchgängigkeit eröffnet. Dabei sind *Cyber-physische Systeme* (CPS) strukturalistisch als *komplexe Systeme* zu fassen, die auf informatorischen Kategorien als trans-

disziplinär durchgängigem Prinzip aufbauen. Faktisch verlangt jede CPS-adäquate Wissensrepräsentation auf Basis CPS-adäquater Ontologie, dass alle Aussagensysteme auch im Kantisch-Popperschen Sinne an der Realität scheitern können müssen; sie müssen also im ratio-empirischen Sinne *fallibel* sein.²⁰ Damit ist evident, dass die Informatik auch in dieser wichtigen Sache ein Ontologieproblem hat. Denn sie baut ihr Ontologieverständnis mehr oder weniger ausnahmslos auf deskriptiven Metaphysiken auf, deren Wahrmacher in kognitiven Prinzipien wie Konsens oder Veridikalität bestehen,²¹ jedoch in keiner Weise auf *Fallibilität* angelegt sind. Für die universalen Zwecke der Informatik ist das indiskutabel, und zwar nicht nur mit Blick auf ihre KR-Zwecke im Bereich der *Semantic E-Sciences*, sondern zuvorderst mit Blick auf die Cyber-Physik, auf der all ihre Systeme prinzipiell stehen. Natürlich kann die *deskriptive* Metaphysik gar nicht auf ein methodologisches Falsifikationsprinzip abstellen, denn ansonsten würde sie somit insgesamt auf die *revisionäre* Metaphysik hinauslaufen. Und genau um diese muss es im techno-wissenschaftlichen Grundzusammenhang der Disziplin gehen; ungeachtet der Tatsache, dass *Common Sense* in nachgeordneter Weise in IoP-Kontexten auch eine wichtige Rolle spielt. – Indem Ontologie nur die Frage zum Gegenstand hat, *was es gibt*, hinterfragt die Metaphysik die *Natur der Dinge*. Sie reflektiert kritisch die fundamentalen Grundstrukturen aller Welten, was sie insbesondere mit Blick auf die Realität nur sachgerecht im Wechselspiel mit allen Wissenschaften vollziehen kann. Sie hinterfragt die *Realität*, indem die Frage, was existiert, zweifellos von dieser unmittelbar abhängig ist. Im Zeichen kausal wirksamer *Augmented Reality* und einer auch H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* entsprechenden *Ontologie der Artefakte* [1170; 1828] ist sie gewiss anders zu beantworten als vor dem heute gängigen materialistischen Realitätsverständnis. Dabei zeigt sich wiederum der Aspekt der Cyber-Physik; denn das kausale Realitätsverständnis *Cyber-physischer Sozialer Systeme* (CPSS) hat zugleich zur Konsequenz, dass *komplexe Systeme* existentiell vorauszusetzen sind. Dabei kann gewiss nicht bloß im Bungeschen Sinne sein materieller Teil als tatsächlich existent angenommen werden. Umgekehrt folgt daraus, dass das *System* allein kausal bzw. in informatorischer Wechselwirkung existiert; und insofern *Information* als physikalische Größe erachtet werden kann, ist es auch *physikalisch*, wenngleich nicht *materiell* existent. Der Grund, warum Positivisten, Materialisten, Physikalisten, Naturalisten usw. am materiellen Existenzbegriff festhalten, besteht in den grundsätzlich berechtigten Vorbehalten, dass ansonsten auch alles Immaterielle als ontologisch existent gesetzt werden könnte. Das widerspricht etwa dem durch Quine verfochtenen Ockhamschen *Parsimonie-*

²⁰ Dieses Erfordernis gilt allein für *techno-wissenschaftliche* Referenzontologien, die empirische Allaussagen aufweisen; für *praktische* Referenz- und Anwendungsontologien gilt es nicht.

²¹ Indessen sind auch diese Wahrmacher für CYPO FOX in bestimmten Modi von Relevanz, indem bei einer *Mehrweltenontologie* auch *multiple Wahrmacher* vonnöten sind [1747 ff.].

prinzip [1225] genauso wie dem durch Bunge vertretenen methodologischen *Scientific Realism* [1304]. Man kann diese Positionen mit Popper durchaus grundsätzlich teilen und dennoch immateriellen Sachverhalten ontologische Existenz zusprechen, wenn man vom *physikalisch* weitaus sinnvolleren Realitätsverständnis *kausaler Wirksamkeit* ausgeht, das zudem unter *cyber-physischen* Gesichtspunkten das einzig verteidigbare ist. Natürlich ist in der techno-wissenschaftlichen Hinsicht *komplexer Systeme* auch nichts anderes möglich, was somit gerade für die Informatik in Bezug auf Algorithmen bzw. Programme als kausal wirksame CPSS-Bestandteile unabdingbar ist. Dennoch hat sich darüber bisher niemand Gedanken gemacht, während faktisch alles andere ontologisch für die Disziplin völlig inadäquat ist. Es gibt also keine einzige Ontologiekonzeption, die an diesen für sie elementaren Aspekten unmittelbar ansetzt und darüber die Ontologiefrage eröffnet. Insofern erneuern wir unser pointiertes Postulat, wonach die Informatik ihre bisherige Ontologie über kurz oder lang zu hundert Prozent *ad acta* legen muss, da sie im Sinne des notwendigen Allgemeingültigkeitsanspruchs nicht zukunfts offen resp. investitionsicher ist.²² Tatsächlich bedarf sie eines radikal neuen ontologischen Entwurfs, wie er im Zuge der neunten These umrissen wird, und dabei programmatisch auch die zehnte, abschließende These impliziert. Es wird also deutlich, dass gerade in *existentieller* Hinsicht die eigentliche Ontologiefrage gar nicht losgelöst von der Metaphysik beantwortbar ist, während gerade auch im Kontext der Informatik eine dazu diametral entgegengesetzte, jedoch wenig durchdachte Position durch linguistisch motivierte "Ontologen" propagiert wird, nämlich die völlige Loslösung aller Ontologie von der Metaphysik [616; 1002; 1382]. Dass darin ein großer Trugschluss besteht, gilt dabei nicht nur in der Realitätsfrage, sondern damit verbunden auch in Bezug auf den physikalischen "*Urstoff*" des Universums. In dieser Sache hat die Metaphysik zu klären, welche der physikalischen Größen in transdisziplinärer Erwägung *als emergent durchgängige Prinzipien* meta-ontologisch bestimmend sein können. Wenn der *CPST-Hyperspace* kausal irreduzibel ist, steht außer Frage, dass es sich dabei weder um Energie noch um Materie handeln kann; vielmehr besteht in der *Information* jene Größe, die letztlich allem inhärent ist. – Wenn etwa eine materielle Ereigniskategorie in ihrer Trägerbezogenheit etwas anderes ist als eine informatorische Ereigniskategorie, dann sollte jedem Ontologen und jedem Semantiker klar sein, dass man Ontologie niemals von Metaphysik trennen kann. Somit wird deutlich, dass das Problem der Metaphysik darin zu sehen ist, dass sie unabdingbar ist, jedoch allein dann, wenn es sich um jene der richtigen Art bzw. die richtige Metaphysikkategorie [962 ff.] handelt. Gewiss kann es keine gute Ontologie auf Basis

²² Natürlich kann man provisorisch mit linguistischen bzw. materialistischen Ontologien arbeiten; nur sollte man dabei sehr genau überlegen in welchen eingeschränkten Bereichen das sinnvoll sein kann und welche Fehlschlüsse aus ihnen im Zusammenhang *Cyber-physischer komplexer Systeme* resultieren können; auch sollte klar sein, dass sie nicht den Kern einer CPSS-adäquaten Ontologiearchitektur verkörpern.

schlechter Metaphysik geben, wie es die gegenwärtige Ontologiepraxis der Informatik offenbart. Bunge (1967a) liegt sicher richtig, wenn er konstatiert, dass letztlich keine Disziplin die Wahl *für oder wider* Metaphysik hat, sondern allein zwischen *guter vs. schlechter* Metaphysik. Neutral analysiert, zeigt sich nur eine gute Metaphysik, was schon damit begründet werden kann, dass sie immer und gerade auch den Anforderungen der Informatik als Schlüsseldisziplin entsprechen können muss. Darauf kommen wir mit der nachfolgenden vierten These zurück. An dieser Stelle steht zunächst die schlechte Metaphysik im Fokus; denn sie erfordert mindestens eine genauso kritische Behandlung wie die besseren Varianten. Es gilt dabei, zunächst diese inferioren Varianten im Zuge eines rigorosen Selektionsprozesses zu beseitigen, um Platz zu schaffen für das, was für die universalen Zwecke aller Disziplinen superior ist. Das umso mehr, als es den Ruf der Metaphysik insgesamt zu rehabilitieren gilt, und dieser ist insbesondere durch die Dominanz schlechter Metaphysik dezimiert, während ihre letztlich einzig sachgerechte Ausgestaltung nie die ihr gebührende Aufmerksamkeit erfahren hat. In dieser Sache ist genauso mit G.R. Lucas (1989) eine klare Rehabilitierung unabdingbar [1020 ff.]. Beispiele für schlechte Metaphysik finden sich zuhauf, und zwar gerade auch im metaphysischen Diskurs der Informatik: Das trifft neben der *Commonsense Metaphysics* bei Hobbs et al. (1987) vor allem auf die *Natural Language Metaphysics* [1597] zu, die ebenfalls unter Strawsons (1959) *deskriptive Metaphysik* fällt, und mit K. Fine alternativ als "*naive Metaphysics*" oder als "*shallow metaphysics*" bezeichnet wird [1597]. Wie naiv das Projekt der "*naive Metaphysics*" als *deskriptive* Metaphysik faktisch ist, wird dann offensichtlich, wenn Kants Metaphysikkritik sich nicht nur inhaltlich, sondern gar *buchstäblich* auf *diese* Metaphysikvariante bezieht: Kant (1783a: 43) geht es in seinem Ziel einer *wissenschaftlichen Metaphysik*, das *mindestens* eine *Klasse-3-Metaphysik* impliziert [980 ff.],²³ um die "objektive Realität". Vor ihrem Hintergrund wendet er sich *ausdrücklich* gegen jede Form der durch K. Fine favorisierten "*shallow metaphysics*" [1597 f.]. Die prinzipielle Infragestellung des an sich fragwürdigen Projekts der *deskriptiven Metaphysik* ist umso mehr zu bekräftigen, als K. Fine die "*naive Metaphysics*" nicht etwa kritisch hinterfragt, sondern vielmehr in unreflektierter Weise und mit großem Nachdruck für genau diese votiert: K. Fine (2012b) setzt ausdrücklich diese *naive Variante* gegenüber der *revisionären Metaphysik* als absolut [1597 f.]. Dabei wird die "*naive Metaphysics*" bei K. Fine (2016) auch noch explizit als "*Metaphysik der Erscheinungen*" verstanden,²⁴ welche sowohl bei Strawson (1959) als auch im Zuge der *naive Metaphysics* bei Klemperer

²³ Das ganze unhaltbare Projekt *deskriptiver Metaphysik* repräsentiert als *Klasse-2-Metaphysik* gerade jene Metaphysikkategorie, die Kant (1781, 1783a) in zentraler Weise und aus gutem Grund angreift [1597 f.].

²⁴ Es wird nicht nur übersehen, dass *revisionäre Metaphysik* jene der Whiteheadschen Art ist, sondern auch, dass alle Momente der "*Metaphysik der Erscheinungen*" in Form des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* vollständig integrativ mit abgedeckt sind. Mit Whiteheads Prozessmetaphysik ist sie also gegenstandslos.

(1994) direkt auf Kant bezogen wird. Indessen wird dabei übersehen, dass eine "*Metaphysik der Erscheinungen*" das letzte gewesen wäre, was Kant gewollt hätte. Jenseits dieser Widersprüche, die schon zeigen, wie sehr die deskriptiven "Metaphysiker" und ebensolche "Ontologen" irren, ist insgesamt zu konstatieren, dass sie einen entscheidenden Aspekt komplett übersehen: sie verfehlen vollends den Kern der Sache, denn *deskriptive Metaphysik* kann *an sich* überhaupt keine Metaphysik repräsentieren, indem sie gar nicht auf das zielt, was diese Disziplin bzw. Tätigkeit ausmacht: Deskriptive Metaphysiker fragen weder nach der *Natur der Dinge* noch nach dem "Urstoff" der Entitäten. Sie fragen auch nicht nach den fundamentalen Strukturen der faktischen Realität. Bezogen auf die allgemeine Auslegung des Bedeutungsgehalts ist die Rede von *deskriptiver Metaphysik* damit objektiv betrachtet komplett unangebracht; nüchtern gesehen ist der Terminus "*nonsense*". Das ist hier deshalb unmissverständlich herauszustellen, weil es genau solche grundlegenden Irrtümer, vermeidbare Fehlinterpretationen und weitere mangelhafte Einschätzungen sind, die eine sachgerechte ontologische Fundierung der Informatik in gedankenloser Weise verbauen. Und diese ist im Zeitalter von Computern als kausal wirksame "*Reality Machines*" durchaus elementar. Natürlich geht es K. Fine selbst nicht um die *Ontologie der Informatik*; dennoch ist er einer der Gewährsträger philosophisch oftmals nicht besonders bewanderter linguistischer Ontologen der Disziplin, und in diesem kausalen Wechselspiel emergiert dann erst die Problematik. Gerade mit Kant ist eine solch naive Metaphysik- bzw. Ontologiepraxis grundsätzlich zu bemängeln, denn für ihn steht insbesondere erste im Zeichen *reflexiven Denkens*,²⁵ was gerade bei ihm in wissenschaftlicher bzw. revisionärer Reflexion mündet. Es geht dabei um empirisch *objektives Wissen*, mit dem alle Metaphysik im Sinne Kants (1781, 1783a), Whiteheads (1929a, 1933) oder Einsteins (1934) systematisch zu unterfüttern ist. Kant ist dabei nicht nur in seiner Metaphysikkritik landläufig wie grundsätzlich missverstanden worden, sondern auch insofern, als zumeist übersehen wird, dass man es bei Kant mit *zwei Arten von Weltauffassungen* zu tun hat, nämlich mit einer *metaphysisch-objektiven* Welt wie mit einer *subjektiven* Agentenwelt. Ihre Integration zeigt sich erst mit Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* im kritischen Rekurs auf Kant in einem in sich geschlossenen Metaphysiksystem als Ganzes umgesetzt. In dieser Sache gilt also mit Rescher (2003a: 349):

²⁵ Indem Kant der Metaphysiksystematik Wolffs (1730) folgt, gilt nicht nur für Leibniz, sondern auch für ihn, dass Ontologie die *metaphysica generalis*, also die *allgemeine Metaphysik* verkörpert. Indessen ist Kant insofern leicht misszuverstehen, indem es ihm nicht – wie Leibniz – um die Frage nach dem "*general world view*" und damit um die *metaphysica generalis* geht, sondern dazu gewissermaßen ergänzend um speziellere Aspekte der *metaphysica specialis* [975]. Das betrifft eine ganze Reihe von Fragen, etwa die epistemologische. Wesentlich geht es Kant – jenseits der Informatik – letztlich um die Frage der Weltauffassung einzelner Agenten im Wechselspiel sozialer Multiagentensysteme und damit gerade um das Erfordernis zur Differenzierung verschiedener Welten, wie sie oben mit Rescher (2003a) dargelegt ist. In Bezug auf den Agentenaspekt finden sich somit bei Kant wichtige Ergänzungen zur Digitalmetaphysik Leibnizens, die durch Whitehead (1929a) entsprechend aufgegriffen werden.

»The limits of our knowledge may be the limits of *our* world, but they are not the limits of *the* world. We do and must recognize the limitations of our cognition«. Darin besteht einer der für die Informatik wesentlichsten ontologischen Gesichtspunkte, wenn es mit dem *Cognitive Internet of Things* um *cyber-physisches Cognitive Computing* geht; denn dann ist evident, dass "*cognitive*" *metaphysics* [1599], die bisher die *deskriptive* Metaphysik für sich reklamiert, mit Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* als universalen Agentenklasse genauso im Rahmen der *revisionären* Metaphysik gegeben ist. Und das ist die systemisch einzig treffende Variante. Denn dann fällt die *Kognition* nicht – wie bei Guarinos et al. DOLCE-TLO – in eine *externe* kognitionswissenschaftliche Behandlung, sondern sie ist vielmehr *integraler* Teil ein und desselben metaphysischen Systems und dort im Sinne einer universalen Automatenklasse (IoA, IoP) an die *Perzeption* gekoppelt. Sieht man das *Cognitive Computing* im ontologischen MAS-Zusammenhang, dann kommt es mit Blick auf das Zusammenspiel im *CPST-Hyperspace* genau auf diese integrale Behandlung an. Dann sind nicht nur im Sinne Reschers zwei interdependente Welten zu differenzieren, sondern mit *CYPO FOX* vier Welten mit je spezifischen Kategorien (vgl. These 9). Demgegenüber gründet die "*cognitive*" *metaphysics* bei DOLCE, in der in kombinierter Betrachtung von Anwendungsbreite und Diffusion der gegenwärtig wichtigste TLO-Theorieanwärter besteht, im Sinne der deskriptiven Metaphysik in seiner kognitiv-linguistischen Veranlagung und seiner Fixierung auf *Common Sense* allein auf *epistemischen* Kategorien. Ontische Kategorien sind demgegenüber genauso wenig gegeben wie ein Physikmodell oder in expliziter Ablehnung des *metaphysischen Realismus* die Annahme objektiver Realität. Wenn die *W3C SSN Sensor Ontology* dennoch im Anwendungskontext der Cyber-Physik auf DOLCE+DnS Ultralight (DUL) referenziert, ist auch damit der insgesamt fragwürdige Stand der Ontologieforschung einmal mehr manifestiert. Demgegenüber liegen die Dinge *realiter* gänzlich anders, als sie mit DOLCE ontologisch erfassbar werden; sie bestehen nämlich im oben dargelegten Sinne Reschers (2003a) und noch darüber hinaus. Wesentlich ist also, dass jede subjektive Agentenwelt in Form des *Subjekt-Superjekts* prinzipiell kausal in die objektive Realität eingebettet ist, und die *Belief Revision* bzgl. der physischen Realität sich gerade auf diese Interaktion bezieht [1857 f.]. D.h. jeder Agent ist ein *unmittelbar erfahrendes Subjekt-Superjekt*, wie es allein in den Metaphysiken Whiteheads (1929a) oder unmittelbar auf Kant aufbauend bei Körner (1984) gegeben ist. Worin die naive bzw. deskriptive Metaphysik mit K. Fine und anderen grundlegend irrt, betrifft nicht nur Reschers Differenzierung der Welten als solche, sondern vor allem die Frage, welche maßgeblich ist bzw. ontologisch den eigentlichen Ansatzpunkt bedeutet. Denn das entscheidet nicht weniger als die Frage des für die Informatik sachgerechten Ansatzpunktes im *Ontology Engineering* (OE); und dieser besteht nicht in einer *lingu-*

istischen, sondern in einer *realistischen* OE-Position [657 ff.]. In cyber-physischen Umgebungen bzw. im Zeichen der *Belief Revision* lässt sich diese Frage eigentlich sofort entscheiden; dennoch wird sie – davon unabhängig – bei K. Fine (2012b) wie der ganzen deskriptiven Tradition genau verkehrtherum konzipiert. Erneut gilt: »the linguistic tail wagging the ontological dog« [714]. Während in der Philosophie die Relevanz der Welten vertauscht wird, wird in der Informatik erst gar nicht zwischen ihnen unterschieden. Dabei ist mit jedem CPS/MAS-Kontext direkt offensichtlich, dass Reschers (2003a) Differenzierung, die sich genauso schon bei Leibniz, Whitehead, N. Hartmann, Popper und anderen findet, Grundvoraussetzung jeder sachgerecht konzipierten Ontologie ist. Jede Ontologiekonzeption, die sie missachtet, ist bereits von vornherein als CPSS-inadäquat zu erachten und damit kaum zukunftsfähig. Inwiefern es angezeigt ist, die Ontologiepraxis ohne eine tiefergehende Reflexion zu führen wenn solch grundlegende Fehler zu konstatieren sind, sei dahingestellt. Auf jeden Fall zu bemängeln ist der Umstand, dass sie genauer besehen erst deshalb entstehen, weil heute fast alle Informatiker meinen, "Informatik" betreiben zu können ohne sich dabei mit den Fundamenten der Digitalmetaphysik beschäftigen zu müssen. Darin liegt der eigentliche Kardinalfehler der Disziplin und entsprechend das tatsächliche Elementarproblem der Ontologie, was wir abschließend mit der zehnten These nochmals genauer aufgreifen. Indessen ist eine philosophische Ontologie bzw. die Meta-Ontologie nur dann *CPSS-adäquat*, wenn ihr Existenzquantor $\exists x$ den *CPST-Hyperspace* mitsamt seiner komplexen Systeme in kausal irreduzibler Weise vollständig adressieren kann. Gelingt hingegen diese durchgängige Adressierung nicht, ist die jeweilige fundamentale Ontologie auch *nicht* universal und somit letztlich in ihrem natürlichen Allgemeingültigkeitsanspruch defekt. Gelänge den einzelnen Ontologieentwürfen diese vollständige Adressierung tatsächlich, gäbe es erst gar keine problematische Koexistenz konkurrierender TLO-Theorieanwärter. Anders gewendet läuft eine echte *CPSS-Adäquananz* auf einen derart engen Zuschnitt der Ontologie hinaus, dass es letztlich nur *eine* sachgerechte Ontologieauffassung gibt, nämlich die faktisch *universale Ontologie*, die tatsächlich sämtliche Diskursuniversen und somit schließlich diese auch *in toto*, nämlich als "*Universe of Discourse of Anything*" in seiner Eigenart als komplexes System adressieren kann. Auf den letztlich alles entscheidenden Allgemeingültigkeitsanspruch bezogen, dem aller Ontologie als *universaler* Ontologie inhärent ist, lässt sich die ganze Ontologieproblematik letztlich ganz einfach entscheiden. Dabei zeigt wiederum bereits die Prüfung auf diese *CPSS-Adäquananz*, dass kein Ontologe sie beantworten kann ohne Rückgriff auf die echte Metaphysik, ohne also die Natur der Dinge bzw. Prozesse an sich zu hinterfragen. Deskriptive Metaphysiker können demzufolge die Frage, ob ihre Ontologien *CPSS-adäquat* sind, auch gar nicht selbst klären. Sie beschäftigen sich erst gar nicht mit solchen Fragen, denn das wäre dann

wiederum *revisionäre* Metaphysik. Wenn deskriptive Metaphysiker dessen ungeachtet ihre unreflektierten Ontologieentwürfe als sachgerechte Ontologie der Informatik propagieren, was sie offensiv tun und sich dabei teils gegen die philosophische Ontologie wenden, dann sollten sie mindestens auf ihre fehlende Reflexion der *ontologischen Interdependenzproblematik* einerseits, und die *fundamentale Änderungsproblematik* andererseits hinweisen, die jeder Ontologiearchitektur inhärent ist [113]. Indem alle Modelle und damit alle darauf aufbauenden Systeme ontologisch veranlagt sind, spricht einiges dafür, solchen Aspekten erste Priorität entgegenzubringen. Dabei steht völlig außer Zweifel, dass *komplexe Systeme* des *CPST-Hyperspace* selbst in dem Fall, in dem es um *rein physische* Systeme geht, nicht rein auf Materie reduzierbar sind. Vielmehr spielt in kausaler Hinsicht *Information* als kausal einzig durchgängiges Prinzip die elementare Rolle [1064]. Bezogen auf den kausal irreduziblen *CPST-Hyperspace* besteht damit die wesentliche Kunst der *Meta-Ontologie* darin, *universale Kategorien* zu identifizieren, die für sämtliche ontologischen Facetten resp. für alle Systeme metaphysisch wie wissensontologisch gültig sind: Es sind *metaphysische Kategorien* einzufordern, die eine unbedingte *techno-wissenschaftliche* Korrespondenz besitzen müssen, damit sie tatsächlich transdisziplinär anwendbar sind [1831]. Die Grubersche linguistische "Ontologie" geht an all diesen Erfordernissen komplett vorbei [784 ff.]; sie ist für Computer als "*Reality Machines*", die physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, im Grunde indiskutabel. Denn sie ist im Ganzen des ontologisch interdependenten *IoX-Hyperspace*, und somit letztlich auch in einfachsten IoP-Kontexten im Zeichen *ontologischer Interdependenz* hochproblematisch. Dennoch stellt sie bei den meisten Informatikern nach wie vor das populäre Ontologieverständnis dar. Kritisch hinterfragt wird es selten, genauso wie die deskriptive Metaphysik an sich, und wenn, dann wiederum abseits des Mainstreams. Mit dem erforderlichen IoX-adäquaten "*ontological turn*" muss die Informatik sich allein schon insofern ihren Fundamenten der Digitalmetaphysik zuwenden, als sich ihre ontologischen Anforderungen erst sachgerecht vor dem Hintergrund der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik klären lassen. Denn erst dann ist evident, dass die ganze Metaphysik- bzw. Ontologiefrage zunächst einmal auf die *Erfahrungssphäre der Informatik* zu beziehen ist, um ihre eigentlichen Anforderungen Schritt für Schritt zu spezifizieren. Dann geht es natürlich nicht um linguistische Fragen, sondern dann geht es ontologisch um *cyber-physische Signale/Bits*, *Event Streams* und schließlich um ihren Grundstoff, um *Daten* bzw. *Information* und ihre Perzeption. Erst darauf aufsetzend gelangt im Whitehead-Popperschen Sinne die ontologiebasierte Wissensrepräsentation ins Spiel. Offensichtlich besteht nicht nur ein grundsätzliches Revisionserfordernis bezüglich der traditionellen Weltauffassung der Informatik, sondern vielmehr mit Blick auf kausal wirksame "*Reality Machines*" auch Handlungsbedarf.

4. *Jede neutrale Prüfung der Metaphysikfrage ergibt, dass die für die Informatik adäquate Digitalmetaphysik in Whiteheads ratio-empirischer Prozessmetaphysik besteht; als Cyber-Physik stellt sie universales Event Stream Processing (ESP) dar: Indem es die Informatik mit Cyber-physical Computing zu tun hat, und ihre Ontologie somit notwendig eine CPSS-adäquate Natur aufweist, muss der erste Schritt zu einer solchen Ontologie in der Klärung der Frage bestehen, was die fundamentalen Strukturen aller cyber-physischen Welten ausmacht. CPSS-Strukturen sind dabei als komplexe Systeme aufzufassen. Demnach bedarf es einer strukturalistischen Systemontologie [1829], die auf komplexe Systeme angelegt ist, woran jedoch alle in der Informatik bisher bemühten Ontologiekonzeptionen vorbeigehen.*²⁶ Problematisch erscheint ferner, dass in fast allen Ontologieansätzen der Informatik "Ontologie" entgegen dem Leibniz-Whitehead-Konnex nicht zunächst mit der Frage des "general world view" beginnt. Also jener Frage, die auf der Ebene von Leibnizens *Metaphysica* als Digitalmetaphysik auf die universalen Strukturfragen des Automatenuniversums hinausläuft, wie sie sich heute mit dem *Internet of Everything* (IoX) in gleicher Totalität stellen [106]. Denn die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* kann gewiss nur auf ein universales Ontologieverständnis hinauslaufen, das gleichzeitig etwa auf das *Internet of Geophysical Things* (IoGT), das *Internet of Chemical Things* (IoCT), das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT), das *Internet of Medical Things* (IoMT) oder auf das *Internet of Industrial Things* (IoIT) resp. die *Factory of Things* applizierbar ist [104 ff.]. Strukturalistisch betrachtet gelten dabei die gleichen Prinzipien, und deshalb muss die Informatik auch zu einem universalen Verständnis von Computing, Realität, Selbstorganisation, Information, Kausalität, Struktur, System, Adaption, Evolution, Emergenz, Komplexität, Ontologie, Agentenklassen, Epistemologie, Methodologie, Wissensrepräsentation, Logikkalkülen usf. kommen, das in seiner notwendigen Einheit allein über die Digitalmetaphysik begründbar ist: Wie sonst sollte es einheitlich begründbar sein? Niemand wird dabei ernsthaft bestreiten, dass all diese und verbundene Momente wie etwa alle Modellierungsfragen zusammengehören. Dann aber müssen sie auch ausgehend von einem einheitlichen Kern entwickelt werden, was indessen gegenwärtig nicht annähernd der Fall ist. Das Problem *universaler Ontologie* betrifft jedoch nicht nur den "general world view" der Informatik, der bis heute niemals neutral diskutiert worden ist. Es betrifft damit unmittelbar zusammenhängend gerade auch

²⁶ Zwar geht es etwa bei der BWV-TLO um *komplexe Systeme*, jedoch nicht um solche auf Basis *informativischer 4D-Events*. Auch Sowa (2000) bildet in dieser Sache insofern keine Ausnahme, als es bei ihm weder um *cyber-physische Aspekte* noch systematisch um die *Theorie komplexer Systeme* geht. Auch orientiert sich Sowa nicht konsequent am Leibnizprogramm; insbesondere wird das Moment linguistischer Ontologie – entgegen Leibniz, Whitehead oder Quine – bei ihm zu unkritisch gesehen. Der techno-wissenschaftliche *Ratio-Empirismus* Whiteheads bleibt bei Sowa genauso unberücksichtigt wie Whiteheads MAS/CAS-Aspekt. Was die Peirce-Whitehead-Orientierung Sowas betrifft, geht seine Ontologiekonzeption als Ausnahme zumindest generell in die richtige Richtung.

die Wissensrepräsentation und damit die Ontologie als *Knowledge Ontology*, indem jede superiore Repräsentation von Wissen *transdisziplinär* zu halten ist [158 ff.]. Denn nur eine *transdisziplinäre* Wissensrepräsentation eröffnet jene Möglichkeit zur *ad hoc* Verschaltung verschiedenster Ontologien [1831], die für echte *Artifizielle Intelligenz* (AI) zu fordern ist. Mit diesem Doppelproblem universaler Ontologie wird deutlich, dass die Frage der für die Informatik adäquaten Metaphysik offenbar zwar essentiell, aber nicht ohne eine tiefere Reflexion entscheidbar ist. Wenn es oben in strukturalistischer Hinsicht etwa um das *Internet of Chemical Things* (IoCT), das *Internet of Living Things* (IoLT) oder das *Internet of Medical Things* (IoMT) geht, dann steht gewiss außer Frage, dass diese Entwicklungen nicht bei der Sensorik oder der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) enden, sondern dass sie auf Basis exakter Messungen des *sensor-* bzw. *IoX-basierten Scientific Computing* via *Scientific Ontologies* in damit jeweils korrespondierenden transdisziplinär veranlagten *Semantic E-Sciences* münden. Dann geht es auch in diesem Fall um ein ganzes *System von Ontologien* [625], etwa um chemische (ChemTop) oder biologische (BioTop) *Kernontologien* [636] oder um Domänenontologien, die wie die *ChEBI-Ontologie* auf erste oder die *Gene Ontology* (GO) bzw. die *Cell Ontology* (CL) auf zweite referenzieren [636]. Natürlich ist an der Spitze dieses *Systems von Ontologien*, das in diesem Fall insbesondere in der *OBO-Foundry* besteht [681], wiederum die *Top-level Ontologie* als oberste Referenzebene im Spiel. Sie wird hier durch die neo-aristotelische BFO-TLO B. Smithens gestellt, obschon diese mit den zentralen Prämissen der "*New Biology*" [1036] fundamental inkompatibel ist [1036], da erste eine *Substanzontologie*, zweite eine *Prozessontologie* verkörpert [1517 ff.; 1832 f.]. Daneben kann es in einem Kontext, in dem es etwa mit dem *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) oder dem *Internet of Medical Things* (IoMT) gerade auch um *Artefakte* jedweder Art geht, nicht sinnvoll sein, die Entitäten auf *immanente Universalien* [1615 ff.; 1847] bzw. auf eine rein *aktualistische Weltauffassung* [1637 ff.; 1848] einschränken zu wollen. In transdisziplinärer Hinsicht ist vielmehr erforderlich, H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* ontologisch anschließen zu können. Das gilt umso mehr, als die AI-Tradition gerade mit H.A. Simon (1995a) als *Empirical Science* zu verstehen ist. Diese ist jedoch in diesem AI-Zusammenhang (wie auch sonst) mit der Wissensrepräsentation immer *ontologisch* zu erschließen, womit deutlich wird, dass die Ontologien von Quine, B. Smith und letztlich auch von Bunge zum Problem werden. Denn diese lassen unter Existenzgesichtspunkten keine *Ontologie der Artefakte* zu [1170 ff.], was gerade den Gegenstand von Bunges Angriff auf Poppers *Welt 3* darstellt [1342]. Indessen werden diese bereits mit den empirischen Gesichtspunkten etwa der *Artificial Life-Forschung* benötigt [1182 ff.], während sie mit den *Cyber-physischen Systemen* (CPS) aller diversen IoT-Kontexte ohnehin ontologisch vorauszusetzen

sind. Doch damit nicht genug: die Ontologie muss allen oben genannten technowissenschaftlichen IoT-Anwendungen in Form einer *transdisziplinären* Repräsentation gerecht werden, weil erst diese eine beliebige Verschaltung aller Wissensontologien zulässt. Daraus folgt, dass die Semantik den *universalen Strukturen* der metaphysischen Ontologie entsprechen können muss, was nur dann realisierbar ist, wenn sie systematisch auf den "*general world view*" bezogen wird. Demgegenüber kann eine Semantik, die sich an der Alltagssprache orientiert, eine solch universale Funktion nicht leisten. Denn ansonsten müsste es so sein, dass die Alltagssprache allen fundamentalen Strukturen, um die es in allen Struktur- bzw. Erfahrungswissenschaften, in allen Technologien und in aller Praxis geht, genau entspricht. Das ist jedoch nachweislich nicht der Fall. Mit der Doppelnatur der Ontologie kommt entsprechend auch der Metaphysik eine Doppelfunktion zu: sie muss als strukturalistische cyber-physische Digitalmetaphysik alle fundamentalen Strukturen sämtlicher Welten bzw. Diskursuniversen eröffnen können. Und sie muss als technowissenschaftliche Metaphysik jene Kategorien identifizieren, die damit zusammenhängend tatsächlich als *universale Kategorien* für die Zwecke transdisziplinärer Wissensrepräsentation generell voraussetzbar sind. Das ist die Aufgabe der *metaphysica generalis*, die Wolff (1730) unmittelbar auf Leibniz aufbauend in seiner allgemein akzeptierten und bis heute gültigen Systematik als *allgemeine Metaphysik* deklariert. Der primären Stellung der *Metaphysica* entsprechend behandelt Leibniz neben den strukturalistischen Aspekten die damit verbundene Repräsentationsfrage in seiner transdisziplinär angelegten *Scientia generalis*, die wiederum auf seiner logico-mathematischen *Mathesis universalis* aufbaut. Ontologie ist damit bereits für Leibniz zum einen *metaphysische Ontologie*, zum anderen darauf aufbauende *formale Ontologie*, indem das Leibnizprogramm immer integrativ bzw. in seiner Einheit zu denken ist. Insgesamt ist im Leibnizschen Sinne zu fordern, dass die Ontologie der Informatik kategorial wie meta-ontologisch über die *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene bzw. fundamentaler Referenzebene systematisch von der Metaphysik her erschlossen wird.²⁷ Damit hat die Informatik bereits insofern kein linguistisches, sondern vielmehr zwingend ein *philosophisches Ontologieverständnis* zugrundezulegen [606 ff.], als die CPSS-Adäquanz sämtlicher fundamentaler Kategorien wie meta-ontologischer Dispositionen systematisch und neutral zu klären sind. Erst auf dieser Grundlage könnte man dann ggf. zu dem Ergebnis gelangen, dass die Sprachgrammatik in all ihren Kategorien bzw. meta-ontologischen Dispositionen genau dem entspricht, was CPSS-adäquat ist. Ihre ggf. modifizierte

²⁷ Ein solches Vorgehen findet sich allein bei Sowa (1995); allerdings allenfalls im Grundsatz, da die eigentlich entscheidenden Momente unberücksichtigt bleiben. Denn es steht bei Sowa weder systematisch im Zeichen eines zirkulären *Ratio-Empirismus* samt Projektion auf H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial*, noch in jenem einer *transdisziplinären Wissensrepräsentation*. Auch die dazu notwendige *empiristische Universalsynthese*, die in strukturalistischer Hinsicht allein in der *Theorie komplexer Systeme* bestehen kann, spielt bei Sowa keine Rolle.

Anwendung wäre demgemäß erst nach einer solchen Reflexion gerechtfertigt. Bereits jede oberflächliche Prüfung lässt jedoch den *Harmonie-Schluss* nicht zu; vielmehr ist die einfache Sprachgrammatik mit jener Meta-Ontologie, wie sie situativ bzw. prozessual-relational verfasste *cyber-physische Ontologien* voraussetzen, grundsätzlich inkompatibel.²⁸ Damit aber ist der *linguistische OE-Ansatzpunkt* abzulehnen [657 ff.]. Zweifelsohne ist die Meta-Ontologie insgesamt entscheidend, wenn mit Castel (2002: 29) gilt: »Information [...] is [...] designed (created through specific choices)«. Mit Beinsteiner (2010) ließe sich auch vom *metaphysischen Charakter der Information* sprechen, jedoch dann nicht mehr auf eine bloß *virtuelle*, sondern vielmehr auf eine *cyber-physische Realität* bezogen. Dabei zeigt sich dieses Design bedingt durch die kategorialen wie meta-ontologischen Dispositionen, die im Spannungsfeld der Cyber-Physik ihrerseits metaphysisch zu verankern sind. Auch kein Fachinformatiker kommt an diesen Dispositionen vorbei, denn sie bestehen immer, also auch beim bequemen Rückgriff auf die Alltagssprache, wie es die erwähnte *Natural Language Metaphysics* offenbart [1597]. Allerdings haben Leibniz, Whitehead, Quine und andere im Kontext der *Logical Machines*, von denen bereits Peirce (1887) und andere sprechen, nicht umsonst vor dem Rückgriff auf Alltagssprache gewarnt. Denn sie ist nicht wirklich auf exaktes Computing ausgelegt, woraus folgt, dass jeder, der sie dennoch verwendet, umso mehr nicht um eine umfassende metaphysische Reflexion umhinkommt. Denn diese ist in diesem Fall gerade besonders notwendig, um im Kontext eines *cyber-physischen "Reality Computing"* Fehlfunktionen und andere Probleme auszuschließen. Ob die *Natural Language Metaphysics* vor dem Hintergrund techno-wissenschaftlicher Erfordernisse der Cyber-Physik für die Informatik eine sachgerechte Metaphysikkategorie repräsentiert, bleibt also gesondert zu untersuchen. Auf jeden Fall ist im Sinne von Wolffs (1730) *Philosophia prima sive Ontologia* evident, dass gerade auch in Bezug auf technologisch in die Realität eingebettete Systeme *Ontologie* immer *fundamental* ist; sie ist *ex definitione* und bleibt generell: *metaphysica generalis*. Als solche manifestiert sie McCarthys (1995) "*general world view*", der kategorial via *Top-level Ontologie* in die *Knowledge Ontology* der Informatik transformiert wird und somit auch universal die Struktur der Wissensrepräsentation bestimmt. *Ontologie* ist also für die Informatik nicht nur im Zeichen Castels (2002) *fundamental*, indem sie nicht weniger als ihren "Grundstoff", nämlich Daten, Information und Wis-

²⁸ Das gilt insofern, als die Sprachgrammatik *objektzentrisch* veranlagt, und nicht auf *4D-Event Streams* fixiert ist. Zum anderen, als sie sich primär bzw. ausschließlich auf linguistische Begriffe, nicht aber primär auf das für *komplexe IoX-Systeme* eigentlich ausschlaggebende ontologische "*organizing principle*" bezieht: »the relationship between bits and atoms«, vgl. N.A. Gershenfeld in R.N. Katz (2002: 36). Und diese Beziehung bzw. das ontologische "*organizing principle*" besteht universal in Whiteheads (1929a) *4D-Event Streams*, die primär formallogisch, sekundär allein mit einer neuen, nämlich mit einer exakten, technologisch orientierten *4D-Art von Normalsprache* zu erschließen sind, wie sie D. Davidson – auf Whitehead aufbauend – ins Spiel gebracht hat: Objekte sind dann sprachlich als *ereigniszentrische Objektlebenszyklen* zu definieren und als solche zu denken.

sen bestimmt. Vielmehr besteht die eigentliche Problematik darin, dass *cyber-physische "Reality Machines"* mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind. Insofern ist die Ontologie nicht etwa als bloße Wissensontologie dem Informationsverständnis nachgelagert, sondern sie ist ihm im Leibniz-Whiteheadschen Sinne metaphysischer Ontologie vorgelagert und damit für die Informatik in jeder Hinsicht entscheidend. Es ist also die Ontologie, die in ihrem metaphysischen Rekurs den "Grundstoff" der Informatik erst bestimmt, und mit dieser primären Stellung wird zugleich deutlich, wie sehr ihr gegenwärtig dominierendes linguistisches Ontologieverständnis an ihren eigentlichen Zwecken vorbeiläuft. Vor dem Hintergrund von Castels (2002) *Ontological Computing* sind zwei strukturalistisch unmittelbar zusammenhängende Ebenen der Ontologie zu differenzieren, die sich bereits in dieser Weise im Leibnizprogramm finden: Primär geht es um die *metaphysische Ontologie*, auf dieser Basis sekundär um die *Knowledge Ontology*, also um die Wissensontologie. Beide strukturalistisch interdependenten Ontologieebenen finden ihre Einheit in der *Top-level Ontologie*, die die meta-ontologischen Dispositionen sowie die Kategorien der *metaphysischen Ontologie* als Referenzpunkt für alle *Knowledge Ontology* verkörpert. Mit der *Top-level Ontologie* ist das Verhältnis von *metaphysischer Ontologie* und *Knowledge Ontology* ein zirkuläres, indem erst letztere den transdisziplinären Nachweis erbringen kann, dass die durch erste auf ratio-empirischem Wege gewonnenen techno-wissenschaftlichen Kategorien tatsächlich universale Gültigkeit besitzen. Indem *Information* nicht mehr bloß syntaktisch, sondern vor allem semantisch aufzufassen ist, kommt die Informatik nicht um Metaphysik umhin. Denn alle davon losgelöste rein linguistische Semantik hat – wie es das Grubersche linguistische Ontologieverständnis verdeutlicht – zahlreiche Defekte zur Konsequenz, auf denen sich kein haltbares Ontologieverständnis begründen lässt. Hier ist vielmehr im Leibnizschen Sinne mit Bunge zu konstatieren: »[S]emantics [...] does have metaphysical presuppositions«, womit sich umgekehrt mit P.M. Simons sagen lässt: »metaphysics constrains semantics« [100]. Universalinformatikern wie McCarthy/Hayes (1969) ist dies klar, wenn sie *metaphysisch* adäquate Repräsentationen fordern [103]. Es besteht also strikte Strukturinterdependenz von Metaphysik und Semantik, die allerdings prinzipiell immer von erster zu letzter zu erschließen ist, und sich mit Verweis auf Heil (2003: 189) gewiss nicht umgekehrt aufzäumen lässt. Indem es damit nicht um Strawsons (1959) *deskriptive Metaphysik* gehen kann, auf der die meisten – wenngleich nicht alle – Ontologieansätze der Informatik implizit wie teils auch explizit aufbauen, sondern allein um *revisionäre Metaphysik* als Gegenposition [1588 ff.], ist neben der Debatte um das Ontologieverständnis als solchem [441 ff.] notwendig ein weiterer, grundsätzlicherer Diskurs zu führen, nämlich um die Metaphysik als solcher [962 ff.]. Konkret muss es dabei um die Frage der für die

Informatik tatsächlich adäquaten Metaphysik gehen, die mit ihrer Kernstellung in Sachen konzeptueller wie semantischer Modellierung letztlich jedoch auf die Frage ihrer techno-wissenschaftlichen Adäquanz für alle Disziplinen und alle Praxis hinausläuft. Geht man der Frage der für die Informatik tatsächlich adäquaten Metaphysik systematisch auf Basis einer universalen IoX-Anforderungsspezifikation nach [1809 ff.], wird deutlich, dass die *deskriptive Metaphysik* sich nicht nur mit den Defekten des linguistischen Ontologieverständnisses disqualifiziert, sondern dass sie insgesamt betrachtet nicht den Anforderungen der Disziplin entspricht. Man sollte dabei nicht vergessen, dass sie durch Strawson (1959) auch gar nicht mit diesem Ziel erschaffen wurde. Genauso wenig sollte dann aber auch nicht übersehen werden, dass die Leibniz-Whiteheadsche *revisionäre Metaphysik* demgegenüber dezidiert im Zeichen der Cyber-Physik entwickelt wurde. Prüft man die Metaphysikfrage in umfassender wie neutraler Weise, dann steht außer Zweifel, dass für die Disziplin allein eine, nämlich die höchste bzw. anspruchsvollste Metaphysikklasse richtungsweisend sein kann, und das ist die *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads als Digitalmetaphysik [986 ff.; 1832 ff.]. Diese ist *cyber-physisch, ratio-empirisch, techno-wissenschaftlich, universal-strukturalistisch, relational-komplex, logico-mathematisch, informatorisch-digitalistisch* und als solche schließlich *transdisziplinär* veranlagt [1020 ff.]. Gerade in pragmatischer Hinsicht ist zu berücksichtigen, dass jede Semantik eine Struktur besitzt; bei der linguistischen Semantik besteht diese zuvorderst in der normalsprachlichen Grammatik, die allerdings an den eigentlichen Zwecken der Informatik völlig vorbeigeht. Insofern kann sie gewiss nicht allgemeine Basis der IoX-Ontologie sein, sondern ist in einer integrierten Ontologiearchitektur vielmehr für menschliche Agenten und ihrem *Common Sense* an nachgeordneter Stelle mit zu berücksichtigen. Entsprechend wird offensichtlich, dass die allgemeine Struktur der IoX-Semantik keineswegs grammatikalisch bedingt ist, sondern sich genau danach richtet, wie das jeweilige Diskursuniversum strukturiert ist. Insofern wird auch die zentrale Rolle der *revisionären* Metaphysik verständlich, denn sie strukturiert alle Diskursuniversen in dieser fundamentalen Hinsicht. Semantik ist immer *kategorial* und immer *meta-ontologisch* disponiert: die Frage, wie Entitäten ontologisch repräsentiert werden, hängt also generell von den entweder explizit oder mindestens implizit zugrundegelegten Kategorien sowie meta-ontologischen Dispositionen ab. Dieser Zusammenhang gilt immer, also bei jeder einzelnen Ontologie, ungeachtet dessen, ob sie linguistisch oder realistisch ist bzw. auf einer deskriptiven oder revisionären Metaphysik beruht. Es macht natürlich gewiss einen Unterschied, ob Ereignisse eine unabhängige oder abhängige Kategorie bilden; ob sie den Objekten über- oder untergeordnet sind, indem sie in allen gängigen Ontologiekonzeptionen auf einen Träger bezogen sind. Oder ob es abstrakte Entitäten gibt, ob mögliche Welten zulässig sind, ob Entitäten zeitlich

konzipiert sind oder nicht usf. Denn die metaphysische Struktur wirkt hier genauso wie die Grammatik der Alltagssprache: verschiebt man diese Struktur bzw. wechselt man die Stellung linguistischer Kategorien, ergeben sich daraus jeweils völlig disparate Sinnzusammenhänge. Entsprechend steht außer Frage, wie wichtig die richtige Struktur für die Ontologie autonomer Systeme ist. Dass mit Glymour/Ford/Hayes (2000) *AI im Kern Philosophie* ist, haben linguistische AI-Semantiker wie Gruber [454] oder Berners-Lee [608] im Kontext des *Semantic Web* offensichtlich nicht verstanden,²⁹ wenn sie meinen, dass es sich bei ihren *semantischen Netzen* um *Ontologie* handele und dabei auch noch einen Allgemeingültigkeitsanspruch vertreten. Mit ihren naiven Positionen erreichen sie gerade jene Teile der Informatik, die sich um tiefergehende Grundfragen keine Gedanken machen wollen. Indessen gibt es jenseits dieser Semantiker auch in der AI-Disziplin bzw. in der Informatik insgesamt sehr wohl echte *Ontologen*; unter diese fallen all jene ebenso zahlreiche im fünften Teil behandelten Positionen, die im Sinne Mealys (1967) ein *philosophisches* Ontologieverständnis fordern. Das gilt auch selbst für solche Ansätze, die mit Blick auf die schwierige Metaphysikdebatte diese zu umgehen suchen bzw. explizit nicht ein metaphysisches Ontologieverständnis vertreten wollen. Mit der deskriptiven Metaphysik bzw. normalsprachlich verfasster Ontologie meinte man, diese durch den Positivismus und andere metaphysikkritische Strömungen umschiffen zu können, doch in Wirklichkeit sind dadurch erst die eigentlichen Probleme entstanden. Wie gesagt setzt jede Philosophie, jede Weltauffassung immer metaphysische Dispositionen voraus, was im Zeichen der *Natural Language Metaphysics* bzw. deskriptiven Metaphysik auch für die Sprachphilosophie gilt. Nicht umsonst besteht die *Erste Philosophie* in der Metaphysik, und diese markiert damit die wichtigste Disziplin überhaupt, weil im Sinne des zirkulären *Ratio-Empirismus* in ihr alles zusammenläuft. Mit dem Erfordernis einer *CPSS-adäquaten Ontologie* wird die unter Sprachphilosophen verbreitete Ablehnung des *metaphysischen Realismus* hinfällig [1818 f.]. Denn *Cyber-physische Systeme* (CPS) lassen sich kaum überzeugend konzipieren, wenn die subjektunabhängige Existenz einer Außenwelt abgestritten wird. Metaphysik ist notwendig, um universale Kategorien voraussetzen zu können; der *metaphysische Realismus* ist nicht mehr als die grundlegendste Hypothese jeden *kritischen Realismus* [1691 ff.; 1853 ff.]. Sie ist unabdingbar, wenn einerseits mit Prigogine/Stengers (1984) oder Esfeld (2006b) die Durchgängigkeit von Metaphysik und Physik zu fordern ist,³⁰ andererseits mit der kausalen Irreduzibilität des

²⁹ Indessen versteht Berners-Lee *Ontologie* später explizit als "*Philosophical Engineering*" [559].

³⁰ Gerade diese Durchgängigkeit von *Physik* und *Metaphysik* ist allein auf Basis *revisionärer Metaphysik* möglich; der *Vierdimensionalismus* der Relativitätstheorie ist mit der *deskriptiven Metaphysik* genauso wenig zu fassen wie etwa die auf der Nichtgleichgewichtsthermodynamik aufsetzenden *dissipativen Strukturen*. Insofern ist die Idee der *deskriptiven Metaphysik* auch gegenüber wissenschaftlichem Fortschritt und entsprechenden Weiterentwicklungen der insgesamten Weltauffassung ignorant, was nicht zuletzt für die Zwecke einer gerade auch wissenschaftlich anwendbaren Informatik inakzeptabel ist.

CPST-Hyperspace keineswegs in letzterer allein alle universalen Kategorien verankert sein können. Physikalisten sind Reduktionisten, während der Reduktionismus mit Blick auf den emergentistischen *IoX-Hyperspace* für die Cyber-Physik bzw. die erforderliche CPSS-Adäquanz der Informatik wie für die Ontologie insgesamt gar nicht in Betracht kommt [1708 ff.]. Um die universalen Kategorien tatsächlich bestimmen zu können, ist somit im transdisziplinären Sinne nicht nur die Durchgängigkeit von Metaphysik und Physik zu postulieren, sondern im Zeichen des Whiteheadschen »interplay between science and metaphysics« [140; 985] die Durchgängigkeit der Metaphysik und prinzipiell allen *techno-wissenschaftlichen* Disziplinen. Mit der pragmatischen Attitüde der Informatik muss das gewiss so weit gehen, dass die Anforderungen der Technopraxis in systematischer Weise mit berücksichtigt werden. Das wird dann erfüllt, wenn die ontologische Anforderungsspezifikation sich nicht nur auf ein abstraktes Automatenuniversum bzw. auf die *Theorie komplexer Systeme* bezieht, sondern dezidiert auf die ontologischen Anforderungen des *IoX-Hyperspace* abstellt. Es ist also für die Konzeption der *Top-level Ontologie* nicht ausreichend, wenn im Sinne *externer* Metaphysik die Whiteheadschen *Event Streams* Umsetzung finden; vielmehr verlangt ihre technische Funktion auch die umfassende Berücksichtigung aller Aspekte *interner* Metaphysik, die universal wie von Dauer sind. Hierzu gehört der MAS-Aspekt genauso wie damit verbundene ontologische Anforderungen etwa von ED-SOA (Service Ontologies), RTBDA bzw. CEP (SCEP bzw. CYPO *OCEP*) und insgesamt die Verkopplung mit der *Enterprise Ontology* (TLO-EO-Verkopplung), wie es mit der achten These gefordert wird. Indem die TLO-Konzeption auf Dauer stabil bleiben muss, kann es nur um universale Aspekte gehen, die für den *IoX-Hyperspace* in strukturalistischer Hinsicht konstitutiv sind. Ein Teil der gegenwärtigen TLO-Konzeptionen erkennt inzwischen, dass die Dimension der internen Metaphysik nicht außer Acht gelassen werden kann; so ist etwa die DOLCE-TLO nach und nach in dieser Richtung ergänzt worden, allerdings kann es nicht um solche nachträglichen Modifikationen gehen, sondern um den richtigen Gesamtentwurf, indem dieser cyber-physisch durchgängig zu konzipieren ist. Eine Reihe von TLO-Ansätzen, allen voran die BFO-TLO vernachlässigt diese interne Dimension hingegen komplett, was sie für durchgängiges *Information Processing* der Informatik disqualifiziert. Geht es bei der BFO-TLO um *Scientific Ontologies*, so sind diese zukunfts offen dann richtig konzipiert, wenn sich die via Multisensorsystemen im *Internet of Chemical Things* (IoCT) gemessenen Sachverhalte im Sinne *exakter Semantic E-Sciences* unmittelbar mit ihnen in allen Richtungen verbinden lassen. Mit der Sensorik, RTBDA-Technologien oder ED-SOA werden dann jedoch eine Reihe technischer Ontologien erforderlich, deren fundamentale Ontologie keine andere sein kann als jene, die für die Erfahrungsräume an sich gilt. Entsprechend ist es nicht ausreichend, die

Top-level Ontologie mit Blick auf die mannigfachsten IoT-Aspekte (IoV bei SAE Level 5 Fahrzeugen, IoCT, IoBNT, *Smart City*, *Smart Home* usw.) auf die objektiven Wahrheiten der modernen Physik bzw. naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten auszulegen, worauf die durch Prigogine/Stengers (1984) oder Esfeld (2006b) geforderte Durchgängigkeit zwischen Metaphysik und Physik zielt. Wenn Mittelstraß (1989a) von wissenschaftstheoretischer Seite insgesamt die transdisziplinäre Durchgängigkeit von Philosophie und Wissenschaft einfordert, und Glymour/Ford/Hayes (2000) die AI im Ganzen inklusive der AI-Ontologie im Kern als Philosophie verstehen, ist evident, dass für die Wissensrepräsentation das Transdisziplinaritätsmoment primär entscheidend ist. Wenn McCarthy (1995) nach dem "*general world view*" fragt, der im IoX/DAI-Sinne auszulegen ist, fällt die Antwort auf die Frage, ob die oben genannten höchst unterschiedlichen IoT-Aspekte alle notwendig auf die gleiche *Top-level Ontologie* referenzieren müssen, leichter. Natürlich benötigen alle IoT-Szenarien nicht nur insofern *eine* fundamentale Ontologie bzw. die Einheits-TLO, indem das Ziel in der transdisziplinären Verschaltung aller Wissensontologien besteht, wie es der Whitehead-Popperschen Kosmologie als Gesamterkenntnis entspricht. Vielmehr gilt umgekehrt, dass alle Disziplinen mit Blick auf die fundamentalen Strukturen ihrer Diskursuniversen zunächst einmal ihr Weltmodell in Computer als "*Reality Machines*" zu inkorporieren haben. Entscheidend ist hier, dass alle Disziplinen dabei letztlich mit der gleichen Herausforderung konfrontiert sind, nämlich mit der Frage, wie sich die *cyber-physischen* Strukturen ihrer Diskursuniversen in ein fundamentales Weltmodell der *Cyber-Physik* bringen lassen. Im Grunde gibt es nur eine *Cyber-Physik*, nämlich die im Einzelnen noch zu schaffende *Theorie Cyber-physischer Systeme* (CPS), die einerseits auf der *Theorie komplexer Systeme*, in fundamentaler Hinsicht andererseits auf der Digitalmetaphysik mit ihrem kybernetisch-informatisch durchgängigen *CPST-Hyperspace* aufbaut. Dabei zeichnet den konkreten *IoX-Hyperspace* aus, dass es bei ihm im Allgemeinen in jeder Hinsicht um hochkomplexe Integrationsszenarien geht. Das fängt an, wenn IoT-Objekte auf IoP-Sprachbefehle reagieren können müssen, oder sich das Forschungsprojekt parallel etwa auf das *Internet of Chemical Things* (IoCT) und das *Internet of Living Things* (IoLT) bezieht. Im *IoX-Hyperspace* ist alles eins, kosmologisch wie wissensontologisch, womit die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* notwendig auf eine Konzeption im Sinne von CYPO/IMKO hinausläuft. Auch wenn heute noch nicht alle dieser *ontologischen Interdependenzen* von Relevanz sind, ist doch die Ontologiefrage der Informatik zukunfts offen zu beantworten. Außerdem ist sie generell zu reflektieren, indem die Interdependenzproblematik *prinzipiell* besteht; sie kann in solchen Netzwerkstrukturen jederzeit unvermittelt relevant werden. Entsprechend ist der IoT-Aspekt, der schon für sich tiefgreifende Fragestellungen mit sich bringt, zur Lösung der fundamentalen Ontologieprobleme der

Informatik keineswegs allein ausreichend. Vielmehr muss es meta-ontologisch immer um das Ganze gehen, d.h. um sämtliche IoX-Aspekte, also in gleicher Weise um alle meta-ontologischen IoD-, IoS-, IoA- sowie IoP-Aspekte. Denn erst sie zusammen konstituieren in ihrem beständigen Wechselspiel den kausal irreduziblen *IoX-Hyperspace*. Dabei betreffen die Ontologieanforderungen sowohl *interne* wie *externe* Netzwerkrelationen, indem auch in ihrem Wechselspiel die ontologische Interdependenzproblematik besteht. Demnach ist eine echte Korrespondenz von externer und interner Metaphysik zu realisieren. Indem allein Whiteheads *Klasse-4-Metaphysik* auf einer ratio-empirischen *Cyber-Physik* steht [1020 ff.], die gleichzeitig mit der "*New Physics*" [1030 ff.] korrespondiert bzw. diese in metaphysischer Hinsicht vorwegnimmt, lässt sich eine *cyber-physisch durchgängige Top-level Ontologie* auf ihrer Basis begründen. Insofern die *4D-Event Streams* bei Whitehead nicht allein physisch, sondern vielmehr *cyber-physisch* konzipiert sind, können auch alle *Event Streams*, um die es in der *internen* Metaphysik der Informatik geht (EDA bzw. ED-SOA, CEP, ED-BPM usw.) meta-ontologisch in *gleicher* Weise auf die Whiteheadsche Prozessmetaphysik rekurrieren. Betrachtet man demgegenüber die Anforderungen *externer* Metaphysik, übersehen die Ontologen der *deskriptiven* Tradition, dass der von ihnen in aller Regel abgelehnte *metaphysische Realismus* allein schon insofern die fundamentalste aller Hypothesen verkörpern muss, indem nur dann sämtliche empirischen Aussagensysteme falsifizierbar sind. Tatsächlich muss jede wissenschaftliche Hypothese fallibel sein, und das ist sie nur dann, wenn sie an den Fakten der Außenwelt scheitern kann. Zwar interessiert viele deskriptive Metaphysiker eigentlich weder die Wissenschaftspraxis noch die Methodologie, indem sie ihre Ontologieposition nicht begründen, sondern sie über die *Harmonie-These* einfach als ontologisch "gültig" proklamieren. Mit den IoT- bzw. IoX-Anforderungen wird jedoch das offensichtlich, was für die Informatik *immer* gilt, nämlich dass sie ontologisch das Kriterium der *CPS-Adäquanz* erfüllen muss. Wenn es ontologisch um *Cyber-Physik* geht, dann geht es um Digitalmetaphysik und den informatorischen Grundstoff der Leibniz-Whiteheadschen Art. Demgegenüber zeigt gerade die Materiefixiertheit der positivistischen Physik, dass sie eine *Cyber-Physik* nicht begründen kann. Indessen ist der *metaphysische Realismus* nicht nur an sich mit der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik präsupponiert, sondern genauso mit dem Whiteheadschen *Ratio-Empirismus*, der zentral auf dem Gedanken der *Fallibilität* abstellt. Nicht nur das eint Whitehead und Popper, sondern auch der Umstand, dass das Ganze bei ihnen explizit im Zeichen des *kritischen Realismus* steht. Insofern handelt es sich um nichts anderes als um die fundamentalste aller Hypothesen, die letztlich für den methodologisch sachgerechten wissenschaftlichen Vollzug, konkret für das Falsifizierungskriterium vorauszusetzen ist. Entsprechend entfällt das Argument der deskriptiven Metaphysiker, die revisionäre Metaphysik

deshalb abzulehnen, weil sie metaphysische Positionen, allen voran den *metaphysischen Realismus* postuliere. Sie irren in ihrer Annahme, dass es unverfänglicher sei, die Ontologie auf die neutrale Basis der Alltagssprache zu stellen. Vielmehr gilt umgekehrt, dass die deskriptiven Metaphysiker mit den meta-ontologischen Dispositionen der Alltagssprache wie mit ihrer Harmonie-These Sachverhalte behaupten, die sie nicht einmal im Ansatz zu begründen suchen. Sie setzen sie einfach völlig unreflektiert voraus; sie haben kein techno-wissenschaftliches Physikmodell, sondern setzen vielmehr auf eine *Naïve Physics*, zumeist – wie bei Gruber – der schlechtesten, nämlich der rein alltagssprachlichen Art. Daraus folgt: nicht der *metaphysische Realismus* auf Basis eines *kritischen Realismus* ist problematisch, sondern vielmehr die metaphysische Immunisierung der deskriptiven Metaphysik, indem diese damit *jenseits aller Erfahrung* steht, was die Kantische Metaphysikkritik gerade grundsätzlich bemängelt. Wenn das Erfordernis der *CPSS-Adäquanz aller Ontologie* mit dem *CPST-Hyperspace* außer Frage steht, besteht indessen im metaphysischen Realismus nur eine der unabdingbaren Prämissen. Untersucht man genauer, was die *CPSS-Adäquanz aller Ontologie* in meta-ontologischer Hinsicht für die Informatik bedeutet, ist festzustellen, dass sie mit Verweis auf den sechsten Teil nicht zu realisieren ist, ohne eine Vielzahl meta-ontologischer Dispositionen entsprechend zu bestimmen. Auch insofern ist die *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik notwendig philosophisch fundiert. Mit Blick auf den fünften Teil sind allerdings die jeweils bemühten philosophischen Ansätze ungeeignet, *Cyber-physische Soziale Systeme* (CPSS) zu fundieren. Das überrascht insofern nicht, als die digitale Wahrheit der *Cyber-Physik* woanders liegt, nämlich in der eigentlichen digitalmetaphysischen Programmatik der Informatik, auf die wir mit der abschließenden zehnten These nochmals zurückkommen. – Dass sich die oben skizzierte umfassende IoT-Problematik allein auf Grundlage der *Cyber-Physik* in universalontologischer Weise fassen lässt, ist dabei keineswegs eine neue Erkenntnis, sondern sie ist von Anfang an verbrieft. Denn die Idee des *Internet of Things* (IoT) wurde inhaltlich erstmals durch Gershenfeld (1999a) umrissen, der darauf das MIT *Center for Bits and Atoms* begründete, was letztlich inhaltlich im Zeichen der Whiteheadschen *Cyber-Physik* steht. Als *Cyber-Physiker* fordert Gershenfeld (2000a, 2000b) eine *Lebenszyklusorientierung* für "*Everything, the Universe, and Life*", also durchaus für das, was Ontologie im *Internet of Everything* (IoX) ausmacht. Aber auch insofern findet sich bei Gershenfeld nichts Neues, was sich nicht schon in der *Cyber-Physik* bei Whitehead (1929a) fände, wenn es bei diesem um *zelluläre Automaten* wie insgesamt um eine *organismische Philosophie* geht. Dennoch wird mit Gershenfeld (2000a, 2000b) deutlich, dass das IoT-Paradigma unmittelbar mit der *Physik der Evolutionsprozesse* korrespondiert, was natürlich insgesamt für die "*New Physics*" als *Komplexitätsphysik* gilt [1030 ff.] – auch wenn

von dieser in der bisherigen Ontologie der Informatik keine Rede ist. Metaphysisch hat damit alles einen Ursprung, eine einheitliche Basis, nämlich die Whiteheadsche (1929a) Prozessmetaphysik mit ihren cyber-physischen *4D-Event Streams* und ihrem auf *komplexe Systeme* abstellenden relationalen Strukturuniversum [1020 ff.]. Vor diesem Hintergrund ist die ontologische Problemstellung der Informatik einfach zu fassen und letztlich auch zu lösen, indem sie sich in drei grundlegenden Argumenten darlegen lässt: Argument (i) besagt, dass die Informatik zwingend einer *einheitlichen* universalen Ontologiekonzeption bedarf, weil dies die Interaktion sämtlicher Agentenklassen im *IoX-Hyperspace* verlangt und es die *ontologische Interdependenz* aller Systeme, Strukturen und Prozesse erfordert. Eine Koexistenz verschiedenster Ontologieverständnisse ist bei autonom agierenden AI-Systemen inakzeptabel, weil dies grundsätzlich dem Interdependenz- und Interaktionsgedanken agentenbasierter IoX-Strukturen widerspricht. Ferner ist auch für die Zwecke der Wissensrepräsentation eine solche Einheit zu fordern, indem sie ansonsten nicht transdisziplinärer Natur sein kann: Darauf kommt es gerade mit Blick auf die *Einheit des Wissens* an. Argument (ii) besagt, dass dieses integrative Ontologieverständnis zwingend einer *CPSS-adäquaten* Ontologiekonzeption bedarf. Alle CPSS-inadäquaten Ontologiekonzeptionen sind nicht universal und nicht zukunfts offen, damit inferior und somit für die universalen Zwecke der Informatik abzulehnen. Linguistische Ontologien sind CPSS-inadäquat, indem sie kategorial bzw. meta-ontologisch weder mit der modernen Physik noch mit der Informatik und damit insgesamt nicht mit den *4D-Event Streams* der Cyber-Physik korrespondieren. Allein auf ihrer informatorischen Basis lassen sich *Cyber-physische Systeme* (CPS) ontologisch bzw. kausal als *System* fassen. Argument (iii) besagt, dass eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption nur auf Basis einer Digitalmetaphysik realisierbar ist, die wiederum eine ratio-empirische Durchgängigkeit zum allgemein akzeptierten Physikmodell wie transdisziplinär zu allen techno-wissenschaftlichen Disziplinen besitzen muss. Es besagt ferner, dass es insofern für die Informatik keine ontologische Wahlmöglichkeit gibt, als allein die Whiteheadsche strukturalistische Digitalmetaphysik die erforderliche Fundierung einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption im Zeichen des metaphysischen Logizismus der Cyber-Physik bietet. Anders gewendet hat allein Whitehead auf der Grundlage Leibnizens die für *cyber-physische Logical Machines* notwendige Ontologie als allgemeine Metaphysik passgenau realisiert, was auch der Intention seiner Kosmologie entspricht. – Deskriptive Metaphysiker sollten prüfen, ob eines dieser drei Argumente unrichtig bzw. widerlegbar ist bzw. inwiefern die deskriptive Metaphysik vor ihrem Hintergrund noch rechtfertigbar ist. Sie ist es deshalb nicht, weil die Informatik wie auch sämtliche anderen Disziplinen nur eine einzige techno-wissenschaftlich korrekte Basis besitzen können, die tatsächlich *transdisziplinär* ist. Damit unterscheidet sich

die Whiteheadsche Position gerade von der ratio-empirischen Alternative Bunges, die in der Materiefixiertheit der *wissenschaftlichen Klasse-3-Metaphysik* in Wahrheit keine Alternative zur *techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik* darstellen kann. Denn deren transdisziplinäre *Cyber-Physik* gründet demgegenüber auf einem informationsbasierten *universalen Strukturalismus* [1302 ff.; 1369]. Ohne Zweifel sind nicht nur einzelne deskriptive, sondern auch revisionäre Metaphysiken grundverschieden, und in dieser Andersartigkeit in der Weltauffassung besteht auch ihr eigentlich konstituierendes Moment: Die Metaphysik bei Bunge ist letztlich im Kern als naturalistisch und materialistisch zu werten, auch wenn Bunge sich mit seinem *emergentistischen Materialismus* gegen eine solch klare Zuordnung sperrt. Die Metaphysik bei Whitehead ist demgegenüber *digitalistisch* und somit *antimaterialistisch*, womit es sich um echte Gegenentwürfe handelt. Das gilt einerseits für ihre ideellen Ursprünge (Aristoteles vs. Platon), und damit verbunden andererseits in Bezug auf den kosmologischen "Urstoff" existentieller Entitäten (Materie vs. Information) bzw. dem ontologischen Existenzprinzip (materielle Existenz vs. kausale Wirksamkeit). Dabei ist es Whitehead (1919, 1920, 1925, 1929a) selbst, der die *Information*, die N. Wiener (1948) später in seiner *Cybernetics* als dritte Größe der Physik postuliert, als Grundstoff in die Metaphysik einführt. Dieser Schritt basiert dabei wiederum auf dem *Ratio-Empirismus*; es ist die spekulative Schlussfolgerung aus der empiristischen Universalsynthese. Diese gelangt wiederum gewissermaßen zirkulär als metaphysische Voraussetzung über N. Wieners (1948) Postulat in die wissenschaftliche Sphäre zurück. Insofern liegt der eigentliche Ursprung der Informatik zwar bei Leibniz, doch sind gerade bei Whitehead erst jene Sachverhalte richtig ausgearbeitet, auf die es für sie in fundamentaler Hinsicht ankommt: der Grundstoff der Information, zelluläre Automaten, Multiagentensysteme (vernetzte Subjekt-Superjekte), Cyber-Physik und Cyber-physische Systeme (CPS), komplexe Systeme, metaphysischer Logizismus bzw. universales Computing usw. Vordenker der Automatentheorie wie McCulloch [718; 1082] oder Ulam [1186] beziehen sich nicht umsonst explizit auf Whitehead. Zwar steht Whitehead voll und ganz in der Leibnizschen Tradition, doch darf andererseits nicht übersehen werden, dass im Hinblick auf die Anforderungen der Informatik die eigentliche Bezugsbasis die Whiteheadsche Prozessmetaphysik sein sollte. Denn alle elementaren Aspekte, die sich in der Zeit nach Leibniz entwickelt haben (Kant, Hegel, Britische Emergentisten, Boole, Peirce, moderne Naturwissenschaften usw.) konnten selbstredend auch nur in der Whiteheadschen Synthese absorbiert werden [1088 ff.]. Auch wenn alle grundlegenden Aspekte bei Leibniz dargelegt sind, konnten sie erst vor diesem Hintergrund in der Weise ausgearbeitet werden, wie sie die Informatik im Speziellen und alle techno-wissenschaftlichen Disziplinen im Allgemeinen beanspruchen. Hierzu gehört etwa der *konsequente Ratio-Empirismus* der Metaphysik, der sie

durch empirische Unterfütterung im Kantischen Sinne fallibel macht, die ereigniszentrische Evolution aller Diskursuniversen, die systemisch-organismische Komplexitätssicht, die fundamentale Vorwegnahme der *Theorie zellulärer Automaten*, das techno-wissenschaftliche Systemdenken, Prozesse als *4D-Event Streams*, ereigniszentrisch situierte Objekte, die Vierdimensionalität aller Daten bis hin zur cyberphysischen Information als Grundstoff der Informatik usf. Es ist also bei allen Grundgedanken von der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik zu sprechen, während die kohärente fundamentale Bezugsbasis in der Whiteheadschen Prozess- bzw. Komplexitätsmetaphysik als jüngerem Ansatz zu sehen ist. Vor diesem Hintergrund muss es überraschen, dass jenseits des partiellen wie inkonsequenten Rekurses bei Sowa keinerlei Anstrengungen unternommen werden, in der Ontologiefrage systematisch bei Whitehead zu beginnen. Dabei wäre dieser Ansatzpunkt im Rückblick der Entstehungsgeschichte der Disziplin wie auch im Hinblick auf ihre Grundlagen sicherlich der naheliegendste Schritt. Gewiss wäre ein solcher Rekurs ergebnisoffen, d.h. kritisch gegenüber den tatsächlichen universalen Anforderungen zu prüfen; allerdings hat es eine solche Prüfung bisher nie gegeben. Vielmehr wird in der Ontologiefrage mit der deskriptiven Metaphysik bei Aristoteles oder Kant angesetzt, obschon diese nie auf Basis eines *metaphysischen Logizismus* nach den *formallogisch universalen Strukturen* gesucht haben; Leibniz und Whitehead zeichnet demgegenüber genau das aus, worauf es in der Informatik im abstrakten Sinne einschließlich interagierender perzeptiver Automaten als cyber-physische "*Reality Machines*" ankommt. Zu diesen metaphysischen Grundlagen der Whiteheadschen (1929a) *Klasse-4-Metaphysik* gibt es deshalb keine Alternative, weil es sich um die *Metaphysik der Informatik* handelt. Auf Basis dieser Digitalmetaphysik *kann* die Informatik eine *maximale ontologische Verpflichtung* eingehen, weil es zum einen die für sie adäquate bzw. richtige Metaphysik ist, und sie zum anderen im Zeichen ihres *Ratio-Empirismus* auch techno-wissenschaftlich korrekt ist. Letztlich *muss* die Disziplin diese ontologische Verpflichtung auch eingehen, weil einfache Methodologie für sie gerade nicht ausreichend ist. Die Informatik ist aber nicht nur aus dem Grunde zwingend metaphysisch zu fundieren, weil auch jede Methodologie letztlich nicht ohne mindestens implizite metaphysische Dispositionen auskommt. Das Erfordernis ist vielmehr ganz pragmatischer Natur: alle konzeptuellen Modelle sollten mit Blick auf die Systemintegration in fundamentaler Hinsicht kompatibel sein; in cyber-physischen Kontexten müssen sie etwa einschließlich des Realitätsverständnisses auch der Cyber-Physik entsprechen. Konzeptuelle Modelle lassen sich in fundamentaler Hinsicht allein über die *Metaphysik der Informatik* einheitlich begründen. Seit langem werden zur Evaluierung konzeptueller Modelle, von Modellierungssprachen bzw. Notationen *metaphysische Ontologien* bzw. *Top-level Ontologien* herangezogen: Nur sind es die falschen Ansätze (z.B. Bunge mit der

BWW-TLO). Das zweite Argument ist ebenso pragmatisch: es besagt einerseits, dass alle semantischen Modelle mit den jeweiligen konzeptuellen Modellen korrespondieren müssen (Strukturidentität), womit sich bereits an sich das Argument der konzeptuellen Modelle auf die semantischen Modelle überträgt. Andererseits ist die Metaphysik für die semantischen Modelle aber auch insofern vorauszusetzen, weil auch alle semantischen Modelle untereinander kompatibel sein sollten. Dazu müssen sie auf den gleichen Kategorien gründen. Das aber können deshalb nicht die Kategorien der *Natural Language Metaphysics* sein, weil diese nicht mit der *Cyber-Physik* kompatibel sind. Vielmehr müssen es jene Kategorien sein, die aus einer *cyber-physischen Metaphysik* stammen. Auf ihrer Basis ist im Leibniz-Whiteheadschen Sinne eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation wie die Lösung des Inkommensurabilitätsproblems vollends möglich. Insgesamt betrachtet, ist damit dargelegt, dass die für die Informatik adäquate Metaphysik in der Whiteheadschen Prozessmetaphysik besteht, die als Cyber-Physik ein universales *Event Stream Processing* (ESP) verkörpert. Genau darauf kommt es in der Informatik generell an.

5. *Die Top-level Ontologie (TLO) repräsentiert als oberste Referenzebene die fundamentale Ontologie der Informatik; mit der ontologischen Interdependenz liegt das Ziel in einer universalen Einheits-TLO, die in der Digitalmetaphysik verankert ist:* Indem die fundamentale Rolle, die die *Top-level Ontologie* (TLO) für das *Ontology Engineering* (OE) [621 ff.] wie für die Informatik insgesamt besitzt [471 ff.], mit-samt ihrer verschiedensten Funktionen im Ganzen vielfach unklar ist [809 ff.], bleibt gesondert auf sie einzugehen. Das gilt umso mehr, als sie im Grunde den wichtigsten Baustein der Ontologiediskussion bildet bzw. diese letztlich nicht ohne eine umfassende Referenz auf die *Top-level Ontologie* geführt werden kann: Die Informatik benötigt mit McCarthy (1995) einen "*general world view*", und dieser besteht in der *Top-level Ontologie* als ihrer obersten ontologischen Referenzebene. Während die *Top-level Ontologie* in die Informatik gehört, indem sie die oberste Ebene ihres Ontologiesystems markiert, geht die *Meta-Ontologie der Informatik* über diese hinaus. Die *Top-level Ontologie* bildet gewissermaßen das transdisziplinäre Manifest der Meta-Ontologie; erste ist demnach etwas dauerhaft Stabiles, letztes eher als interdisziplinärer Prozess zu begreifen, der auf die Korrespondenz der metaphysischen Kategorien mit jenen der Wissensontologie einschließlich entsprechender meta-ontologischer Dispositionen zielt. *Meta-Ontologie als Prozess* ist dabei in externer Hinsicht zuvorderst *Philosophie als Tätigkeit*, während die *Top-level Ontologie* über sie als Resultat lediglich philosophisch fundiert ist. Die Fragen der *Meta-Ontologie* transzendieren dabei nicht nur alle *semantischen* Modelle (AI-Modelle) [536 ff.], sondern genauso alle ihnen vorgelagerten *konzeptuellen* Modelle (CM-Modelle) [479 ff.]. Sie transzendiert *alle* Modelle und entsprechend alles, was auf ihnen gründet. Somit ist die *Integration von CM- und AI-Ontologien* zu

fordern [592 ff.; 1822].³¹ Das gilt umso mehr, als die Meta-Ontologie genauso für alle Modellierungssprachen bzw. Notationen und somit im Ganzen für sämtliche Architekturen, Systeme, Prozesse, Applikationen bzw. Services der Informatik direkt oder indirekt bestimmend ist. Wenn etwa Kamal/Fouzia (2013) *ontologiebasierte Datenbanken* ins Spiel bringen, wird dieser Umstand genauso ersichtlich wie beim *Stream Processing*, das ebenso auf eine ontologische Basis hinausläuft. Die ganze IT ist also nicht nur mit der Struktur der Information als ihrem Grundstoff immer durch die implizit oder explizit vorausgesetzte Meta-Ontologie vorgeprägt, sondern in jeder Hinsicht mit interner oder externer Metaphysik durchsetzt. Entsprechend sind diese fundamentalen Fragen auch von direkter pragmatischer Relevanz; sie lassen sich also gewiss nicht als theoretische Gedankenspiele und damit als nebensächlich abtun. Vielmehr ist jedes Engineering von Systemen bzw. Ontologien, das über diese Basisfragen hinwegsieht, insofern verfehlt, als es den Aspekt dauerhafter Stabilität in grundsätzlicher Weise missachtet. Demgegenüber handelt es sich bei der *Top-level Ontologie* insofern um eine *generelle* Referenzebene, als alle Modelle, alle Systeme, alle Services, alle Prozesse usf. sich in allen fundamentalen Aspekten auf diese beziehen können und sollten. Das gilt nicht nur etwa für semantische Modelle, sondern gerade auch für konzeptuelle Modelle. Insgesamt ist in Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* ein solch fundamentales Weltmodell zu inkorporieren; jedes *Computing* wird damit auch explizit zum *Ontological Computing*. Alle grundlegenden Aspekte sind damit im Sinne einer maximalen ontologischen Verpflichtung als explikative *Heavyweight-Ontologie* spezifiziert. Die *Top-level Ontologie* stellt dabei als Heavyweight-Ontologie die oberste Referenzontologie, auf die das ganze System von Ontologien referenziert. Insofern bildet sie nicht nur den "*general world view*" der Informatik, sondern technisch entsprechend ein "*common formal framework*" bzw. das "*ontological backbone*", ohne das eine integrative Ontologiekonzeption nicht zu realisieren ist [927]. Mit der *Top-level Ontologie* wird eine fundamentale Ordnung in die Entitäten der Diskursuniversen gebracht, indem ihre Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen die fundamentalen Strukturen des *CPST-Hyperspace*, der sich technisch konkret als *IoX-Hyperspace* darstellt, spezifizieren. Indem es sich dabei um ein "*Universe of Discourse of Anything*" handelt, das eine *ontologische Interdependenz* aufweist, resultiert daraus die *meta-ontologische Interdependenzproblematik*. Aus dieser folgt, dass alle Ontologien im *IoX-Hyperspace* letztlich die gleichen fundamentalen ontologischen Dispositionen treffen müssen, indem es sich um ein einziges, totales Diskursuniversum handelt. Mit der kausalen Irreduzibilität des *CPST-Hyperspace*

³¹ Beide müssen hier selbstverständlich auf einem *identischen fundamentalen Weltmodell* aufbauen, was in praxi jedoch kaum beachtet wird, wenn etwa die BWW-TLO für die Evaluierung *konzeptueller* Modelle, und gleichzeitig etwa DOLCE als *semantische* Referenzbasis Anwendung finden. Demnach kommt der *Top-level Ontologie* in ihrer Eigenschaft als oberster Referenzebene eine integrative Doppelfunktion zu.

hat es die Informatik mit *Cyber-physischen Sozialen Systemen* (CPSS) zu tun, die unterschiedliche Agentenklassen besitzen und die in der Agenteninteraktion (MAS) immer als *Complex Adaptive Systems* (CAS) zu verstehen sind. Entsprechend muss die *Top-level Ontologie* einerseits CPSS-adäquat sein, andererseits das Kriterium der MAS/CAS-Adäquanz aufweisen. Insofern muss Ontologie nicht nur generell aufgrund der universalen Zwecke der Informatik immer als *universale Ontologie* verstanden sein, sondern sie muss gerade auch deshalb universal sein, weil alle Ontologien genauso in einem interdependenten Gefüge stehen wie es in der Informatik auch für alle Agenten, Services, Prozesse, Systeme usw. der Fall ist. Damit ist klar, dass das eigentliche Problem bereits im *Ontology Engineering* (OE) besteht, indem hier regelmäßig explizit oder zumindest implizit völlig unterschiedliche meta-ontologische Dispositionen vorausgesetzt werden oder die Ontologien auf vollkommen disparaten fundamentalen Kategorien bzw. Kategoriensystemen gründen. Insgesamt werden entsprechend zwei elementare Erfordernisse deutlich: erstens muss die *Top-level Ontologie* an sich den verpflichtenden OE-Ausgangspunkt bilden, damit jede Ontologie gerade auch in der entscheidenden fundamentalen Hinsicht semantisch explizit spezifiziert ist. Indem in IoX-Strukturen prinzipiell gesehen jedes *Computing* ein "*Reality Computing*" begründet, ist jedes *Ontology Engineering* ohne eine systematische Referenz auf eine CPSS-adäquate *Top-level Ontologie* inakzeptabel [621 ff.]. Darüber hinaus ist auch erst mit dieser TLO-Referenz das ganze *System von Ontologien* in jedem Integrationsszenario kompatibel [1822]. Dabei hat jede auf den ersten Blick noch so unbedeutende Ontologie dem Grundsatz zwingender TLO-Referenz zu entsprechen: Es ist nicht abzusehen, ob es im Wechselspiel aller Ontologien langfristig zu Fehlschlüssen kommen kann, die auf inkompatible fundamentale Kategorien bzw. meta-ontologische Dispositionen zurückgehen. Insgesamt bildet die *Top-level Ontologie* die oberste Referenzontologie der Informatik, und zwar in allen fundamentalen Fragen aller Weltmodelle, womit sie sämtliche Ontologieaspekte einschließlich jenen des Ontologieverständnisses bzw. der Ontologiekonzeption *an sich* bestimmt. Denn diese sind wesentlich durch die Meta-Ontologie bzw. kategorial determiniert. – Das zweite Erfordernis besteht darin, dass IoX-Strukturen in ihrer Vernetztheit insgesamt als *einheitliches Integrationsszenario* begriffen werden müssen, das auf den *IoX-Hyperspace* als *totales Diskursuniversum* hinausläuft. Dann steht nicht nur außer Frage, dass es sich im IoX-Hyperspace nur um ein und dieselbe *Top-level Ontologie* handeln kann, sondern dass in der Informatik insgesamt eine *universale Einheits-TLO* vorauszusetzen ist. Dieses Erfordernis wird von führenden Ontologen geteilt, während andere ihre Realisierung praktisch für unmöglich halten [138 f.]. Die letzte These stellt dabei jedoch ein rein *sozialpsychologisches* Problem dar; sie stellt explizit nur darauf ab, dass menschliche Agenten aufgrund unterschiedlicher Weltauffassungen sich auch

nicht auf einen "*general world view*" der Informatik werden einigen können. Das ist zwar insofern richtig, als die bisherige konfuse Ontologiedebatte genau darauf schließen lässt; tatsächlich lässt sich auf ihrer heutigen Basis keinerlei Konsens bzw. eine ontologische Synthese finden. Denn die bisher Beteiligten gehen immer von ihren *eigenen* Weltauffassungen als menschliche Agenten aus; sie übersehen dabei jedoch, dass die Informatik letztlich auf ihre unterschiedlichsten Befindlichkeiten und Meinungen, die sie als kognitiv verzerrte menschliche Agenten besitzen, keine Rücksicht nehmen kann und wird. Für die Informatik ist nicht entscheidend, was einzelne Ontologen meinen und denken; vielmehr zählt allein das, was für die Informatik *faktisch* universal vorauszusetzen ist. Beispielsweise ist jede Ontologie, die ein Diskursuniversum bzw. eine Welt nicht prinzipiell als *komplexes System* begreift, für die Informatik inadäquat. Denn in den meisten Fällen hat es die Informatik mit diesen zu tun. Dennoch gibt es heute keinen einzigen Ontologieansatz, der das systematisch voraussetzt. Vielmehr machen fast alle Ontologien am gegenteiligen Gegenteil, nämlich an einzelnen Objekten, Dingen usw. fest. Insgesamt zählen dabei die Fakten der Digitalmetaphysik als Cyber-Physik bzw. die ontologischen Notwendigkeiten, die sich aus der kausalen Irreduzibilität des *CPST-Hyperspace* ergeben. Dass es solche universalen Anforderungen der Disziplin gibt, ist deshalb heute völlig unklar, weil ihre Fundamente nicht freigelegt sind. Diese Fundamente bestehen in der Digitalmetaphysik, womit für die Frage der TLO-Konzeption das relevant wird, was mit den vorstehenden vier Thesen abgehandelt wurde. Vor ihrem Hintergrund wird deutlich, dass es sehr wohl eine *universale Einheits-TLO* der Informatik geben kann – wenn man diese nur richtig angeht. Das ist allein möglich auf Basis einer *IoX-Anforderungsspezifikation* [1809 ff.], die wiederum ein systematisch vollzogenes universales *Requirements Engineering* voraussetzt. Demgegenüber ist gerade unter pragmatischen Integrations- bzw. Stabilitätsaspekten die heute bestehende Koexistenz disparater *Top-level Kategorien*, die letztlich konkurrierenden "*general world views*" gleichkommt, prinzipiell abzulehnen. Offensichtlich besteht darin ein zentrales Problem semantischer Intelligenz, wenn neben den mehr als zwei Dutzend alternativen Ansätzen zur *Top-level Ontologie* (TLO) noch Dutzende von *Top-level Kategorien* hinzukommen, die unmittelbar auf Ontologieebenen implementiert sind, die der TLO-Referenzebene *an sich* untergeordnet sind [123 ff.]. Es geht etwa um Domänenontologien, die keine TLO-Referenz besitzen, sondern vielmehr in zumeist unreflektierter Weise einfach eigene *Top-level Kategorien* voraussetzen. Das Problem ist dann an sich das gleiche.³² Es gibt faktisch Dutzende von Ideen, auf welche Weise die fundamentale Ontologie der Informatik zu konzipieren ist; neben linguistischen und kognitiven sowie fachspezifischen, insbesondere industriellen Erwägungen finden sich im Grunde alle Ideen zur philo-

³² Vgl. exemplarisch Ganter/Stumme (2003).

sophischen Ontologie auch in der Informatik wieder. Nicht nur das ist bemerkenswert und problematisch, weil offenbar vielfach die eigentliche Tragweite der jeweiligen ontologischen Positionen nicht sachgerecht eingeschätzt wird. Kritischer als die Masse all dieser Ideen ist etwas anderes, nämlich der Umstand, dass kein einziger Ontologieansatz systematisch und neutral fragt, worin eigentlich die universalontologischen Anforderungen der Informatik bestehen. Allerdings kommt es im Sinne eines systematischen *Requirements Engineering* genau darauf an. Stellt man nämlich *diese* entscheidende Frage, wird schnell offenbar, wie abwegig indes nahezu sämtliche dieser ontologischen Ideen zu den *Top-level Kategorien* für die eigentlichen ontologischen Zwecke der *cyber-physischen* Informatik *de facto* sind.

6. *Indem ein TLO-Mapping unmöglich ist, fordert die Einheits-TLO die rigorose Evaluierung und Selektion aller TLO-Theorieanwärter anhand des totalen Diskursuniversums der metaphysischen Cyber-Physik bzw. der IoX-Anforderungsspezifikation: Wenn mit der kausalen Irreduzibilität des IoX-Hyperspace das Ziel in einer universalen Einheits-TLO bestehen muss, stellt sich für die Informatik die Frage, wie sie mit der Koexistenz einer Vielzahl disparater Top-level Kategorien umgehen soll. Von verschiedener Seite wird vorgeschlagen, in dieser Sache genauso zu verfahren wie man auch sonst bei der Integration verschiedener Ontologien verfährt, nämlich mit einem Ontologie-Mapping bzw. -Merging. Dass die Lösung dieses Fundamentalproblems in einem solchen TLO-Mapping bzw. TLO-Merging gesehen wird, lässt sich wiederum nur mit einem defekten, d.h. linguistischen Ontologieverständnis erklären.³³ Kein echter Ontologe käme je auf die Idee, dass sich die eine fundamentale, mithin metaphysische Ontologie in eine andere auch nur annähernd übersetzen ließe. Das würde exemplarisch betrachtet nämlich bedeuten, dass man die Kategorien bzw. meta-ontologischen Dispositionen etwa Brentanos in jene von Rescher übersetzen wollte. Auch lässt sich ein sachgerechter "general world view" natürlich nicht dadurch erreichen indem man versucht, die Kategorien bzw. meta-ontologischen Dispositionen defekter TLO-Ansätze in jene anderer, nicht minder defekter Ansätze zu übersetzen. Entsprechend wird deutlich, dass das *ontologische Inkommensurabilitätsproblem* das eigentliche Kernproblem der Informatik markiert. Seine Kehrseite – und damit schließlich seine Lösung – bestehen darin, dass es in fundamentaler Hinsicht *genau eine* grundsätzlich richtige universale Weltauffassung gibt. Denn die Restriktionen einer *cyber-physisch durchgängigen* wie *technowissenschaftlich korrekten* Weltauffassung sind äußerst eng gesetzt, wenn der ontologische Anspruch der Informatik allein auf *universale Ontologie* hinauslaufen kann. Insofern ist evident, dass die Idee eines solchen *TLO-Mapping* ein funda-*

³³ Ein *TLO-Mapping* bzw. *TLO-Merging* ist nicht einmal bei TLO-Ansätzen möglich, die wie DOLCE und BFO mit ihrem *bi-kategorialen Top-level* auf den ersten Blick verwandt bzw. vereinbar erscheinen; tatsächlich sind auch diese beiden TLO-Ansätze in ontologischer, epistemologischer und methodologischer Hinsicht fundamental inkompatibel.

mentaler Trugschluss ist [147; 153 ff.]. Echten Ontologen ist dies klar, denn das Wesen jeden TLO-Theorieanwärters besteht prinzipiell darin, dass seine Kategorien wie meta-ontologischen Dispositionen strikt unübersetzbar, also inkommensurabel sind [147; 156 ff.]. Die Koexistenz ist also als Konkurrenzverhältnis zu interpretieren, das keine Nivellierung der bestehenden Unterschiede zulässt. Entsprechend steht für die echten Ontologen in der Informatik außer Zweifel, dass sich auf Dauer ein *fundamentaler ontologischer Standard* in Form einer allseits akzeptierten *Top-level Ontologie* herausbilden muss, um den Integrationszwecken der Informatik zu genügen [138]. Zwar wird die Informatik heute durch linguistische Ontologen bzw. Semantiker dominiert, die oftmals nicht einmal überhaupt das TLO-Erfordernis erkennen, oder es nicht in seiner konzeptuellen und semantischen Doppelfunktion sehen. Sofern sie doch dieses Erfordernis einsehen, halten sie oftmals eine *Einheits-TLO* für unrealisierbar. Natürlich handelt es sich dabei immer um grundlegende Fehleinschätzungen, und diese hängen alle unmittelbar insofern zusammen, dass auf Basis von Alltagssprache und *Common Sense* gedacht und argumentiert wird, nicht aber auf der für die Informatik eigentlich angezeigten Basis der Digitalmetaphysik als Cyber-Physik. Mit den fünf vorstehenden Thesen ist dabei evident, dass Argumente, die auf Basis der *deskriptiven* Metaphysik stehen, für die Informatik irrelevant sind. Sie hat es mit *Cyber-Physik* zu tun und mit einer transdisziplinären techno-wissenschaftlichen Praxis. Daraus folgt, dass die Inkommensurabilitätsproblematik der Informatik weder aus linguistischer Sicht noch aus jenen X-beliebiger Philosophien, durch die sie gerade bedingt ist, gelöst werden kann. Vielmehr muss es um die Grundlagen der Informatik als solche gehen, etwa um die Automatentheorie, die Informationstheorie, Komplexitätstheorie usw., und zwar in der Frage ihrer fundamentalen Verbindung, d.h. in der Frage der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Weder jedem Fachinformatiker noch jedem Linguisten, doch jedem Universalinformatiker ist im Sinne McCarthys (1995) klar, dass es dauerhaft keine Alternative zu einer solch *universalen Einheits-TLO* geben kann, und dass dieser Schritt für die Informatik grundsätzlich entscheidend ist. Obendrein duldet er bei Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* keinen Aufschub. Denn je mehr Ontologien für die unterschiedlichsten Zwecke in IT-Systeme Einzug halten, desto mehr werden ihre inkompatiblen fundamentalen Voraussetzungen zum Problem. Dabei ist dieses Problem genauso real, wie es ontologiebasierte Systeme sind. D.h., dass keineswegs auszuschließen ist, dass durch solche Inkompatibilitäten in den Ontologien kausale Fehlschlüsse mit Auswirkung auf die *reale Welt* resultieren können. Mit Dutzenden verschiedener *Top-level Kategorien* und damit verbundenen inkompatiblen meta-ontologischen Dispositionen ist dies gar eher wahrscheinlich. Jenseits der Realisierung einer *Einheits-TLO* kommt dann ein weiterer elementarer Aspekt hinzu, indem die Missachtung dieses Ziels direkt eine *fundamentale*

Änderungsproblematik zur Konsequenz hat [113 f.]. D.h., dass sich fundamentale Dispositionen bei einem ontologisch fortgeschrittenen Stand *in praxi* kaum mehr revidieren lassen. Insofern sollten eigentlich auch alle fundamentalen Fragen eingehend geklärt sein, bevor man mit dem *Ontology Engineering* ontologiebasierter Systeme beginnt. Aber davon kann bisher keine Rede sein. Vielmehr ist festzustellen, dass es zwar viele in sich widersprüchliche TLO-Grundsatzentwürfe, jedoch keine einzige kritische Grundsatzdebatte dazu gibt. Dass tatsächlich Handlungsbedarf besteht, eine echte Synthese der Ontologieforschung herbeizuführen, zeigt folgendes Beispiel: in konzeptuellen Modellierungsfragen wird als Referenzpunkt mit der BWW-TLO fast durchweg eine metaphysische Ontologie vorausgesetzt, deren universaler "Urstoff" gar nicht mit jenem der Informatik identisch ist. Denn dieser besteht in der Buneschen Ontologie in der *Materie* [1304], nicht aber in jenem der *Information* [1309 ff.]. Daraus folgt nicht nur in dieser, sondern auch in zahlreichen anderen Hinsichten wie etwa jener des bemühten Physikmodells, dass der darauf aufsetzende "*general world view*" für die Informatik gar nicht adäquat ist. Dennoch werden an der BWW-TLO nicht nur konzeptuelle Modellierungsfragen festgemacht, sondern auch die Adäquanz von Notationen resp. von Modellierungs- bzw. Repräsentationssprachen überprüft,³⁴ auf denen wiederum komplexe IT-Systeme bzw. Applikationen aufbauen. Es lässt sich mit zahlreichen weiteren Beispielen anschließen, bspw. jenem, dass die biomedizinisch elementare OBO-Foundry auf die BFO-TLO referenziert, deren meta-ontologische Dispositionen jedoch weder der modernen, an *komplexen Systemen* festmachenden Physik, noch jenen der darauf gleichermaßen aufbauenden Biologie entspricht. Oder es wird drittens mit der W3C *SSN Sensor Ontology* auf DOLCE+DnS Ultralight (DUL) als *Top-level Ontologie* referenziert, obschon DOLCE für eine physische Sensorontologie deswegen einen ungeeigneten Referenzpunkt markiert, als dieser Ontologieansatz weder an sich eine physische Außenwelt voraussetzt, noch ein dezidiertes Physikmodell besitzt. Mit ihren meta-ontologischen Annahmen entspricht sie gerade nicht dem Wesen physischer Sensoren: Dieses würde im Zeichen von *Event Streams* ein *ontisches*,³⁵ *exklusivistisches 4D-Kategorienschema* voraussetzen [1849 ff.], das sich gar nicht bei DOLCE, indes bei anderen TLO-Ansätzen findet [1912 ff.], die jedoch ihrerseits problembehaftet sind. Hinzu kommt der Umstand, dass alle drei exemplarisch genannten Problembereiche letztlich zusammenspielen, während die drei TLO-Ansätze als jeweilige Referenzbasis *fundamental inkommensurabel* sind. Wenn diese drei TLO-Ansätze mit Abstand die weitestverbreitetesten TLO-Theorieanwärter darstellen, und diese letztlich alle spezifische Ontologievarianten des objektzentrischen neo-aristotelischen Trägergedankens bilden, wird die fehlende Orientierung

³⁴ Vgl. dazu [125; 127; 129; 149; 351; 355; 355; 508 f.; 644; 659; 721].

³⁵ Das gilt primär; *komplexe Situationen* spiegeln sich als *parallele Event Streams* aller vier CYPO-Welten.

in der Ontologie der Informatik vollends offensichtlich. Mit der W3C *SSN Sensor Ontology* oder in Form des IoT-Rekurses bei Vermesan et al. (2009) auf gleiche *materialistisch* bestimmte Traditionen philosophischer Ontologie wird deutlich, dass im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zunächst solche landläufigen Ontologiefehler zu identifizieren und zu korrigieren sind. Erst dann lässt sich umreißen, was das sachgerechte, universal gültige Ontologieverständnis der Informatik eigentlich ausmacht. Mit der Koexistenz disparater TLO-Theorieanwärter führt für die Informatik kein Weg daran vorbei, ihr fundamentales Inkommensurabilitätsproblem faktisch zu überwinden. Dabei spielt es keine Rolle, ob die TLO-Kategorien bzw. meta-ontologischen Dispositionen explizit oder nur implizit vorausgesetzt werden; denn sie sind in der Disziplin immer existent. Vielmehr ist das implizite Voraussetzen mit Blick auf die integrativen Belange der Informatik umso kritischer, weil dann noch nicht einmal im Ansatz klar ist, welche Inkommensurabilitätsprobleme einem Integrationsszenario überhaupt inhärent sind, die dann jedoch jederzeit in Form schwerwiegender Inkompatibilitäten an die Oberfläche zu treten vermögen. Entsprechend sind alle fundamentalen Voraussetzungen der Ontologie zwingend explizit zu machen, und zwar nicht nur bei der *semantischen* Modellierung bzw. dem *Ontology Engineering* von *Wissensontologien*, sondern genauso bei der *konzeptuellen* Modellierung der damit direkt verkoppelten cyber-physischen Realität des jeweiligen Diskursuniversums. Somit sollten alle konzeptuellen und semantischen Modelle bzw. damit alle anschließenden Modelle, etwa Datenmodelle immer eine explizite TLO-Referenz aufweisen. Tatsächlich gibt es nur einen einzigen Weg, die fundamentalen Voraussetzungen der Informatik und damit ihre Ontologiefrage als solche zu klären. Dieser besteht darin, sämtliche TLO-Ansätze in umfassender Weise universalontologisch zu evaluieren und entsprechend der generellen Zwecke der Informatik rigoros zu selektieren. Indessen erweist sich auch dieses, ebenso durch Baumann/Herre (2011: 6) geforderte Unterfangen einfacher gesagt als faktisch vollzogen, indem es nicht nur die tiefere Kenntnis der einzelnen TLO-Ansätze wie ihrer jeweiligen philosophischen Grundlagen einfordert, sondern zunächst einmal an sich die Frage nach einem geeigneten wie universal voraussetzbaren Evaluierungsrahmen stellt. Dass es bisher weder Versuche zur Realisation eines solchen Rahmens noch überhaupt zu einer universalen wie rigorosen Evaluierung und Selektion der konkurrierenden TLO-Theorieanwärter gibt, ist somit nicht unbedingt überraschend. Dass dieses fundamentale Problem besteht und dass es sich für die ganze Informatik maßgeblich zeigt, ist für jeden echten Ontologen bzw. Universalinformatiker unmittelbar ersichtlich. Es besteht also gerade auch dann, wenn das Gros der inzwischen höchst ausdifferenzierten Fachinformatiker gar nicht mehr jene Methoden und Techniken reflektiert, die sie tagtäglich zur Lösung ihrer Detailprobleme anwenden. Indem die Informatik immer *systemisch* zu denken ist,

kann das jedoch kaum eine sachgerechte Praxis darstellen. Gerade insofern kommt es natürlich in jeder einzelnen Hinsicht auf McCarthys (1995) Frage des für die Informatik adäquaten "*general world view*" an. Wenn es um einen Evaluierungsrahmen für die TLO-Theorieanwärter geht, dann muss zunächst Ontologie als *universale Ontologie* verstanden werden, und dann bedarf es entsprechend eines "*Universe of Discourse of Anything*", das abstrakt im Leibniz-Whiteheadschen *Automaten- bzw. Strukturuniversum* sowie technisch konkret im totalen Diskursuniversum des *Internet of Everything* (IoX) besteht. Dabei manifestiert der *IoX-Hyperspace* den kausal irreduziblen *CPST-Hyperspace*. Mit ihm stellt sich die generellste IoX-Anforderung, die die Ontologie der Informatik zu erfüllen hat, nämlich die Forderung des "*anything goes*". Indessen kann dies nicht im Zeichen von Feyerabends (1975) anarchischer Erkenntnistheorie stehen, sondern nur im genauen Gegenteil davon, nämlich in einer metaphysischen, epistemologischen wie methodologischen Basis, die eine integrative Ontologiekonzeption im Sinne einer *Ontologieklassifikation* als *ad hoc* durchgängig verschaltbares *System von Ontologien* in gerade umfassend systematischer Weise eröffnet [621 ff.]. Natürlich setzt ein solches *System von Ontologien* ein gemeinsames fundamentales Weltmodell und damit eine einheitliche TLO-Referenz voraus.³⁶ In einem gerade nicht anarchisch bzw. chaotisch, sondern vielmehr *systematisch* CPSS-adäquat realisierten "*anything goes*", das sämtliche IoX-Anforderungen im "*Universe of Discourse of Anything*" zu berücksichtigen versteht, ist dabei die eigentliche Herausforderung jeder zukunftsweisen Ontologiearchitektur gegeben. Denn mit dieser CPSS-Adäquanz sind allein schon das Physik- und Informatikmodell keineswegs beliebig, sondern setzen in ihrer Durchgängigkeit demgegenüber gerade eine ganze Reihe entscheidender Restriktionen voraus. Diese universalen Anforderungen lassen sich wiederum allein vor dem Hintergrund eines IoX-totalen Referenzszenarios entwickeln und überprüfen, das in *Closed-loop U-PLM-Systemen* auszumachen ist [183 ff.]. Denn dabei geht es nicht nur um ubiquitäre CPSS-basierte IoX-Systeme, sondern gleichzeitig mit wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien um alle *Ontologietypen* [621 ff.] sowie mit Kern-, Domänen-, Methoden-, Aufgaben-, Funktions- und Anwendungsontologien auch um sämtliche *Ontologiearten* [621 ff.] mitsamt ihrer jeweiligen Notwendigkeit zur TLO-Referenz. Diese erfordern dabei unterschiedliche Wahrmacher (Truthmaker) [1747 ff.; 1862], die integrativ zu berücksichtigen sind. Sie sind gerade auch durch maschinelle Agenten selbst methodologisch anzu-

³⁶ Dieses Erfordernis stellt sich bereits im *U-PLM-Referenzszenario* [183 ff.] in vielfacher Hinsicht, etwa wenn in der Medizintechnik technisches Wissen mit biomedizinischem zu koppeln ist, und letzteres wiederum mit physikalischen bzw. chemischen Ontologien zu korrespondieren hat. Analoges gilt mit Blick auf fremde Agenten in *U-PLM-Szenarien*, die *ad hoc* miteinander interagieren. Oder generell für die Verschaltung wissenschaftlicher, technologischer und praktischer Ontologien. Somit ist eine einheitliche TLO-Referenz in kategorialer wie meta-ontologischer Hinsicht zu fordern, die sich systematisch allein auf Basis der Digitalmetaphysik als Fundament der Informatik realisieren lässt.

wenden; denn ohne solche Prüffunktionen kann es weder verifiziertes (bzw. nicht falsifiziertes) Wissen noch tatsächlich intelligente Systeme geben. Mit *Closed-loop U-PLM-Systemen* wird gleichzeitig der pragmatische Anspruch dieser Grundlagendiskussion unterstrichen, indem sie die produktdatenbezogene Integrationsplattform der *Smart Factory* darstellen [384 ff.]. Mit der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything (IoX)* als "*Universe of Discourse of Anything*", das exemplarisch für das Referenzszenario der *Closed-loop U-PLM-Systeme* ontologisch das "*anything goes*" ermöglichen muss, wird deutlich, woran sich jeder TLO-Theorieanwärter bzw. jeder TLO-Neuentwurf zu bewähren hat: Es ist die *universale Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Theorieanwärter*, die ihre generelle Anwendbarkeit in allen Integrations- und Anwendungsszenarien des *Internet of Everything (IoX)* eröffnet. Vor diesem Hintergrund wird fünfzig Jahre nach Mealy (1967) in der Ontologiediskussion der Informatik erstmals das vollzogen, was von vornherein notwendig gewesen wäre, nämlich ein universales wie systematisches *Requirements Engineering*, wie es in der Informatik und im Engineering ansonsten in jeder Hinsicht üblich ist [1799 ff.]. Dazu werden *fünfzig Requirements* für CPSS-adäquate Ontologien definiert, anhand derer sich jeder TLO-Theorieanwärter umfassend evaluieren lässt [1809 ff.]. Dabei werden die IoX-Defizite und Defekte der TLO-Ansätze exemplarisch dargelegt [1877 ff.]. Mit diesem Vorgehen lässt sich entsprechend Licht in die konfuse Debatte der Informatik bringen. Im Ergebnis wird deutlich, dass keiner der bisher vorgelegten TLO-Theorieanwärter dem entspricht, was eine universale Ontologiekonzeption der Informatik verlangt. Vielmehr zeigt gerade der bisherige Rekurs auf die philosophische Ontologie, dass die Ontologiefrage der Informatik im Prinzip unverstanden ist. Denn ansonsten würde man gewiss nicht auf neo-aristotelische Substanzontologien, auf die Ontologie Bunge [1302 ff.], Chisholms [1374 ff.], Husserls [1420 ff.] oder etwa jene der Analytischen Philosophie [1390 ff.] aufzubauen suchen. Dass es sich bei der bisherigen Auswahl der philosophischen Basis um Fehlentscheidungen handelt, wird dabei nicht nur durch die Reflexion der meta-ontologischen Kriterien untermauert. Vielmehr ist das Problem vor allem darin zu sehen, dass durch Ontologen die Maßgeblichkeit des *cyber-physischen* Moments, das die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik [1020 ff.] auszeichnet, regelmäßig unverstanden bleibt. Denn sie rekurren fast ausnahmslos gerade auf solche Philosophien, die sich im ontologischen Existenzsinne positivistisch veranlagt zeigen, womit sie letztlich rein *physisch* und damit auf den "Urstoff" der *Materie* bezogen sind.³⁷ Oder aber sie sind im ontologischen Existenzsinne gerade nicht positivistisch veranlagt, indem andere Ansätze, namentlich der Analytischen Philosophie sich auf Meinongs (1913) *Objekttheorie* beziehen [445]. Objekte sind hier nicht physisch, sondern als Vorstel-

³⁷ Quine bildet hier einen Sonderfall, indem sein Naturalismus *informatorisch* in der Mathematik mündet.

lungen *psychisch*, was nicht minder problematisch ist. Denn das verleitet eine ganze Reihe von Ontologen dazu, dass sie ontische Kategorien durch epistemische ersetzen bzw. zweite mit ersten verwechseln. Wenn für Meinong gilt: "*everything is an object*" [445], dann hat das natürlich nichts mit Physik zu tun, sondern mit der Tatsache, dass für ihn *alles Denken* im Sinne Wittgensteins *sprachlich* ist, was demgegenüber selbst in Bezug auf menschliche Agenten in dieser Verallgemeinerung anzuzweifeln ist [445]. Für die Ontologie entscheidend ist dieser linguistische Aspekt aber natürlich nicht, wie es Quine (1960a) in *Word and Object* bzw. an anderen Stellen mit seinen *4D-Events* Whiteheadscher Provenienz gezeigt hat [446]. Tatsächlich geht es im ersten Fall um ontische, im zweiten hingegen um epistemische Entitäten; entweder die eine, oder aber die andere Variante ist heute für das Gros an Ontologien in der Informatik bestimmend. Adäquat für die Disziplin sind jedoch beide nicht, indem sie jeweils *nicht* cyber-physisch veranlagt sind. Letztlich scheitern sie beide am *Realismus*; im ersten Fall an der Fixierung auf den *immanenten Realismus*, der dabei wissenschaftstheoretisch einem Positivismus gleichkommt, im zweiten Fall umgekehrt an der *virtuellen* Existenz, die im gedanklichen Sinne zwischen realer Existenz bzw. Nichtexistenz nicht hinreichend differenziert. Entscheidend für die Ontologie der Informatik ist indessen gerade das *cyber-physische* Moment der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik – und von allem anderen ist abzusehen. Es geht damit um den "Urstoff" der Information, der in Kombination mit der Ontologisierung der mathematischen Logik ontische wie epistemische Kategorien zur Konsequenz hat, die einem einheitlichen wie durchgängigen Prinzip unterliegen. Ontologisch ist damit ein spezifisches Realitäts- und Existenzverständnis verbunden, das beide vorgenannten Fälle gerade nicht teilen, das jedoch für die Zwecke der Informatik – wie letztlich für alle Disziplinen – das einzig sachgerechte ist. Allein auf dieser Basis sind *Multiagentensysteme* in *Cyber-physische Systeme* ontologisch bzw. kausal zu inkorporieren. Darin bestehen die eigentlichen ontologischen Grundsätze der Informatik, die indessen in ihren vergangenen fünfzig Jahren Ontologieforschung durch keinen einzigen Ontologieansatz herausgearbeitet worden sind,³⁸ obschon es in jeder Hinsicht eigentlich naheliegend gewesen wäre. Wenn es um die elementare Frage der AI-Ontologie in "*nontoy worlds*" geht, also

³⁸ Auf den ersten Blick bildet Sowa (2000) mit seinem Rekurs auf Whitehead zwar eine Ausnahme, doch legt er diesen in keiner Weise richtig aus: Denn bei Sowa geht es nicht um die Frage des "Urstoffs" *Materie vs. Information*, nicht um die Durchgängigkeit von *Cyber-physischen Systemen* und *Multiagentensystemen* (um die es bei ihm auch generell nicht geht), nicht um Whiteheads *Subjekt-Superjekte* als Agenten, nicht um die Leibniz-Whiteheadsche Kritik der Alltagssprache, nicht um den Unterschied von *deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik*, dem damit entscheidenden Moment der *Scientific Ontology* usf. Es geht bei Sowa nicht um den zentralen Gedanken der *Digitalmetaphysik* als Cyber-Physik, nicht um den *Ratio-Empirismus*, nicht um das *Transdisziplinaritätsmoment* und damit auch nicht um das *Leibnizprogramm* als solches. Zudem kommen bei Sowa eine Reihe von Defiziten hinzu, etwa die fehlende Differenzierung von *ontischen* und *epistemischen* Kategorien oder der fehlende Gedanke der *Mehrwelten-ontologie*, die mit Whiteheads relationalen, physisch eingebetteten *Subjekt-Superjekten* wie mit seinem *Emergentismus* bzw. *Multiplikationismus* angelegt ist, usf.

um die AI-Ontologie *cyber-physischer "Reality Machines"*, die mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, ist die militärische AI-Forschung der sonstigen voraus: Bei Lambert/Nowak (2008) bildet bereits ein *"metaphysical layer"* die explizite ontologische Basis *cyber-physischer "Reality Machines"*, wobei es mit Lambert (1999) um ein *Ubiquitous Command and Control* geht, das mit Nowak (2001) im Rekurs auf Whitehead (1929a) auf der Idee einer situativen *4D-Prozessontologie für Agenten* steht [1832].

7. *IoX/DAI fordert im MAS/CAS-Sinne die Verschaltung lokaler/regionaler Intelligenz (Fog Computing) mit globaler Intelligenz (Cloud Computing); der TLO-Ansatz ist technisch auf Real-Time Streaming Analytics, in toto (EA) auf ED-SOA auszulegen:* Keine einzige Ontologiekonzeption begreift die Ontologiefrage in der Weise, wie sie mit dem kausal irreduziblen *IoX-Hyperspace* der Informatik zu fassen ist. Sie verlangt eine Konzeption, die auf verteilte Artifizielle Intelligenz (DAI) in umfassend vernetzten Strukturen (IoX) aller Interaktionselemente auszulegen ist. Diese bestehen einmal in den *Daten* (IoD), etwa im Zeichen eines im IoX-Sinne zu modifizierenden *Linked Data*, in interagierenden *Services*, die sich etwa im ED-SOA-Sinne gegenseitig aufrufen (IoS), in interagierenden *Dingen bzw. Smart Objects* (IoT), oftmals, jedoch nicht notwendiger Weise damit verbunden mit interagierenden *maschinellen Agenten* verschiedener Klassen, also etwa *Software Agents*, *Cognitive Agents* oder *AL-Agents* (IoA), sowie schließlich in interagierenden *menschlichen Agenten* (IoP). Der Dreh- und Angelpunkt der Ontologiefrage besteht dabei nicht nur in der Interaktion solcher IoX-Elemente an sich, sondern darin, dass sie über alle fünf IoX-Subsysteme hinweg in selbstorganisatorischer Dynamik erfolgt. Beispielsweise interagiert ein menschlicher Agent (IoP) mit einem maschinellen Agenten (IoA); oder ein *Smart Object* (IoT) inkorporiert einen maschinellen Agenten (IoA), der ad hoc einen Service (IoS) nutzt, dieser wiederum auf bestimmte ontologisch vernetzte Daten im Sinne von *IoX-Linked Data* (IoD) zurückgreift usf. Dabei handelt es sich um IoX-Prozesse, die auf IPv6-Basis [305] Milliarden oder eher Trillionen von IoX-Interaktionen pro Millisekunde in beliebiger Kombination der fünf genannten Klassen von Interaktionselementen bedeuten. Und das bezieht sich dann lediglich auf die *externen* Interaktionen. D.h. die *internen* IoX-Interaktionen, die sich intern in jedem *Smart Object*, jedem Minirechner oder jedem Großrechner, d.h. pro IP-Adresse im Sinne ontologisch *intern* vernetzter Daten, Services und maschineller Agenten vollziehen, sind dabei natürlich nicht einmal mitgerechnet. Dennoch bilden sie gleichermaßen Bestandteile des *IoX-Hyperspace* und dabei ist die entscheidende *ontologische Interdependenzproblematik* im Hinblick auf den Aspekt der Systemintegration hier nicht weniger, sondern umso mehr von Relevanz. Es kann also im Zuge interner wie externer Interaktionen zu *meta-ontologisch* bedingten Fehlschlüssen kommen, die *real* kausal wirksam sind. Wenn das totale

Diskursuniversum der Informatik *ein* komplexes System bildet, dann kann letztlich *kein einzelnes* anders verstanden werden. Indem sich heute auch die meisten physischen Diskursuniversen regelmäßig durch den IoT-Aspekt bestimmt zeigen, resultiert bereits in Bezug auf alle IoX-Wechselwirkungen immer das Erfordernis zur systematischen Einnahme einer *Komplexitätsperspektive*, von der allein man sich der Ontologiefrage sachgerecht nähern kann. Das gilt im Leibniz-Whiteheadschen Sinne generell, im Zeichen des *IoX-Hyperspace* jedoch ganz besonders für die Informatik. Das betrifft dabei all ihre Sphären, insbesondere die CM- bzw. AI-Sphäre, was für Universalinformatiker und Komplexitätsforscher wie Mainzer (2007a) oder H.A. Simon (1962) wie für speziellere AI-Protagonisten wie Poole/Mackworth (2010) evident ist. Wenngleich dann auch die kombinierte CM/AI-Ontologie diesen Erfordernissen entsprechen muss, ist festzustellen, dass es sich dabei gerade nicht um die generelle Perspektive der Ontologieforschung der Informatik handelt; sie macht im Zeichen der defekten deskriptiven Metaphysik gerade nicht an Netzwerkstrukturen und Ereignissen, sondern vielmehr an Objekten fest, die im Allgemeinen endurantistisch, d.h. dreidimensional erfasst werden. Vor diesem Hintergrund wird nochmals deutlich, dass die *cyber-physische* Digitalmetaphysik die *Top-level Ontologie* nicht nur in Bezug auf Carnaps (1950) "*externe Fragen*", sondern genauso in ihren "*internen Fragen*" disponiert. Wenn B. Smith (2003a) diese unmittelbar mit der *externen Metaphysik* bzw. *internen Metaphysik* assoziiert, ist dies dann legitim, wenn es nicht nur um *interne Semantik* bzw. um die damit verbundene *definitorische Existenz* von Entitäten, sondern mit dem frühen Carnap (1928a) auch um einen 4D-basierten *universalen Strukturalismus* geht, der auch in diesem Fall seinen Ursprung bei Whitehead und Russell besitzt. Mit *interner Metaphysik* geht es dann um die *universalen internen Strukturen* aller Cyberwelten bzw. IT-Systeme und damit in integrativer Hinsicht vor allem um die *Enterprise Architecture* (EA). Indessen ist festzustellen, dass nahezu alle TLO-Theorieanwärter diese interne Dimension entweder ganz unberücksichtigt lassen, oder aber diese auf den Semantikaspekt beschränken: Während die BFO-TLO letztlich eine *rein philosophische* TLO-Konzeption repräsentiert, stellen andere wie Cyc UCO *rein linguistische* TLO-Konzeptionen dar. Mit den Grundlagen von Bunge, der Ontologie nicht an der *Information*, sondern an der *Materie* festmacht, ist schließlich auch etwa die BWW-TLO für die Zwecke *interner Metaphysik* grundsätzlich falsch konzipiert. Damit sind die bisherigen TLO-Theorieanwärter nicht nur unter dem Gesichtspunkt *externer* Metaphysik, sondern auch unter jenem der *internen* Metaphysik als kritisch zu werten, indem letztere darauf hinausläuft, die Frage *universaler Ontologie* unter dem Aspekt der *universalen internen Strukturen* zu stellen. Für die Informatik im Allgemeinen wie für die AI-Disziplin im Speziellen ist dieser Schritt elementar, indem *Artifizielle Intelligenz* (AI) weitaus mehr ist als ein einzelnes *intelligentes*

"Thing" bzw. *Smart Object* oder Agent. Die *lokale* Intelligenz eines solchen Objekts ist bei "*Reality Machines*" zwar gewiss wichtig, insgesamt betrachtet jedoch von nachgeordneter Relevanz. Artificielle Intelligenz ist im *IoX-Hyperspace* nicht nur *verteilte Intelligenz* (DAI), sondern sie ist auch in verschiedener Hinsicht von höchst unterschiedlicher Natur. Das betrifft eine ganze Reihe von Aspekten; zuvorderst ist die notwendige Differenzierung von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz ins Feld zu führen. *Lokale Intelligenz* ist das, was einem maschinellen oder natürlichen Agenten vor Ort gegeben ist. In Bezug auf ihre Intelligenz sind die verschiedensten Agenten unterschiedlich mächtig. Hier sind etwa Unterschiede in der Perzeption und Kognition anzuführen und schließlich insgesamt epistemische Gesichtspunkte des Agenten. Es geht dabei nicht nur um das Adaptionsvermögen an sich, planerisch-rationale Momente oder um Aspekte des Lernens (z.B. Lerngeschwindigkeit), sondern nicht zuletzt um echte Erkenntnis wie ein ausgeprägtes Reflexionsvermögen. In komplexen Situationen, auf die es im AI-Kontext gerade ankommt, geht es natürlich auch darum. Insofern geht es lokal keineswegs nur um *maschinelles Lernen*, das bei neuen Situationen unzweifelhaft wesentlich ist. Vielmehr entscheidend ist die Rückgriffsmöglichkeit auf die unterschiedlichsten Wissensressourcen, d.h. auf einzelne *Referenzontologien*. Dabei geht es um Expertenwissen (z.B. Methodenontologien), aber vor allem auch um die generelle Weltauffassung (Top-level Ontologie) in Verbindung mit spezifischem Domänenwissen (z.B. physikochemisches Detailwissen). Daraus folgt, dass für lokale Intelligenz *hybride Agentenarchitekturen* entscheidend sind. Ferner kommt der Aspekt *regionaler Intelligenz* hinzu. Regionale Intelligenz beginnt an dem Punkt, an dem mindestens zwei Agenten raumzeitlich ähnlich situiert sind und ihre Interaktion darauf abzielt, eine Situation gemeinsam zu meistern. Maximal betrachtet geht es um *Schwarmintelligenz*, die nicht notwendig, doch phänomenologisch zumeist eine regionale Intelligenz verkörpert. Alles regionale Computing ist als *Fog Computing* zu sehen, indem kein *Cloud Computing* betrieben werden muss [206], um Probleme zu lösen oder Services bzw. die Intelligenz anderer Agenten in Anspruch zu nehmen. Die situativ erforderlichen Interaktionen sind also regional begrenzt, was in vernetzten Strukturen nicht zuletzt mit Performancegesichtspunkten (Traffic) zu tun hat. Dennoch bleibt festzustellen, dass die lokale bzw. regionale Intelligenz im *IoX-Hyperspace* zwar situativ wichtig und unabdingbar, doch insgesamt betrachtet nachrangig ist. Diese Inferiorität lässt sich selbst raumzeitlich begründen, indem lokale bzw. regionale Intelligenz sich in erster Linie auch auf lokale bzw. regionale situative Sachverhalte bezieht. Natürlich geht es dann nie um das große Ganze, um das es allenfalls in speziellen Ausprägungen der Schwarmintelligenz geht. Allerdings ist selbst dann zu berücksichtigen, dass diese im Allgemeinen nicht mehr ist als die Aggregation *induktiv* gewonnener perceptiver bzw. kognitiver Sachverhalte.

Die eigentliche IoX-Intelligenz ist jedoch gänzlich anders gelagert, indem ein dritter Intelligenztypus der letztendlich entscheidende ist, nämlich die *globale Intelligenz*. Das wird bereits deutlich an Multisensorsystemen, die sich aus einer Vielzahl regional verteilter Sensoren zusammensetzen; noch besser dann, wenn sich diese dabei auch noch durch unterschiedlichste Sensorklassen konstituieren, also etwa die physische Sensorik vom Typus *Geophysical Things* (IoGT) mit jener vom Typus *Chemical Things* (IoCT) verschaltet wird [1815]. Es steht außer Zweifel, dass die Daten an jedem einzelnen Messpunkt anderen, begrenzten Aufschluss geben als alle Daten im Zeichen der *Big Data Analytics* (BDA), insbesondere dann, wenn es um die Daten unterschiedlichster Sensorklassen geht. Ferner steht außer Zweifel, dass im Zuge einer höheren Informationsfusion (HLIF) [580] Sachverhalte vollkommen anders beurteilt werden können als auf Basis der jeweiligen Rohdaten. Mit HLIF-Prozessen geht es darum, aus einfachen Daten aussagekräftiges Wissen zu generieren, das sich ggf. vermittelt Ontologien mit anderen Wissensquellen verschalten lässt, um eine generellere Erkenntnis zu gewinnen. Solche HLIF-Prozesse sind lokal bzw. regional nur höchst begrenzt durchführbar; sie sind nicht Sache von Minirechnern, sondern von Großrechnern, und nicht Sache des *Fog Computing* sondern des *Cloud Computing* [206]. Wenn der eigentliche Kulminationspunkt der Informatik vor diesem Hintergrund weder in Daten noch Informationen, sondern im Wissen als Voraussetzung jeder reflektierten Adaption intelligenter Agenten besteht, ist evident, dass die Crux des *IoX-Hyperspace* in der *globalen Intelligenz* besteht. Wenn Ontologien auf die Wissensrepräsentation zielen, dann kann natürlich die gesamte Ontologiedebatte nicht an dem Wechselspiel von lokaler bzw. regionaler und globaler Intelligenz vorbeigeführt werden. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bzw. die Ontologie der Informatik insgesamt ist erst vor diesem Hintergrund verstanden. Denn daraus folgt eine ganze Reihe von Aspekten, ohne deren eingehendere Reflexion keine Ontologiearchitektur sinnvoll wie zukunfts offen konzipiert werden kann. Insbesondere unter dem Gesichtspunkt *globaler Intelligenz* muss die Ontologiefrage in den Zusammenhang mit der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) gebracht werden [310 ff.; 1863 ff.]. Das hat zum einen damit zu tun, dass der Ontologieaspekt bei allen Intelligenztypen immer mit Haeckels (1995, 1999) *Sense-and-Respond Model* assoziiert ist [98], das ein *Adaptive Enterprise Design* verlangt, und dabei auf einer *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) steht [98]. Wenn das "*Sense*" und "*Respond*" parallel im Kontext aller Intelligenztypen besteht, also sowohl bei lokaler und regionaler, als auch bei globaler Intelligenz, und dabei jeweils untereinander wechselwirkt, steht außer Zweifel, dass sich das *Adaptive Enterprise Design* und damit die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) gerade auf die systemische Optimierung des Gesamtsystems wie auf alle ontologischen Zwecke zur Systemintegration erstrecken muss. Dabei wird insgesamt deut-

lich, dass *globale IoX-Intelligenz* als *Real-Time Enterprise* (RTE) zu verstehen ist, das wiederum auf einer ED-SOA-Architektur gründet [310 ff.]. Globale Intelligenz generiert ein globales, aussagekräftiges Wissen dadurch, dass physische, virtuelle oder cyber-physische Sachverhalte in Form von internen Prozessen, Services und Ressourcen umfassend aggregiert und analysiert werden. Dann steht außer Zweifel, dass es um externe wie interne Metaphysik geht, die insgesamt nach einer technowissenschaftlichen Digitalmetaphysik verlangt, die Cyber-Physik ist. Ferner ist der Echtzeitaspekt zentral, d.h. dass das *Sense-and-Respond Model* in den meisten Szenarien des *IoX-Hyperspace* allein in Echtzeit sinnvoll erscheinen kann. Damit steht wiederum außer Zweifel, dass für die Informatik kein TLO-Theorieanwärter zukunfts offen ist, der technisch nicht dezidiert auf die *Real-Time Streaming Analytics* abstellt. Konkret folgt daraus, dass dann alle Entitäten raumzeitlich zu verstehen sind, was wiederum im Whiteheadschen cyber-physischen Sinne eine *exklusivistische vierdimensionale* bzw. *perdurantistische* Ontologiekonzeption impliziert. Allerdings entspricht kein gängiger Ontologieentwurf dieser Anforderung. Wenn *Artifizielle Intelligenz* (AI) in der Informatik mit der *Einheit des Wissens* zuvorderst unter dem Gesichtspunkt *globaler Intelligenz* und damit im Kontext von SEA-Strukturen zu sehen ist, wie es auch das *U-PLM-Referenzszenario* offenbart, folgt daraus eine gänzlich andere Beurteilung des *Inkommensurabilitätsproblems* der Informatik: Es ist nicht nur essentiell, sondern letztlich ihr Kernproblem, indem alle Modelle, Systeme, Prozesse, Services usw. ontologisch abzustimmen sind. Mikas (2007) Rede von "*ontologies are us*" macht einen weiteren entscheidenden Fehler der linguistischen Ontologen deutlich, nämlich jenen, dass ihr Ontologieverständnis – wie bei Gruber – weder auf kognitive Agenten noch überhaupt auf AI-Agenten zugeschnitten ist. Der Agentengedanke kommt bei Gruber erst gar nicht vor, obschon er für die Ontologie nicht nur im MAS-Hinblick entscheidend ist. Vor allem ist er jedoch für die Ontologiearchitektur als solche maßgeblich, nämlich in genau der Hinsicht, dass *Ontologie für alle Agenten* da ist. Das ist wiederum nur verständlich, wenn – konsequent in die AI-Anfänge zurückgegangen – deutlich wird, dass alle Fragen *Artifizieller Intelligenz* (AI) nur dann richtig ausgelegt sind, wenn im Sinne J. von Neumanns zwischen verschiedenen *Agentenklassen* differenziert wird [863], die wiederum im Leibniz-Whiteheadschen Sinne lediglich Ausformungen einer *universalen Automatenklasse* bilden. Das ist mit J.H. Holland schon allein insofern erforderlich, als sie ein abweichendes Adaptionvermögen aufweisen bzw. eine unterschiedliche Mächtigkeit bzw. Intelligenz besitzen. Indem Gruber, Mika und andere das universale Ontologieverständnis auf menschlichen *Common Sense* eingrenzen, keine Agentenklassen differenzieren und auch keine Multiagentensysteme bemühen wird deutlich, dass der Ontologiegedanke bei ihnen im Grunde ausschließlich *menschlichen* Agenten mitsamt ihrer paradigmatisch verankerten

Sprachpraxis verschrieben ist. Allerdings kann eine solche Ontologieperspektive für die Informatik in keiner Weise wegweisend sein; richtig ist ihre Ontologie nur dann verstanden, wenn sie genauso *universal* konzipiert ist wie es das Informatikverständnis als solches erfordert. – Das alles ist Resultat ein und derselben irri- gen *deskriptiven* Metaphysik, während all diese Grundlagen in der *revisionären* Leibniz-Whiteheadschen *Metaphysica* dargelegt sind.

8. *Im MAS/CAS-Sinne muss es bei IoX/RTBDA um ein 4D Complex Event Processing gehen, das mit CYPO OCEP eine TLO-EO-Verkopplung vollzieht, über die sich mit der Verschaltung aller Ontologien faktische MAS-Superintelligenz realisieren lässt:* In komplexen Netzwerkstrukturen, mit denen es die Informatik in ihren internen wie externen Welten zu tun hat, geht es um gänzlich andere Dinge als jene, auf die die bisherige Ontologieforschung im Allgemeinen abstellt. Zunächst ist zu sehen, dass prinzipiell in allen Diskursuniversen der Informatik, ob physisch, virtuell oder cyber-physisch, das bestimmende Moment in der *Interaktion der Elemente* gegeben ist. Mit den Interaktionen der IoX-Elemente geht es in ihren Diskursuniversen bzw. cyber-physischen Erfahrungsräumen um informatorische *4D-Event Streams*, auf die jede Ontologiekonzeption erst einmal an sich abzustellen hat. Dann ist man allerdings mit der vierten These von vornherein bei Whiteheads (1929a) *Cyber-Physik*, was im Grunde heute alle Ontologen der Informatik übersehen. Denn dann ist eine raumzeitliche *4D-Perspektive* für die Informatik *generell* vorauszusetzen. Daraus folgt, dass keine Ontologiekonzeption der Informatik sinnvoll erscheinen kann, die nicht an den *MAS/CAS-Aspekten komplexer Systeme* festmacht. Denn dann kann sie keine *universale Ontologie* sein, die sich durchgängig in der Informatik anwenden lässt. Insofern ist ein solcher Ontologieentwurf von vornherein verfehlt, denn mit ihm sind mit Blick auf die Digitalmetaphysik die eigentlichen Grundlagen der Informatik nicht verstanden. Entsprechend stehen auf globaler Ebene zwischen dem *"Sense"* und *"Respond"* umfassende Prozesse und Services von Multiagentensystemen, die sich in analytischer Hinsicht mitsamt von Aspekten wie dem *IoX-Monitoring* bzw. der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) unter die *Digital Analytics* subsumieren lassen. Die *Digital Analytics* ist zwar lokal verankert, verkörpert im Kern jedoch natürlich ein Unterfangen *globaler Intelligenz*, das entsprechend große Rechenkapazitäten, mächtige *In-Memory*-Datenbanken (IMDB) wie insgesamt eine im Sinne der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) umfassend orchestrierte intelligente Infrastruktur voraussetzt. Nicht nur in cyber-physischen Kontexten, sondern im Hinblick auf physische wie virtuelle Sensorik besteht die letztlich wichtigste RTBDA-Technologie im *Complex Event Processing* (CEP). Im Zeichen der Allgegenwärtigkeit universaler Sensorik ist dieses als *Ubiquitous Complex Event Processing* (U-CEP) aufzufassen. Indem *CEP-Engines* unter anderem auf Basis der Automatentheorie operieren [1572 ff.], zeigt sich sein universaler Charakter. Dabei

geht es um cyber-physische *4D-Event Streams*, die im Zeichen der Digitalmetaphysik kategorial zu erfassen sind, was bei den aktuellen Anstrengungen zur Realisierung des wissensontologischen Pendants gar nicht, oder nicht sachgerecht berücksichtigt wird. Diese fallen unter das *Semantic Complex Event Processing* (SCEP), bei dem wiederum eine linguistische und eine ontologische Variante zu differenzieren ist [1572 ff.; 1846 f.]. Entsprechend zeigen sich bisherige SCEP-Ansätze gerade nicht gemäß der Leibniz-Whiteheadschen Konvention des IMKO *OCF* entwickelt, was jedoch im techno-wissenschaftlichen wie im praktischen IoT-Zusammenhang unabdingbar erscheinen muss. Insofern wird auch hier im Zuge von CYPO/IMKO ein ontologischer Neuentwurf in Richtung des CYPO *Ontology-driven Complex Event Processing* (OCEP) unabdingbar [1572 ff.]. Dabei ist im Hinblick auf die ontologischen Anforderungen von CYPO *OCEP* zu unterstreichen, dass bei CEP-basierten Systemen mereologisch generell zwischen *einfachen Ereignissen* (PE) und den durch sie konstituierten *komplexen Ereignissen* (CE) zu differenzieren ist [1166 ff.]. Die Semantik setzt dabei an den Strukturmustern an. Doch beziehen sich die ontologischen Anforderungen gewiss nicht allein auf die Daten im *Stream-Processing* (IoD), die etwa durch die physische Sensorik von IoT-Szenarien generiert werden. Vielmehr sind die erforderlichen ontologischen Voraussetzungen ungleich umfassender zu vollziehen, wenn alle CEP-Schritte gleichzeitig als HLIF-Prozesse zu verstehen sind. De facto wird das CEP-Modell mit dem gängigen JDL-Modell zur Datenfusion bereits durch CEP-Provider wie TIBCO wie auch in der Theorie kombiniert [580]. Darin besteht eine Grundvoraussetzung für ein CEP-basiertes *IoX-Monitoring*. Ferner ist der CEP-Ansatz im ED-SOA-Kontext zu sehen [323]; im Sinne der Realisierung *globaler Intelligenz* geht es insgesamt um *Real-Time SOA CEP Systeme* [324], womit neben der IoD- auch die IoS-Dimension ontologisch berührt ist. Wenn diese HLIF-Prozesse letztlich eine planungs- bzw. entscheidungsunterstützende Funktion erfüllen, dienen sie den Zwecken des *Agents*, womit sich der biokybernetische Kreislauf schließt: Die Sensordaten der IoT-Sphäre finden über die IoD- und IoS-Sphäre ihren Weg zu jenen *maschinellen* (IoA) bzw. *menschlichen* (IoP) Agenten, die auf dieser Basis ggf. wieder in die Erfahrungssphäre eingreifen. Im *Sense-and-Respond Model* geht es im Grunde immer um solche zirkulären Prozesse intelligenter Adaption. Mit solch typischen IoX-Prozessen, wie sie auch für das *Cognitive Internet of Things* (CIoT) charakteristisch sind [1839], ist nochmals gezeigt, dass alle *IoX-Subsysteme* in zwingender Weise auf *ein und derselben* Ontologiearchitektur aufbauen müssen. Damit steht erneut mit der ersten These außer Frage, dass es in der Informatik um den *einen* Ontologiebegriff wie das *eine* Ontologieverständnis geht, indem alle Ontologie wie all ihre Entitäten in systemischen bzw. vernetzten Strukturen letztlich immer prinzipiell interdependent sind. Diese integrative Ontologiearchitektur, die mit CYPO *FOX* Gegenstand

der nachfolgenden neunten These ist, betrifft darüber hinaus das ganze transdisziplinär durchgängige *System von Ontologien* [1822], indem bestimmte OCEP-Services etwa mit *Aufgabenontologien* (TO), andere mit *Methodenontologien* (MO) und wieder andere mit *Domänenontologien* (DO) interagieren. Wesentlich ist also die Gewährleistung der integrativen Koordination, und diese vollzieht sich auf der Grundlage der systematischen Verschaltung der *Top-level Ontologie* (TLO) mit der integrativen *Enterprise Ontology* (EO), was im Gegensatz zu bisherigen Ontologiekonzeptionen bei CYPO FOX als *TLO-EO-Verkopplung* konzipiert wird [349 ff.; 1865 ff.]. Indem es bei der *internen Metaphysik* um Artifizielle Intelligenz (AI) auf Basis der *CM/AI-Ontologie* geht, basiert die globale Intelligenz notwendig auf einer *Smart Enterprise Architecture* (SEA), deren integratives Moment durch die *Enterprise Ontology* (EO) bewerkstelligt wird [340 ff.]. Insofern besitzt die Ontologie der Informatik nicht nur eine *universale* (TLO), sondern auch eine SEA-bezogene *integrative* (EO) Referenzebene, woraus das Postulat der systematischen *TLO-EO-Verkopplung* resultiert. Diese Überlegungen, ohne die die *Top-level Ontologie* ihrer Referenzfunktion in integrativer Hinsicht gar nicht gerecht werden kann, zeigen sich indessen bei keinem der bisherigen TLO-Theorieanwärter systematisch unter den entscheidenden SEA-Gesichtspunkten entwickelt. Vielmehr bleibt dieses wesentliche Postulat in fast allen Fällen komplett unerfüllt bzw. wird die *TLO-EO-Verkopplung*, die in Bezug auf die *interne Metaphysik* unabdingbar ist, überhaupt gar nicht erst thematisiert. Zwar besteht die Zukunft der Ontologie im integrativen *System der Ontologien* [625], doch ist der Stand der Ontologieforschung der, dass die TLO-Theorieanwärter komplett unabhängig von den EO-Theorieanwärtern entwickelt sind (et v.v.). Auch das spiegelt die zahlreichen Defizite und Defekte der bestehenden TLO/EO-Ansätze wider [398 ff.]. Dabei können diese im Kern darin gesehen werden, dass die TLO-Ansätze wie die EO-Theorieanwärter weder *cyberphysisch* veranlagt sind noch vor diesem Hintergrund im CPSS-adäquaten Zeichen einer *systematischen TLO-EO-Verkopplung* entwickelt sind. Dieses Erfordernis stellt sich umso mehr, wenn die eigentlich *globale IoX-Intelligenz* in dem besteht, was auch unabhängig davon als *Real-Time Enterprise* (RTE) behandelt wird [292 ff.]. Für RTE-Zwecke ist das *Business Activity Monitoring* (BAM), das *IoX-Monitoring* usf. in fundamentalontologischer Symbiose der PPRLT-Spezifikation [368 ff.] zu einer allumfassend integrierten *Digital Analytics* zusammenzuführen. Integrative IoX-Szenarien globaler Intelligenz sind ohne diesen Schritt kaum sachgerecht zu realisieren, wie es anhand des *U-PLM-Referenzszenarios* etwa im Kontext der *Industrie 4.0* (I40) unmittelbar deutlich wird. Tatsächlich durchgängige *digitale Wertschöpfungsketten*, die in Konsum- wie Investitionsgütermärkten als *End-to-End-Prozesse* in der IoP-Sphäre beginnen und enden, lassen sich jedoch nur realisieren, wenn I40-Szenarien anders als bisher verstanden werden. Denn um die

kombinierte Berücksichtigung aller *IoX-Subsysteme* geht es bis dato kaum, in ontologischer Hinsicht überhaupt nicht. Wenn es um EA-Fragen geht, dann sind diese lediglich in sehr abstrakter Weise gehalten (RAMI4.0 etc.), während der eigentliche Schlüssel mit der Verknüpfung von lokaler, regionaler und vor allem globaler Intelligenz in einer sachgerechten SEA-Grundlegung liegt. Doch davon kann bisher kaum die Rede sein, und zwar schon deshalb nicht, weil sie als ersten Schritt zunächst einmal die Auflösung der Ontologieproblematik der Informatik verlangt. Denn wie will man eine intelligente EA-Basis schaffen, ohne zuvor die zentralen AI-Fragen, allen voran jene der Ontologie, geklärt zu haben? In Wirklichkeit lässt ihr gegenwärtiger Stand es nicht einmal zu, integrierte konzeptuelle und semantische Modelle zu schaffen, die faktisch *CPSS-adäquat* sind. Darüber hinaus ist gerade für I40-Szenarien unter allen Gesichtspunkten der fünf IoX-Subsysteme die systematische *TLO-EO-Verkopplung* einzufordern. Das wiederum setzt die Existenz vollumfänglich aufeinander abgestimmter CPSS-adäquater TLO- und EO-Ansätze voraus, die es jedoch noch nicht gibt. Mit anderen Worten ist die eigentliche I40-Vision im Ganzen einer fundierten SEA-Grundlegung noch gar nicht möglich, und natürlich kommt es gerade auf diese und vielfältige andere Aspekte an.³⁹ Will man tatsächlich durchgängige Lösungen schaffen, muss neben den Architekturgesichtspunkten mit Blick auf die integrativen Belange vor allem eine CPSS-adäquate EO-Konzeption entwickelt werden. Auch in diesem Kernaspekt besteht elementarer Nachholbedarf, wenn ein CPSS-adäquater EO-Ansatz völlig anders zu konzipieren ist als die heute führende REA-EO [341 ff.]: Denn faktisch handelt es sich bei ihr gar nicht um eine *Kernontologie* [625], sondern vielmehr um eine nachrangige *Domänenontologie*, die zuvorderst auf "*bookkeeping artifacts*" ausgelegt ist. Demgegenüber ist sie gewiss nicht *cyber-physischen IoX-Prozessen* verpflichtet, um die es jedoch in IoX- bzw. I40-Szenarien vorrangig geht. Mit der *TLO-EO-Verkopplung* ist gerade die EO-Konzeption ontologisch auf den "*general world view*" zu verpflichten: das fängt beim Erfordernis von *4D-Datenmodellen* an und hört bei *kognitiven MAS-Agenten* im Sinne der *CPSS-adäquaten Leibniz-Whiteheadschen* Perception, Kognition, Epistemologie und Ontologie auf. Wenn diese Aspekte auch etwa Koestlers *Holonen* als HMS-Kern der *Smart Factory* berühren [384 ff.], dann macht dieser Revisionsbedarf nicht beim EO-Ansatz halt, sondern betrifft genauso nachgeordnete Kernontologien, etwa die *Manufacturing Core Concepts Ontology* (MCCO). Dann wird deutlich, dass all die damit verbundenen integrativen *internen Strukturen* der einheitlichen Basis der systematischen TLO-Referenz bedürfen. Revisionsbedarf besteht dann hier insofern, als es unter CPSS-Maßgabe natürlich verfehlt ist, ontologisch integrierte I40-Szenarien wie bei ADACOR [362; 389] auf in-

³⁹ Diese sind für das *U-PLM-Referenzszenario* ausschlaggebend, indem *Losgröße-1-Szenarien* nicht nur mit dem *One-Piece Flow* (OPF) operative Fertigungsprozesse betreffen, sondern ebenso ein *radikales Variantenmanagement* mit entsprechend aufwändiger PPRLT-Spezifikation für alle Systeme implizieren.

ferioren linguistischen TLO-Ansätzen wie DOLCE gründen zu lassen, wenn diese explizit eine *deskriptive Metaphysik* mitsamt *epistemischer* Kategorien verkörpert. Wenn es insgesamt darum gehen muss, I40-Szenarien unter der universalen Maßgabe des digitalmetaphysischen *IoX-Hyperspace* zu entwickeln, offenbart sich für sie ein weiteres fundamentales Problem, und das hat direkt mit der defekten programmatischen Grundlegung der Informatik (vgl. These 10) zu tun. Niemand wird bestreiten, dass es in diesem IoX-Szenario um das integrative Wechselspiel *Cyber-physischer Systeme* (CPS) geht; nur darauf ist die Disziplin in ihrer Konzeption als *deskriptive Metaphysik* in keiner Weise systematisch ausgelegt. Wie gesagt, finden sich die dazu erforderlichen Fundamente woanders, nämlich in der *revisionären Metaphysik* Leibniz-Whiteheadscher Provenienz. Erst diese kann die für die CPSS-Adäquanz entscheidende *Cyber-Physik* in meta-ontologischer Hinsicht grundlegen. Dabei kommen im Sinne von CYPO/IMKO *Ontologietypen* ins Spiel, die in der Informatik heute gar nicht existent sind, nämlich echte *Scientific Ontologies* sowie damit korrespondierende exakte *technologische Ontologien* als Referenzontologien, auf die *praktische* Ontologien als Anwendungsontologien der Technopraxis referenzieren. Die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) hat vor diesem Hintergrund im Rekurs auf CYPO/IMKO die Aufgabe, alle Strukturen, Prozesse, Systeme, Services usf. zu orchestrieren, während die *Enterprise Ontology* (EO) die verschiedensten Ontologien des Anwendungsszenarios unter dem 4D-Aspekt von *Produkt-Service-Systemen* (PSS), dem *Prozessaspekt* sowie dem *Ressourcenaspekt* (PPRLT-Framework) zu integrieren hat [368 ff.; 1860 f.]. Im Zeichen der *TLO-EO-Verkopplung* bauen dabei alle Ontologien auf den universalen Kategorien der *Top-level Ontologie* auf. Auch hier helfen wiederum *Closed-loop U-PLM-Systeme* als Referenzszenario um zu verstehen [183 ff.], wie vielfältig und verschiedenartig sich die einzelnen zu integrierenden Ontologien darstellen. Dabei sind Big Data- bzw. CEP-Ontologien genauso zu integrieren wie sämtliche Ontologien über alle PLM-Phasen. Dazu gehören *Scientific Ontologies* in der Vorentwicklung, über solche des *Systems Engineering*, der *Smart Factory* bis hin zu solchen, die in der Nutzungsphase etwa für Zwecke der *Predictive Maintenance* oder schließlich für den Rückbau komplexer Produkte eingesetzt werden [193 f.]. Indessen gilt auch hier: die ontologischen Grundprinzipien aller cyber-physischen IoX-Strukturen sind immer identisch; es geht um Multiagentensysteme (MAS), die auf Basis ereigniszentrierter SOA-Strukturen (ED-SOA) *Services* anbieten bzw. in Anspruch nehmen. Die Ordnungs- und Struktur Aspekte, die für *Complex Adaptive Systems* (CAS) kennzeichnend sind, gelten mithin universal für alle Strukturen externer wie interner Metaphysik. Entscheidend sind also gleichzeitig der CPSS/SEA- wie der MAS/CAS-Konnex. Damit wird auch in dieser Hinsicht deutlich, dass die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* andere Ontologiegesichtspunkte erfordert, als sie bisher den Gegenstand der

Ontologiedebatte bilden. Im OCEP-Kontext zeigt sich, wie sich die Strukturinterdependenz von Metaphysik und Semantik für die Ontologie der Informatik konkret darstellt. Denn mit der strukturalistischen Digitalmetaphysik basiert alles auf dem einheitlichen *kausal-informatorischen Prinzip komplexer Systeme*, also sowohl die Metaphysik, Epistemologie und Methodologie als auch die Semantik als solche. Zweifellos ist AI-Ontologie nur dann tatsächlich *universale Ontologie*, wenn sie auch auf der Ebene der Wissensrepräsentation dieses universale Moment eröffnet. Das geschieht in Form des *Transdisziplinaritätsmoments*, mit dem sich erst die entscheidende *Einheit des Wissens* gewährleisten lässt. Denn sie allein ist zukunftsweisend, indem jede *Superintelligenz* eine *ad hoc* mögliche Verschaltung aller Ontologien verlangt [1770 ff.]. Faktisch wird dies möglich, wenn in MAS-Kontexten ein umfassendes transdisziplinäres System von Ontologien in kollaborativer Weise genutzt wird. Insofern ist auch unter wissenschaftstheoretischer Maßgabe die Konsistenz aller Wissensontologie zu fordern, was nach einem transdisziplinären Prinzip verlangt, das sich auch technisch betrachtet nur in Form einer TLO-Referenz bewerkstelligen lässt. Ferner ist ohne die *Einheit des Wissens* keine echte *Einheit der Erkenntnis* möglich (et v.v.); dass damit für die Informatik ein entscheidendes Potential zusammenhängt, zeigt sich jedoch erst dann, wenn der Blick weg von *Common Sense Ontologien* auf die Anforderungen anderer Agentenklassen gerichtet wird, die in IoX- bzw. CPSS-Kontexten exakte *Scientific Ontologies* benötigen. Die Herausforderungen der Ontologie der Informatik sind also gewiss nicht mit Grubers oder Mikas linguistischer Ontologie verstanden, sondern dann, wenn sie an den Anforderungen *maschineller* Agenten festmachen. Gewiss sind *Common Sense Ontologien* keineswegs verzichtbar; *maschinelle* Agenten benötigen diese jedoch letztlich allein,⁴⁰ um die Welt *menschlicher* Agenten zu verstehen, um auch in diesem Bereich keiner Antwort schuldig bleiben zu müssen. Auch wenn die *Common Sense World* den Bezugspunkt für manches IS-Engineering bildet, können *Common Sense Ontologien* in einer universalen Ontologiearchitektur insgesamt nur nachgeordneten Rang besitzen. Geht man in gleichberechtigter Weise von den Anforderungen aller Agentenklassen aus, muss sich die Ontologiearchitektur nicht nach den geringsten, sondern nach den höchsten Anforderungen richten. Sie steht damit im Spannungsfeld von *Common Sense* einerseits und *Superintelligenz* andererseits [1961 ff.]. Und es ist letztere, die schließlich die Anforderungen maschineller Agenten insofern bestimmt, als entscheidungsautonome AI-Systeme bei *cyber-physischen "Reality Machines"* nicht etwa semiintelligent, sondern *superintelligent* sein müssen [1770 ff.]. Denn in *höchst komplexen bzw. diffizilen Situationen*, um die es

⁴⁰ Für den Abgleich *maschineller Agentenwelten* ist keine gesonderte *Common Sense Ontologie* erforderlich; wohl aber benötigen maschinelle MAS-Agenten Strukturinformation im Sinne *sozialer Netzwerkanalyse*; diese fällt jedoch unter eine andere, nämlich eine *wissenschaftlich-empirische Ontologiekategorie* (W4M) und stellt somit keinen naiven *Common Sense* dar.

bei einer ganzen Reihe von AI-Anwendungen geht, können sie nur dann die richtigen Schlüsse ziehen, wenn die Agenten ein entsprechend *superiores Intelligenzvermögen* besitzen. Man setzt ja gerade – etwa zur Beurteilung komplexer Gefahrensituationen – nicht zuletzt genau deshalb auf sensorbasierte AI-Lösungen, weil menschliche Intelligenz unter einer Vielzahl zu berücksichtigender Einflussvariablen nicht zu einem schnellen *Sense-and-Respond* in Echtzeit fähig ist. Insofern ist gezeigt, dass die Konzeption der AI-Ontologie *per se* auf die Realisierung von *Superintelligenz* zielen muss, die *ex definitione* über menschliche Intelligenz hinausgeht [1850 f.]. Entsprechend kann es bei *Superintelligenz* nicht nur um eine – für Zwecke echten *Cognitive Computing* zwingend erforderliche – *hybride Agentenarchitektur* gehen [1783; 1788; 1838 ff.],⁴¹ die Lernalgorithmen (Deep Learning usw.) mit Ontologien vereint [1846],⁴² sondern es gilt vielmehr, dazu sämtliche Ontologietypen und ebenso sämtliche Ontologiearten transdisziplinär *ad hoc* miteinander verschaltbar zu machen.⁴³ Das ist allerdings nur möglich, wenn die ganze Ontologiearchitektur auf einem einheitlichen metaphysischen Fundament steht, was wiederum eine einheitliche TLO-Referenz erzwingt. – Wie die im Anschluss an die *Sapir-Whorf Hypothese* eingebrachte Farbwahrnehmung im *Cognitive Computing* deutlich gemacht hat, besitzen kognitive maschinelle Agenten auf Basis eines reichen Spektrums *distinkter Farbcodes* weitaus exaktere ontologische Anforderungen als sie menschlichen Agenten auf Basis von Alltagssprache voraussetzen. Ähnlich verhält es sich bei allen anderen Aspekten des *Cognitive Computing*; kognitive maschinelle Agenten benötigen mit Blick auf die zukunfts offene Hebung faktischer *MAS-Superintelligenz* wie ihre autonomen Entscheidungen immer alles ganz genau. Sie erfordern exakte *Scientific Ontologies*, und diese in einer überaus ausdifferenzierten und transdisziplinär-verschaltbaren Weise, während menschliche Agenten jenseits von Wissenschaft und Technologie auf einfachem *Common Sense* operieren. Jede Agentenklasse besitzt also ihre spezifischen ontologischen Anforderungen. Dabei sollte jedoch die Interdependenz der Agentenklassen nicht übersehen werden. So ist der Sprachbefehl menschlicher Agenten, dass das intelligente Fahrzeug vorfahren soll, ontologisch gewiss als Einheit zu sehen mit allen ontologischen Aspekten, die für daran beteiligte maschinelle Agenten im cyber-physischen

⁴¹ Kognitive Roboter agieren und lernen lokal, was jedoch nicht ausreichend ist, um physikalische Theorien wie etwa die Relativitätstheorie und entsprechende *Scientific Ontologies* zu generieren. Dabei hilft auch nicht die Aggregation der einzelnen lokalen Agentenwelten weiter, was in Bezug auf metaphysische Hypothesen auf die gescheiterten Versuche einer *induktiven Metaphysik* hinauslief. Die Grundstrukturen der Realität lassen sich letztlich allein auf spekulativ-deduktivem Wege fassen, wobei die Hypothesen mit ratio-empirischen Mitteln zu bilden sind. – Wenn also ein kognitiver Roboter *lokal* erfolgreich auf dem "Hinterhof" *lernt*, heißt das noch lange nicht, dass er damit tatsächlich etwas *global verstanden* hat.

⁴² Moderne Agentenarchitekturen verbinden zwar das *Deep Learning* mit *Ontologien* zu einem "*Ontology-based Deep Learning*" [1846], allerdings fehlt dabei die *TLO-Referenz* als *globales Weltmodell*.

⁴³ Entscheidend ist die *Inkontextsetzung* des Erlernten und damit das *Verstehen*, wobei die Inkontextsetzung wesentlich auf der Verschaltung verschiedenster Ontologien basiert. Auf diese Weise lassen sich grundsätzliche Widersprüchlichkeiten aufdecken, was auch für die *Belief Revision* von Agentenwelten gilt.

Kontext und damit nicht zuletzt physikalisch definiert sind. Im *IoX-Hyperspace* zeigen sich die verschiedensten Agentenklassen ontologisch miteinander verwoben; im Sinne der *Vielheit in der Einheit* sollte dann *Ontologie für alle Agenten* da sein.

9. *Der Cyber-Physical-Social-Thinking IoX-Hyperspace ist kausal irreduzibel; es geht um vier distinkte Welt- bzw. Ontologietypen, die mit CYPO FOX zu einem kohärent Ganzen vereint werden: von M2M-Superintelligence bis zum H2H-Common Sense:* Die immer schon vorhandenen Ontologiefundamente der Informatik waren lange Zeit verdeckt, nun sind sie freigelegt; allerdings ist auf ihnen erst jene Ontologiearchitektur zu begründen, die auch in wissensontologischer wie funktionaler Hinsicht die erforderliche Universalität schafft. Dennoch ist auch in methodologischer Hinsicht zunächst bei der Digitalmetaphysik als Cyber-Physik zu beginnen: Denn *Metaphysik* ist für alle Wissenschaft und alle Technologie bereits insofern unabdingbar, als sie methodologisch unmittelbar auf ihr aufbauen [962 ff.]. Während wir diesen Umstand bereits oben für das Falsifikationsprinzip aufgezeigt haben, gilt es letztlich in jeder Hinsicht, etwa auch bezüglich des Ockhamschen *Parsimonieprinzips*, mit dem für gewöhnlich jede methodologische Reduktionismusstrategie gerechtfertigt wird. Allerdings kann das nur dann gelten, wenn die Realität im Zeichen materieller Existenz aufgefasst wird. Wird sie hingegen auf Basis anderer Metaphysiken anhand des *Prinzips kausaler Wirksamkeit* (Eleatisches Prinzip) dargelegt, greift das *Parsimonieprinzip* ontologisch insofern in die Leere, als sich weder die kausal relationalen Systemelemente noch die Art ihrer Adaption auf tiefere Ebenen reduzieren lassen. Natürlich weist etwa die Interaktion biologischer Zellen in strukturalistischer Hinsicht eine Verwandtschaft auf zur Interaktion etwa von Softwareagenten und sie lassen sich im Zeichen der *Theorie zellulärer Automaten* auch auf eine einheitliche Grundlage stellen [1125 ff.]. Dennoch lassen sich Softwareagenten in ihrem Adaptionsvermögen gewiss nicht auf Zellen reduzieren. Wendet man das Ockhamsche *Parsimonieprinzip* dennoch auf die Erfahrungsräume der Informatik an, bleibt der *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* als geringstmögliche Differenzierung von Typen von Diskurswelten bzw. Ontologietypen. Eine weitere Reduktion muss in techno-wissenschaftlicher Hinsicht als unzweckmäßig bzw. unsachgerecht erscheinen, während das *Parsimonieprinzip* gegen eine umfassendere Ausdifferenzierung spricht. Mit anderen Worten sind für die Ontologie generell, wie auch speziell für die Informatik vier distinkte Welt- bzw. Ontologietypen dann als hinreichend zu erachten, wenn diese zusätzlich um spezifische Subtypen ergänzt werden. Auf ihrer Basis ist mit CYPO FOX der Anspruch zu erheben, universale *Ontology for Everything* zu sein. Dabei ist sie zugleich *Ontology of Everything*, aber gerade nicht in einem monolithischen Sinne; es geht also gerade nicht darum, alles, was es gibt, in eine einzige Ontologie zu fassen, wie es

insbesondere beim Cyc-Projekt versucht wird.⁴⁴ Vielmehr ist der Anspruch so zu verstehen, dass das Ziel in einem transdisziplinären *System von Ontologien* bestehen muss, das auf Basis einer universalen Ontologiearchitektur im Sinne einer omnipotenten Ontologiekonzeption in modularer Weise erst nach und nach realisiert wird.⁴⁵ CYPO FOX votiert also für eine modulare Ontologiearchitektur, deren verpflichtende Referenz auf eine einheitlich vorausgesetzte universale *Top-level Ontologie* als fundamentale Ontologie eine vollumfängliche semantische Interoperabilität genauso wie die *ad hoc* vollziehbare Verschaltung aller Ontologiemodule ermöglicht. Mit der ontologischen Interdependenz, die zwischen den in Pkt. 1.1 abgegrenzten fünf IoX-Subsystemen und auch innerhalb dieser besteht, muss es eine einheitliche fundamentale *Top-level Ontologie* als universaler Referenzebene geben. Diese Position hängt damit zusammen, dass nur ein realistisches, kein linguistisches Ontologieverständnis für das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) in Frage kommen kann. Werden die Restriktionen dieser Referenz eingehalten, ist auch eine verteilte Ontologieentwicklung im *Semantic Web* bzw. *Internet of People* (IoP) möglich, ohne dabei mit anderen IoX-Subsystemen in semantischen Konflikt zu geraten bzw. inkompatibel zu werden. Die Informatik benötigt eine omnipotente Ontologiekonzeption, deren zentrales Charakteristikum gerade in ihrer integrativen Mächtigkeit besteht. Analoges ist mit Blick auf die zunehmende Integration von Informations- und Wissenssystemen zu fordern, was die Kombinierbarkeit unterschiedlicher Ontologietypen und Ontologiearten impliziert. Wenn es demnach insgesamt um die eine Ontologie, um *eine* einheitliche Ontologieauffassung im Zeichen universaler Ontologie gehen muss, dann kann ihr Ziel allein in der Realisierung einer *integrierten Ontologiekonzeption* liegen [1870 f.], die sowohl den Zwecken der konzeptuellen Modellierung (CM) als auch jenen der unmittelbar AI-bezogenen Wissensrepräsentation (KR) zu genügen hat [1822]. Die wissenschaftliche, technologische und praktische Ontologietypen mitsamt sämtlicher Ontologiearten *ad hoc* verschaltbar und damit semantisch vollumfänglich interoperabel macht, und damit schließlich die *IS/KS-Kombination* ontologisch in jeder Hinsicht ermöglicht [1831]. Es geht um eine *integrierte Ontologiekonzeption*, die *Cyber-physische Systeme* (CPS) und *Multiagentensysteme* (MAS) in eine kausale Beziehung zu setzen versteht, was einerseits eine *Smart Enterprise Architecture* (SEA), andererseits mit *Complex Adaptive Systems* (CAS) eine *universale strukturelle Basis* voraussetzt. Dass die Informatik heute von einer solch vollends integrierten Ontologiekonzeption noch ein gutes Stück entfernt ist, hat seinen Grund nicht nur in diesem Zusammenspiel, sondern vor allem deshalb, weil sich vollends heterogene Ontologiezwecke bisher nicht in ein einheitliches Rahmenwerk

⁴⁴ Vgl. dazu ebenfalls kritisch L. Ding et al. (2007: 90).

⁴⁵ So gesehen besteht auch kein Widerspruch zu Sheth (2007: 8), der konstatiert: »we don't need a single ontology for everything and we know how to work reasonably well in a multi-ontology environment«.

bringen ließen. Der Kardinalfehler besteht dabei in der Auffassung, dass die Ontologiearchitektur an genau *einem* Welttypus und damit an einer *Monoweltenontologie* festmachen müsse, der etwa bei der BFO-TLO ein streng wissenschaftlicher mit ontisch-aktualen Kategorien ist, während etwa DOLCE einen *possibilistischen* Welttypus verkörpert [1848 f.; 1910 ff.], der auf Basis epistemischer Kategorien und linguistischer Konzepte operiert. Oder es handelt sich bei der BWW-TLO um einen metaphysisch-revisionären Welttypus, der in keiner Weise mit den klassischen *Belief Systems* konform geht, wie sie für DOLCE und andere Ontologieansätze wiederum kennzeichnend sind. Diese gängige Ontologiekonzeption als *Monoweltenontologie* ist notwendig aufzugeben; denn in ihr besteht eine zentrale Determinante der großen Konfusion in der Ontologiedebatte. Sie lässt sich auf Basis solch gegensätzlicher Positionen natürlich nicht auflösen, indem es schon die heterogenen Ontologiezwecke bzw. unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen, die jeweils verfolgt werden, gar nicht zulassen. Vielmehr sollte erkannt werden, dass sich eine *integrierte Ontologiekonzeption* allein auf dem Wege einer Ontologiearchitektur realisieren lässt, der eine *Mehrweltenontologie* zugrunde liegt [1823], die im Sinne des *U-PLM-Referenzszenarios* gerade alle Zwecke zusammenführt [183 ff.]. Dieser Gedanke ist keineswegs neu, sondern er findet sich seit Jahrzehnten in der philosophischen Ontologie, nämlich in jenen Ansätzen, die an den Momenten der Evolution und Emergenz ansetzen und sie in eine irreduzible *Ontology of Levels* überführen, für die auch in der Komplexitätsforschung votiert wird [459]. In der Informatik wird in dieser Sache verschiedentlich, neben der BWW-TLO etwa bei der IOMIS-Ontologie [125] oder der DEMO-EO [353 f.] auf die *Systemontologie* Bungees recurriert. Dabei wird allerdings übersehen, dass diese nicht auf dem irreduziblen Prinzip *kausaler Wirksamkeit* aufbaut, sondern mitsamt endurantistischer 3D+T-Objekte auf dem für die Informatik unpassenden materiellen Existenzprinzip. Mit anderen Worten geht es bei Bunge zwar um *Systeme* [1302 ff.], jedoch gerade nicht um jene *Cyber-physischen Systeme* (CPS), die die Informatik als *ereigniszentrische komplexe Systeme* in allen Diskursuniversen im Zeichen von *Event Streams* vorauszusetzen hat. Demgegenüber ist der Evolutions- und Emergenzgedanke in der Whiteheadschen Digitalmetaphysik gänzlich anders gehalten, nämlich in genau der universalen Art und Weise, wie er für jedes *Emergent Computing* bzw. *Evolutionary Computation* in der Informatik kennzeichnend ist. In der *Neuen Ontologie* ist es N. Hartmann, der mitsamt des *Prinzips kausaler Wirksamkeit* in enger platonistischer Verwandtschaft zu Whitehead eine solche Mehrweltenontologie in Form des *Schichtengedankens* entwickelt [459 f.; 1708 ff.]. Analoges gilt in gleicher Tradition für Popper, der explizit auf die Whiteheadsche Prozessmetaphysik recurriert, indem er mit seiner *Drei-Welten-Lehre* bereits drei disparate Welttypen differenziert [832 ff.]. Eine solche Mehrweltenontologie wird heute nicht nur im

Rekurs auf Popper in der "*New Physics*" zugrundegelegt [833], sondern auch in Teilen der Ontologie der Informatik, wenn etwa die GFO-TLO am Schichtengedanken Hartmanns bzw. Polis festmacht [1715 ff.], oder wenn eine Reihe von Informatikern sich wiederum auf Poppers *Drei-Welten-Lehre* stützt [833]. Wenn festzustellen ist, dass diese sowohl in der Physik als auch in der Informatik zum Einsatz gelangt und sie im Zeichen des Prinzips kausaler Wirksamkeit die *physische* Welt 1 mit der Welt 3 der *Artefakte* als interdependent setzt [828 ff.], dann handelt es sich um jene *Mehrweltenontologie*, die in ihrer Struktur der Whiteheadschen *Cyber-Physik* entspricht. Hartmanns wie Poppers *Mehrweltenontologie* bietet dabei eine wichtige und vollends kompatible Ergänzung zur Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Hier setzt die *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) als *Ontological Computing Framework* (OCF) an, auf das wir in der nachfolgenden letzten, programmatischen These eingehen. IMKO OCF erneuert zentrale Postulate des Leibnizprogramms und vollzieht dabei die Kombination der Leibniz-Whiteheadschen *Digitalmetaphysik* mit Poppers *Drei-Welten-Lehre*. Letzteres ist insofern problemlos zu bewerkstelligen, als Popper explizit die Whiteheadsche Metaphysik teilt und auf ihr aufbaut; darüber hinaus vertritt Popper die Ontologie im Leibnizschen kombinierten Sinne, wie es dem IMKO OCF entspricht. Beides, also sowohl die *Metaphysical Ontology* des Leibniz-Whitehead-Konnexes als auch die *Knowledge Ontology*, um die es in Poppers *Drei-Welten-Lehre* in konzeptioneller Hinsicht primär geht, wird einer umfassenden Neuinterpretation unterzogen und entsprechend der integrativen Anforderungen der Informatik modifiziert. Die daraus resultierende ontologische Symbiose, die auf Basis des IMKO OCF als *Mehrweltenontologie* entwickelt wird, besteht in CYPO FOX [828 ff.]. Mit seiner Architektur wird ein Ontologieverständnis möglich, das sich an den Erfordernissen *aller* Agentenklassen wie an ihren MAS/CAS-Gesichtspunkten orientiert. CYPO FOX verkörpert somit die integrative Ontologiekonzeption für MAS-basiertes *Ontological Computing* im *Internet of Everything* (IoX). Die Zukunft der Ontologie kann nur in einem Ontologieverständnis bestehen, das quer über alle Agentenklassen universal anwendbar ist und dabei allen spezifischen Anforderungen jeder Agentenklasse gerecht wird. Mit der Strukturinterdependenz beider Ontologieebenen geht es im IMKO OCF um genau *eine* Ontologie; sie verkörpert sowohl eine fundamental-faktische, d.h. metaphysische Struktur als auch deren strukturalistisch-semantische Repräsentation. Damit lassen sich bereits die meisten Streitpunkte der Ontologiedebatte beilegen; andere lassen sich dadurch beseitigen, indem jeder Welttypus über entsprechende Subtypen verfügt. Dreh- und Angelpunkt des IMKO OCF bildet somit die *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik; in ihr besteht das ontologische Scharnier, das erforderlich ist, um die Korrespondenz von metaphysischer Ontologie und Wissensontologie zu gewährleisten.

Auf Basis des IMKO *OCF* ist die kategoriale bzw. meta-ontologische Struktur der Wissensontologie immer durch jene der metaphysischen Ontologie bestimmt. Mit IMKO *OCF* und CYPO *FOX* wird deutlich, dass es unter CPSS/SEA-, unter MAS/CAS-Gesichtspunkten wie mit der hierarchischen Beziehung zwischen *Scientific Ontologies* und *Common Sense* sowie schließlich mit dem Transdisziplinaritätserfordernis einer generischen Agentenklasse auch in wissensontologischer Hinsicht kaum Spielraum gibt. Denn der Maßstab, an dem *gute vs. schlechte Ontologie* festzumachen ist, besteht in den Anforderungen universaler Ontologie bzw. einer integrativen Ontologiekonzeption. Mit anderen Worten lässt sich das, worum es in der Informatik universalontologisch gehen muss, im Sinne des Leibnizprogramms nicht nur metaphysisch, sondern auch wissensontologisch ganz genau spezifizieren. Entsprechend bedarf auch Poppers *Drei-Welten-Lehre* einer Aktualisierung und Modifikation, um als Referenzbasis für eine MAS-zentrische cyber-physische Ontologie fungieren zu können. Im Wesentlichen geht es dabei um folgende fünf Aspekte: Es muss zunächst das menschliche Subjekt, auf das Poppers Konzeption bezogen ist, durch universale Agentenklassen ersetzt werden, die hier insbesondere zwischen menschlichen und maschinellen Agenten differenzieren. Es muss eine vierte Welt hinzukommen, indem jede Agentenwelt in einem komplexen Interaktionsgefüge steht, wie es Multiagentensysteme kennzeichnet, womit eine *Vier-Welten-Ontologie* vorauszusetzen ist. Es müssen schließlich in alle vier Welttypen Subtypen eingezogen werden, mit denen jeder Welttypus in meta-ontologischer wie kategorialer Hinsicht ausdifferenziert werden kann [1831].⁴⁶ Beispielsweise gibt es nicht "die" Agentenwelt als Welt 2 (W2) [1852 f.]; vielmehr gilt auch hier Leibnizens *Vielheit in der Einheit*, indem universales wie gleichermaßen exaktes Computing gerade nicht nivelliert, sondern im notwendigen Maße facettenreich ist: Computer müssen klar unterscheiden können zwischen aktuellen bzw. realen Welten, möglichen Welten als deren mögliche Entwicklungsverläufe (Pläne, Szenarien etc.) sowie davon prinzipiell unabhängigen Welten, die sich etwa auf gänzlich Neues, also auf *Imagination* beziehen, die keine Relationen mehr zu den faktisch gegebenen Strukturen aufweist. Sie macht nur noch an der logischen Kohärenz als Wahrmacher fest. Entsprechend ist bei Poppers universalisierter Welt 2 strikt zwischen einem *aktualen* Ontologiemodus (W2A), einem der Modalität "*de re*" entsprechenden *possibilistischen* Modus (W2P) sowie einem mit der Modalität "*de dicto*" konformgehenden *fiktiven* Modus (W2F) zu differenzieren [1848 f.]. Zudem sind alle vier Welten viertens auf eine einheitliche *Top-level Ontologie* zu beziehen, die Poppers impliziten Bezug auf Whitehead entspricht, und fünftens ist Poppers *kausales Realitätsverständnis*, das "*Alexander's Dictum*" bzw. Platons *Eleatischem Prinzip* entspricht

⁴⁶ Das betrifft die *Kategorien* [1540 ff.] bzw. mit den Widerstreiten *Universalien vs. Konzepte* [1615 ff.], *Aktualismus vs. Possibilismus* [1637 ff.], *Realismus vs. Konstruktivismus* [1689 ff.] oder der Frage der Wahrmacher [1747 ff.] verschiedenste *meta-ontologische Dispositionen*.

[1172; 1715], im Kontext von *Cyber-physischen Systemen* (CPS), Multiagentensystemen (MAS) sowie der zusätzlichen Welt 4 zu konkretisieren [1861]. Im Grundsatz bleibt die *Drei-Welten-Lehre* jedoch erhalten, indem bereits bei Popper alle Welten kausal verknüpft sind und sein Realitätsverständnis – im Gegensatz etwa zu Bunge – nicht an die Existenz von Materie gebunden ist [1859]. Eine CPSS-adäquate Ontologiearchitektur verlangt im MAS/CAS-Kontext einschließlich entsprechender SEA-Gesichtspunkte (z.B. SOA-Ontologien, Task Ontologies usw.) mindestens vier verschiedene Weltmodi [828 ff.], während diese Vierteilung umgekehrt betrachtet im Ockhamschen Sinne als hinreichend zu erachten ist: jede über die vier Weltmodi samt Subtypen hinausgehende weitere Ausdifferenzierung ist unnötig und somit aus Abstraktions- und Effizienzgründen zu vermeiden. Anders als alle bisherigen TLO-Theorieanwärter differenziert CYPO FOX als *Mehrweltenontologie* die empirisch erschließbare *physische Welt* (Welt 1), die *Agentenwelt* (Welt 2), die Welt der *Technopraxis* bzw. die *Ontologie der Artefakte* (Welt 3) sowie die empirisch erschließbare *soziale Welt* (Welt 4) im Sinne einer modifizierten Ontologie Searles (1995, 2005).⁴⁷ Die MAS-Struktur maschineller Agenten wird dabei gesondert behandelt (W4M). Poppers Ontologiearchitektur wird in CYPO FOX auch insofern modifiziert, indem der Welttypus immer zugleich dem *bezeichneten* Ontologietypus entspricht, und dieser dann im Sinne der Strukturidentität in der doppelten ontologischen Hinsicht gilt: zwar ist alle Wissensontologie *ihrer Natur nach* im Popperschen Sinne W3-Artefakt, jedoch wird hier etwa von *W1-Ontologie* vereinfachend dann gesprochen, wenn damit sowohl die *physische Welt* als auch die damit korrespondierende, also auf die Welt 1 bezogene *Wissensontologie* gemeint ist. Diese Korrespondenz in den Bezeichnungen ist der Strukturidentität von metaphysischer Ontologie und Wissensontologie geschuldet. Genauso ist die *W2-Ontologie* immer die Agentenwelt, sowohl im metaphysischen Zusammenhang des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* als selbstorganisatorisches Agens bzw. endogenes Moment eines jeden Universums [1851 f.], als auch im Sinne des wissensontologischen *Belief Systems*, die sich wiederum mit P.M.S. Hacker (2004a) als *Ontology of Belief* fassen lässt. Auch was die *W3-Ontologie* betrifft, besteht diese Strukturidentität: alle sozialen Institutionen und Regeln bilden spezifische Artefakte von Poppers Welt 3; sie verkörpern als solche zugleich die *Common Sense World*; andere, etwa alle systemische bzw. technologische Regeln der Technopraxis bilden ebenso Artefakte prinzipiell *sämtlicher* Freiheitsgrade: Teils sind sie physisch gebunden (W3A), teils sind sie völlig beliebig bzw. fiktiv (W3F). Konzepte

⁴⁷ Es gibt bisher keinen TLO-Theorieanwärter, der mit allen vier Weltmodi kompatibel ist; auch gibt es bis dato keinen TLO-Theorieanwärter, der allein schon die kausale Interdependenz nur zweier Welten zu erfassen versteht. Denn im Grunde sind alle bisherigen Ontologieansätze *Monoweltenontologien*, wenn gleich im Zuge einzelner TLO-Ansätze zumindest das Erfordernis einer *Mehrweltenontologie* erkannt wird. Ursächlich dafür ist wiederum, dass sie weder CPS- noch MAS-bezogen entwickelt worden sind.

einer *W3F-Ontologie* entsprechen damit im Grunde dem, was die Ontologie Grubers repräsentiert; allerdings mit dem Unterschied der gemeinsamen TLO-Referenz. Ferner besteht darin lediglich ein Subtypus von letztlich nachrangiger Bedeutung. Diese Modifikation der Popperschen Ontologiearchitektur entspricht insofern dem Geiste Poppers (1972a), als es ihm gerade um die qualitative Differenzierung von *Objective Knowledge* (resp. *Scientific Ontologies*) und *Common Sense Knowledge* geht. Auf diese Weise lassen sich dann auch etwa *Universalien* (insbes. bei *Scientific Ontologies*) und *Konzepte* (insbes. bei *Common Sense*) in ein und derselben Ontologiekonzeption berücksichtigen [1847 f.], wie es allein schon mit Blick auf die *IS/KS-Kombination* notwendig ist [1831]. Indessen wird diese Differenzierung erst in der modifizierten Weise von CYPO FOX tatsächlich auf seine Ontologiearchitektur übertragen. Denn hier werden linguistische *Common Sense Ontologies* (W3L) von methodologisch gewonnenen *Scientific Ontologies* (W1, W4) systematisch getrennt. Es besteht somit eine klare Trennung zwischen *objektivem* (W1, W4) [1852], *subjektivem* (W2) [1852] und *intersubjektivem* (W3) Wissen.⁴⁸ Auf diese Trennung kommt es in der Informatik, nicht zuletzt mit Blick auf autonome CPS/MAS-Agenten bzw. das KS-Engineering einerseits, und dem zumeist auf die *Common Sense World* bezogenen IS-Engineering andererseits an. Denn bei allen geht es um Ontologien, die jedoch weder isoliert noch auf Basis art-eigener Ontologiekonzeptionen behandelt werden können. Vielmehr erfordert ihre Kombination eine integrative Ontologiekonzeption, wie sie mit CYPO FOX besteht. Die vier Welten sind auch ontologisch unmittelbar zu rechtfertigen, indem zwar das existiert, was kausal wirksam ist, jedoch ist das genauer zu spezifizieren. Das ist am *CPST-Hyperspace* vollziehbar, jedoch noch besser an dem konkreten *IoX-Hyperspace*, wenn es also um das *Internet of Everything* geht. Natürlich ist bspw. das IoS oder IoA mit dem IoT regelmäßig insofern interdependent, als etwa maschinelle Agenten (IoA) im *Internet of Things* (IoT) via physischer Aktorik auch physisch kausal wirksam sind. In diesem Sinne besteht kausale Interdependenz etwa zwischen der W2- bzw. W4-Welt maschineller Agenten, der Welt 3 technologischer Services und der physischen Welt 1. Indessen gibt es natürlich auch maschinelle Agenten, die in rein virtuellen Welten kausal wirksam sind; sie sind dann gewiss nicht physisch existent, aber im Sinne einer virtuellen Realität dennoch gegeben; sie sind also als W3-Artefakte existent. Dabei besitzt ein W3F-Artefakt eine andere Art von Existenz als ein physisch interdependentes W3A-Artefakt oder ein *möglicherweise* physisch interdependentes W3P-Artefakt. Es muss demnach in der Informatik um ein abgestuftes Realitätsverständnis gehen, bei dem die Existenz-

⁴⁸ Die W3-Zuordnung stimmt hier insofern mit Popper überein, als objektives Wissen auf W3-Artefakten aufbaut, nämlich auf einem kollektiv vereinbarten und intersubjektiv prüfbar methodologischen Rahmenwerk, etwa jenes des *Kritischen Rationalismus*. Insofern ist auch alles darüber gewonnenes Wissen *in seiner Natur* W3-Artefakt [1860].

frage konkret auf die vier Welten bezogen wird. Denn natürlich ist ein Ding, das materiell existiert, ontologisch anders zu kategorisieren als ein virtuelles Objekt. Doch auch dieses kann als soziales Artefakt in einer sozialen Ontologie durchaus "real" sein, jedoch nicht als W1-Entität, sondern lediglich als generell akzeptiertes W3-Artefakt, wie man es vom *objektiven Idealismus* her kennt. Indem wie bei Popper eine Interdependenz bzw. kausale Durchgängigkeit zwischen allen Welten gegeben ist, bleibt die Alltagssprache bei linguistischen *Common Sense Ontologies* (W3L) schärfer zu definieren [903]; letztere sind in das Whiteheadsche 4D-Paradigma zu stellen und technologisch exakt zu fassen. Indem dieser Schritt im Sinne der unmittelbar auf Whitehead bezogenen *4D-Ereignissemantik* bei D. Davidson [1461 f.] bzw. des *4D-Common Sense* bei Hayes [1478] vergleichsweise unproblematisch erscheinen muss, wird auch eine einheitliche Behandlung von *Scientific Ontologies* und *Common Sense* in einer integrierten Ontologiekonzeption möglich. Eine solch universale Architektur ist ein Novum, gleichzeitig aber mit der erforderlichen Durchgängigkeit der Agentenklassen generell zu fordern; und alles jenseits davon lässt sich kaum als zukunfts offen erachten. Alle vier Welten bilden ein kosmologisches Ganzes, womit sie unter dem Regime einer einheitlichen *universalen Ontologie* stehen, die durch die universalen Kategorien der *Top-level Ontologie* verkörpert wird. Sie sind damit Teil der einen Realität, womit sie auch in kausaler Hinsicht interdependent sind (W2-W1-Interaktion usf.) [1857]. Das Erfordernis ihrer Differenzierung geht dabei auf das Emergenzmoment zurück, womit gilt, dass es ausdifferenzierte Ontologieebenen gibt [1862], deren Entitäten sich nicht bzw. nicht vollständig auf tiefere Ebenen reduzieren lassen (Aspekt der Submergenz) [1724]. Dieser Grundsatz gilt allgemein, aber auch speziell für die Ontologie der Informatik. Im Kontext *Cyber-physischer Systeme* (CPS) geht der aktuelle Forschungsstand der praktischen CPSS/IoX-Informatik mit CYPO FOX konform, etwa wenn Ning et al. (2016) im Kontext ihres *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* zu der Einsicht gelangen, dass für diesen genau *vier Welten* als Realitätsstufen vorauszusetzen sind. Tatsächlich scheinen die im Folgenden im Einzelnen dargelegten Zusammenhänge für IoX-Informatiker auf der Hand zu liegen, wenn F.-Y. Wang (2016) diese *Cyber-Social-Physical Spaces* in Poppers *Drei-Welten-Lehre* begründet sieht. Versuche zu einem *universalen Ontologieverständnis* bzw. Bestrebungen zu einer *integrierten Ontologiekonzeption*, die mit solchen CPSS/IoX-Positionen im Sinne des Leibniz-Whiteheadschen *ubiquitär cyber-physischen Cognitive Computing* letztlich unmittelbar impliziert sind, finden sich dort allerdings nicht. Nicht nur in der Informatik wird die Abgrenzung speziell solcher *CPSS-bezogener Weltypen* neuerdings mit dem *CPST-Hyperspace* ins Spiel gebracht; wie oben bemerkt, gibt es dazu seit längerem das ontologische Pendant genauso in der Physik. Damit wird deutlich, dass es dabei um einen universalen, mit-

hin metaphysischen Sachverhalt geht, nämlich jenen der Cyber-Physik. Wenn diese zwischen Metaphysik und Wissenschaften durchgängig zu denken ist, dann stellt sich die Korrespondenzfrage der Physik: Für die moderne Physik ist mit Physikern wie Whyte oder Physikochemikern wie Prigogine das *Evolutionsdenken* völlig selbstverständlich geworden [1027 ff.], während Heisenberg et al. die Abgrenzung von *Schichten der Wirklichkeit* für erforderlich halten [140]. Diese sind bei ihm kaum mit einer gleichzeitigen materialistischen Reduktion wie bei Bunge verbunden, sondern eher auf den Schichtengedanken von Hartmanns *Neuer Ontologie* angelegt, der mit Whitehead konform geht. Indessen lässt sich die Cyber-Physik nicht nur grundsätzlich auch von physikalischer Seite mit dem *CPST-Hyperspace* vereinbaren, sondern konkret auch in der auf Poppers *Drei-Welten-Lehre* aufsetzenden CYPO *FOX* Ontologiekonzeption fassen: Denn auch die "*New Physics*", die als Physikmodell der *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads zu erachten ist [1030 ff.], hat Poppers *Drei-Welten-Lehre* für sich entdeckt, indem theoretische bzw. mathematische Physiker wie P. Davies, R. Penrose oder G.F.R. Ellis inzwischen explizit auf ihr aufbauen [833 ff.]. Indem CYPO *FOX* im IMKO *OCF* steht, also im Leibniz-Whitehead-Popperschen Sinne gleichzeitig auf die *metaphysische Ontologie* und die *Wissensontologie* zielt, ist diese Feststellung wesentlich. CYPO *FOX* kann alle Ontologietypen wie Ontologiearten zu einem kohärent Ganzen vereinen, und zwar von *M2M-Superintelligence* bis zum *H2H-Common Sense*. Dabei ist evident, dass die eigentliche AI-Ontologiefrage gewiss nicht am *Human to Human* (H2H) ansetzen kann, also an dem, was in IoP-Relationen den alltagssprachlichen *Common Sense* ausmacht. Vielmehr geht es im Kern um die IoA-Interaktion *Machine to Machine* (M2M), was sich insbesondere auf Grundlage des *Complex Event Processing* (CEP) darlegen lässt, indem dieses auf Basis der Automatentheorie die Grundform von allem *Computing* repräsentiert. Im Denkschema des *Ontological Computing* ist mit *M2M-Superintelligence* das CYPO *Ontology-driven Complex Event Processing* (OCEP) impliziert, das auf CYPO *FOX* bzw. dem IMKO *OCF* aufbaut [1584]. Der *IoX-Hyperspace* verkörpert somit das, was als "*Symbiotic Web*" bezeichnet wird [1962]. Es kann damit für die Informatik nur um *eine* Ontologiekonzeption gehen, die in jeder Hinsicht integrativ ist. Sie hat exakte *Scientific Ontologies* zu ermöglichen und muss gleichzeitig ontologischen *Common Sense* zulassen, ohne jedoch das ganze Ontologieverständnis an diesem festzumachen. Anders gewendet ist ein auf Alltagssprache basierender ontologischer *Common Sense* allein deshalb zu berücksichtigen, weil speziell die menschliche Agentenklasse diesen erfordert. Dass die Superintelligenz *ex definitione* jenseits dieser Agentenklasse liegt, hat nicht zuletzt genau damit zu tun; insofern kann sie auch nicht an sich auf den Beschränkungen von Alltagssprache und *Common Sense* beruhen, sondern muss diese letztlich allein insofern mit berücksichtigen, damit sie definitiv erfüllt ist: Sie muss

also ergänzend auch alle Fragen des menschlichen *Common Sense* beantworten können. Andererseits lässt sich eine universale Ontologiekonzeption für die Informatik deshalb nicht allein am Gesichtspunkt der Superintelligenz ausrichten, weil es dafür neben der *Human-Computer Interaction* (HCI) einen ganz profanen Grund gibt: viele Informationssysteme, die nach Ontologieunterstützung verlangen, haben nichts anderes als die *Common Sense World* zum Gegenstand. Das beginnt etwa mit dem Tourismussektor und hört bei der Hochschulverwaltung auf; indessen werden auch solche Systeme zunehmend in *komplexe IoX-Systeme* integriert. Ihre zentralen Entitäten sind im Wesentlichen soziale Artefakte, die es als solche allein in der *Common Sense World* gibt. Andererseits kommen bereits mit der RFID-Nutzung cyber-physische Erfordernisse in der Ontologie hinzu; indem solche Systeme etwa auf ED-SOA-Architekturen stehen [310 ff.], sind weitere Aspekte in ein und demselben ontologischen Integrationsszenario zu berücksichtigen. Insofern ist durchaus ein *linguistisches Paradoxon* konstatierbar [1966]: die *linguistische Ontologie* ist in Bezug auf den *Common Sense* einerseits wesentlich, kann aber andererseits weder das allgemeine Ontologieverständnis noch die Ontologiearchitektur vorgeben.

10. *Die Probleme der Informatik liegen tiefer, da sie nicht nur ontologisch, sondern genauso epistemologisch bzw. methodologisch und somit metaphysisch bedingt sind; ihr fehlt das unverstandene Leibnizprogramm, das mit IMKO OCF erneuert wird:* Die Frage, ob die *Meta-Ontologie der Informatik* als problematisch zu erachten ist, beantworten ihre meisten Fachvertreter teils explizit, oder zumindest implizit mit nein, wenn ihnen bereits die Bewandnis bzw. Relevanz der Frage unklar ist. Wenn demgegenüber alle echten Ontologen bzw. Universalinformatiker wie McCarthy sie jedoch genau umgekehrt ausdrücklich bejahen, besteht offensichtlich ein wesentlicher Klärungsbedarf. Natürlich weist diese Frage, die den Kern dieser letzten programmatischen These stellt, direkt auf die erste These zurück, bei der es um ambivalente Ontologiebegriffe, inkompatible Ontologieverständnisse sowie um die konfuse Ontologiedebatte ging. Im Zuge der zweiten These wurde dargelegt, dass es bei der Ontologie gewiss nicht bloß um die *Wissensontologie* geht, sondern dass es vielmehr auch bei jedem *konzeptuellen Modell* um Ontologie geht, wobei im Zuge der konzeptuellen Modellierung gewiss die fundamentalen Strukturen, die alle Diskursuniversen ausmachen, entscheidend sind. Wenn genau dieser Sachverhalt den Gegenstand der Metaphysik darstellt, geht es bei *konzeptuellen* Modellen um *metaphysische Ontologie*, während es bei den *semantischen* Modellen um *Wissensontologie* geht. Zweifellos ist beides interdependent, wobei allerdings immer die metaphysische Ontologie den primären Status besitzt; gewiss nicht die Wissensontologie. Vielmehr ist diese Interdependenz so zu verstehen, dass ggf. bestehende fundamentale semantische Probleme in der Wissensontologie einen Hinweis darauf geben, dass mit den metaphysischen Kategorien etwas nicht (mehr) stimmt. Damit

ist der Fokus also zunächst einmal auf die universalen fundamentalen Strukturen zu richten, die sich in allen Welten, d.h. in den faktisch-realen wie in möglichen Welten finden. Reflektiert man den ontologischen Zusammenhang in dieser Weise, wird auch für die meisten Fachinformatiker außer Frage stehen, dass es im Sinne der ersten These für die Informatik zunächst einmal um das sachgerechte Ontologieverständnis mitsamt dem für sie angezeigten richtigen Ontologiebegriff gehen muss. Wenn also im Sinne Leibnizens erkannt wird, dass *Ontologie* im Zeichen der konzeptuellen Modelle prinzipiell immer als *metaphysica generalis* zu verstehen ist, dann stellt sich die Frage nach der Relevanz der *Meta-Ontologie der Informatik* natürlich gar nicht mehr. Denn dann ist sie vollends klar: Wenn man berücksichtigt, dass sie über die konzeptuellen, semantischen und nachgeordneten Modelle bzw. Systeme letztlich alles in der Informatik bestimmt, dann handelt es sich unter dem Gesichtspunkt ihrer Implikationen und Konsequenzen offensichtlich um die letztlich wichtigste Frage der Disziplin. Tatsächlich steht außer Zweifel, dass die *Meta-Ontologie*, ob sie nun explizit oder im weitaus schlechteren Fall implizit vorausgesetzt wird, insgesamt in grundsätzlicher Weise sämtliche nachgeordneten Modelle, Systeme, Prozesse, Services, Datenstrukturen usf. bestimmt. Das lässt sich in jedem einzelnen Fall dezidiert nachweisen; es fängt bereits bei der einfachen IoX-Sensor-ontologie an, die mit der Wissensontologie verkoppelt ist, unabhängig davon, ob es dabei etwa um Domänen- oder um Funktionsontologien o.ä. geht: jede Sensorontologie ist ontologisch im Leibniz-Whiteheadschen perzeptiven Sinne dem Prinzip *kausaler Wirksamkeit* ausgesetzt, während sie keinesfalls auf das Prinzip *materieller Existenz* gestellt werden kann. Genauso werden etwa mit einer objektorientierten Modellierungssprache Entitäten auch *objektzentrisch*, d.h. nach 3D-Maßgabe und nicht *ereigniszentrisch* nach raumzeitlicher 4D-Maßgabe modelliert. Insofern muss die Informatik im Zeichen der CPSS-Adäquanz, die der *IoX-Hyperspace* einfordert, auch ontologisch radikal umdenken. Mit den konzeptuellen Modellen, Modellierungssprachen bzw. Notationen geht die Ontologie also immer jedem Systementwurf voraus. Nun hat es die Informatik mit den unterschiedlichsten konzeptuellen Modellen bzw. Diskursuniversen zu tun: in dem einen Fall etwa erfordern sie gerade die techno-wissenschaftliche Strenge der faktisch-aktualen Realität, im anderen muss es um alle Formen möglicher Welten gehen. Insofern wird deutlich, dass in der *Meta-Ontologie der Informatik* nicht nur die grundsätzlichste ihrer Fragen besteht, sondern auch, dass das Ganze im Grunde schon immer selbstverständlich war, nämlich seit dem Ursprung des *Computing* bei Leibniz. Die Informatik beruft sich zwar bzgl. ihres Ursprungs auf Leibniz, doch hat sie dabei das Leibnizsche *Computing* offensichtlich nicht im Ganzen verstanden. Denn dann ist es mit Castel (2002) als *Ontological Computing* zu begreifen, das wiederum erst vor dem Hintergrund des Leibnizprogramms richtig ausgelegt ist. Jenseits aller Details [774

ff.] besteht seine große Linie in Leibnizens *Mathesis universalis*, die heute als eine spezifische *mathematische Logik* zu bezeichnen wäre, da sie nicht nur rein formallogisch, sondern im Zeichen des *metaphysischen Logizismus* der *metaphysica generalis* schon *ontologisch* gedacht ist. Das ist später bei Boole, Whitehead/Russell und in technischer Umsetzung mit Shannons *Schaltalgebra*, Wieners *Kybernetik*, Bertalanffys *Allgemeiner Systemtheorie* oder Koestlers *Holonen* grundsätzlich nicht anders. Leibniz wendet sich mit seiner *Mathesis universalis* strikt von der Cartesischen Variante ab, indem sie nicht auf Materie bezogen auf die Berechnung von Körpern, sondern vielmehr auf die Überwindung des problematischen *Cartesischen Dualismus* an sich zielt [1044 ff.]. Für Leibniz geht es also um die Frage des einen kosmologischen Prinzips, das in der formallogischen Erfassbarkeit aller universalen Strukturen ausgemacht wird. Insofern bildet die *Mathesis universalis* die Basis, um zu einer *Scientia generalis* gelangen zu können. Damit ist letztlich das gemeint, was man aus heutiger Sicht als *techno-wissenschaftliche Transdisziplinarität* bezeichnen müsste. Das eigentlich entscheidende des Leibnizprogramms ist jedoch erst sein drittes Moment, nämlich die *Metaphysica*; diese ist dann richtig verstanden, wenn man sie als *techno-wissenschaftliche, cyber-physische Digitalmetaphysik* erachtet, die dabei gleichzeitig im platonistischen Sinne *Kosmologie* ist. Für Leibniz steht die *Metaphysica* deshalb im Mittelpunkt, weil es im Sinne der *Ersten Philosophie* zunächst einmal um die fundamentalen Strukturen als solche geht; erst dann um die methodologischen Mittel und die Frage einer universalen Wissensrepräsentation. Anders gewendet bezieht das Leibnizprogramm die Ontologie, Epistemologie, Methodologie genauso wie alles *Computing* auf die *Metaphysica* als "*general world view*", indem sich auf keinem anderen Wege ihre *Vielheit in der Einheit* begründen lässt, um die es Leibniz im Kern geht. Bei Whitehead, der zusammen mit seinem Schüler Russell im Grunde von Anfang an der Fortsetzung des Leibnizprogramms verpflichtet ist,⁴⁹ finden sich diese drei Momente wieder, nämlich das Leibnizsche Ziel der *Mathesis universalis* in Form der *Principia Mathematica*, das Leibnizsche Ziel der *Scientia generalis* etwa in Form von Whiteheads (1925) *Science and the Modern World* und schließlich Leibnizens *Metaphysica* in neuer Form von Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik. Während die Informatiker Leibniz nicht verstanden haben, sind es die Philosophen, die Whitehead nicht begriffen haben [1020 ff.]. Denn es ist allgemein unklar geblieben, dass es um eine *techno-wissenschaftliche Metaphysik* geht, die nicht nur unter mathematischem Aspekt, sondern auch in physikalischer Hinsicht auf einem neuen Fundament steht, das im Sinne von Wolframs (2002) *New Kind of Science* nicht nur eine andere Art

⁴⁹ Vgl. dazu etwa Russell (1900); Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* fällt zwar unter die *Mathesis universalis*, doch ist ihre eigentliche Motivation erst im Kontext von dessen verstanden, dem sich Whitehead erst später explizit widmet, nämlich dem Gedanken der *Scientia generalis* sowie der *Metaphysica*, die bei ihm genauso unmittelbar in der Leibnizschen Doktrin stehen.

von Wissenschaftspraxis im Sinne der Komplexitätsforschung eröffnet, sondern auch eine techno-wissenschaftliche Form ontologischer Wissensrepräsentation. Leibniz, und noch konsequenter Whitehead ist bewusst, dass die Metaphysik nur dann ihrem universalen Anspruch gerecht werden kann, wenn man sie weder wie bei Aristoteles materialistisch bzw. positivistisch oder bei Berkeley immaterialistisch konzipiert, noch wie bei Descartes dualistisch. All diese Positionen sind weder durchgängig noch tatsächlich universal. Vielmehr kann es in dieser Hinsicht nur eine einzige richtige Metaphysikkonzeption geben, und diese besteht darin, sie in platonistischer Tradition mit Basile (2009) als "*Metaphysics of Causation*" zu entwickeln. Als solche ist sie notwendigerweise im Sinne des auf Platon zurückgehenden *Eleatischen Prinzips* antimaterialistisch veranlagt, weil sie nur dann tatsächlich transdisziplinär sein kann, wie es die cyber-physischen Erfordernisse der Informatik als technologische Strukturwissenschaft anschaulich zeigen: real ist das, was *kausale Wirksamkeit* aufweist, nicht etwa wie in der gegenwärtigen Ontologie der Informatik das, was *materielle Existenz* besitzt. Auch für die *Theorie komplexer Systeme* ist diese *kausale Wirksamkeit* und damit das Informationsprinzip, nicht die *materielle Existenz* ausschlaggebend, was für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* eine selbstverständliche Voraussetzung markiert. Gewiss ist das Leibnizprogramm in seiner metaphysisch veranlagten Wissensrepräsentation nie umgesetzt worden, doch zählt seine für die Programmatik der Informatik wegweisende Konzeption. Entsprechend greift die *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) als *Ontological Computing Framework* (OCF) dieses Programm wieder auf und erneuert es in einer Weise, die auf eine Umsetzung im Zuge allen *IoX-Computing* zielt [774 ff.]. Im Mittelpunkt dieses für die Informatik auf Dauer einzig verteidigbaren Unterfangens stehen dabei eine sachgerechte, auf den *CPST-Hyperspace* bezogene Ontologiearchitektur sowie die *Top-level Ontologie* als oberster Referenzontologie (vgl. These 5). Vor ihrem Hintergrund wird deutlich, dass die Ontologiefrage der Informatik auf das hinausläuft, was mit der neunten These im Zeichen von CYPO FOX konzipiert wurde. Pisanelli et al. (2002: 125) ist zuzustimmen, dass kein Computersystem ohne Ontologien auskommt; das war im Sinne Leibnizens zum einen immer schon so, zum anderen muss es aber gerade mit Blick auf die ontologische Interdependenz im *IoX-Hyperspace* erst recht um genau das gehen, was bei Leibniz vor dem Hintergrund seines strukturidentischen Automatenuniversums entscheidend ist: um das *Ontological Computing*, als das jedes *Computing* mit seinen *meta-ontologischen Voraussetzungen* immer zu verstehen ist. Daraus folgt wiederum, dass die Informatik ontologisch auf Basis der aktualisierten wie integrierten platonistischen Trias von Leibniz, Whitehead und Popper auf das zielen muss,⁵⁰

⁵⁰ Von *platonistischer Tradition* kann hier allein in *metaphysischer* Hinsicht gesprochen werden, was gerade in Bezug auf Poppers davon abweichenden sonstigen Positionen zu unterstreichen ist [838].

was hier im Zeichen von CYPO/IMKO als radikal neuem ontologischen Fundament umrissen wird [774 ff.; 828 ff.]. Natürlich sollte die Informatik genauestens hinterfragen, welche der disparaten Positionen der Ontologiedebatte tatsächlich zukunftsfähig ist. Die Position, die hier mit dem IMKO *OCF* vertreten wird, hat dabei ihre indirekten Fürsprecher: Dabei ist in partieller Hinsicht zunächst auf den mathematischen Logiker H. Scholz zu verweisen, von dem entscheidende Einflüsse auf die theoretische Informatik ausgingen, und auf den der Begriff des *Leibnizprogramms* zurückgeht [774]. Ferner korrespondiert damit in grundsätzlicher Hinsicht auch jene Position, für die der anerkannte Wissenschaftstheoretiker J. Mittelstraß im Zeichen der transdisziplinären *Einheit allen Wissens in einer Leibniz-Welt* votiert [159; 1037]. Darüber hinaus vertritt K. Mainzer als Computerphilosoph und Komplexitätsforscher dazu analog insgesamt im Zeichen Leibnizens die Idee einer *integrativen Wissenschaft* [1037], und spricht sich damit ebenso für den *Transdisziplinaritätsgedanken* aus [1014; 1107]. Damit verbunden eint Mainzer die Perspektive der Komplexitätsforschung, wie sie auch der Biochemiker M. Eigen vertritt, wenn dieser in der *Information* den Schlüsselaspekt zur Darstellung des Komplexitätsphänomens sieht [1057]. Gewiss weist auch das auf Leibniz zurück; mehr noch allerdings in Leibnizscher Tradition auf Whitehead.⁵¹ Das weist auf eine weitere Position, nämlich die des Technikphilosophen H. Poser, der den eigentlichen Ursprung der Komplexitätsforschung in fundamentaler Hinsicht der Prozessmetaphysik Whiteheads zuschreibt [1014]. Indem es die Informatik prinzipiell gesehen immer mit *komplexen Systemen* zu tun hat, ist somit wiederum die Frage ihrer systematischen Grundlegung berührt. Insofern es in der Informatik um *Scientific Ontologies* bzw. damit zusammenhängende *technologische Ontologien* geht, und das ist in der Ontologiefrage primär zu vollziehen, sind diese Positionen, die explizit den Leibnizschen *Transdisziplinaritätsgedanken* vertreten, für ihre Programmatik nicht nur zwingend zu reflektieren, sondern sie sind entscheidend. Denn in dem auf *Transdisziplinarität* [158 f.] auf Basis des *Grundstoffs der Information* angelegten Leibnizprogramm, das ontologisch der *systematischen Integration aller konzeptuellen und semantischen Modelle* verpflichtet ist, besteht die ursprüngliche und ewige Programmatik der Informatik.⁵² Das IMKO *OCF* weitet diese Perspektive darüber hinaus auch auf die Sphäre der praktischen Informatik aus; es fordert das Leibnizprogramm für die ganze Informatik, gerade auch für den *IoX-Hyperspace* und seine ganz pragmatischen Belange. Es gibt nur *eine* Ontologie, und das ist – indem sie als Leibnizsche *metaphysica generalis* immer universal ist – eine *Ontology of Every-*

⁵¹ Die Leibnizschen *Monaden* zeigen sich als "fensterlose" prozessualisierte Substanzen gerade unter dem *Perzeptions- und Kausalitätsaspekt* gänzlich anders konzipiert als die in *4D-Event Streams* stehenden Whiteheadschen *Subjekt-Superjekte*; allein bei Whitehead lässt sich im Sinne *komplexer Systeme* von einer echten *Relationenontologie* sprechen [954; 1261].

⁵² Dies gilt für Leibniz im Ursprung, für Whitehead in allen cyber-physischen bzw. ontologischen Details.

thing, deren vollkommener Reifegrad erst dann erlangt ist, wenn sie zugleich eine *Ontology for Everything* ist. Natürlich vollzieht sich im Sinne von Pisanelli et al. (2002: 125) in der Disziplin seit geraumer Zeit faktisch eine *ontologische Revolution*, die so zu verstehen ist, dass das, was ihr implizit schon immer inhärent ist, nun in Form *semantisch explizit spezifizierter formaler Weltmodelle* an die Oberfläche tritt. Aber läuft sie gegenwärtig tatsächlich in die Richtung, in die sie für die universellen Zwecke der Informatik langfristig laufen muss? In neutraler Reflexion ist festzustellen, dass der heute allgemein verfolgte linguistische bzw. sprachphilosophische OE-Ansatzpunkt die Leibnizsche Position, also das, was als Ursprung der Informatik eigentlich gedacht war, geradewegs auf den Kopf stellt. Das ist insbesondere insofern zu kritisieren, als Leibnizens Ursprungsgedanken dabei vollkommen unreflektiert bleiben. Wenn das Leibnizprogramm gerade darauf abzielt, den Gebrauch der Alltagssprache wie des *Common Sense* als primären ontologischen Anknüpfungspunkt zu vermeiden, da sie inexakte, inkommensurable wie metaphysisch nicht-strukturidentische Repräsentationen implizieren, dann ist die fehlende Rechtfertigung dieser Gegenposition zu bemängeln. Das müsste dann letztlich auf eine Diskreditierung des Leibnizprogramms hinauslaufen, während es gerade auf dieses ankommt. Wenn die *deskriptive* Metaphysik praktisch zur *Metaphysik der Informatik* erklärt wird, dann müsste sie als seriöses Unterfangen zunächst die Auseinandersetzung mit dem Leibnizprogramm suchen, um diese alles entscheidende Gegenposition zu rechtfertigen. In Wirklichkeit aber lässt es sich gar nicht zurückweisen, denn es ist im Zeichen der oben genannten Positionen von Scholz, Mittelstraß, Mainzer, Eigen und Poser zukunftsweisender als alles, was gegenwärtig die Informatik dominiert. Und das gilt gerade in ganz pragmatischer Hinsicht: Denn sowohl mit Blick auf die Systemintegration als auch mit Blick auf die Hebung sämtlicher AI-Potentiale ist der linguistische OE-Ansatzpunkt gänzlich verfehlt, während der Leibniz-Whiteheadsche realistisch-transdisziplinäre OE-Ansatzpunkt mitsamt der Bits und Bytes der *Cyber-Physik*, die hinter ihm stehen, der einzig sachgerechte ist. Natürlich ist insofern zu hinterfragen, inwiefern die mit Mealys (1967) Rekurs auf Quines *revisionäre 4D-Position* bzw. mit den metaphysisch adäquaten Repräsentationen bei McCarthy/Hayes (1969) begonnene *ontologische Revolution* der Disziplin heute mit ihrer Degeneration zur rein linguistischen Variante tatsächlich auf dem richtigen Weg ist. Vielmehr sollte erkannt werden, dass diese Richtungsänderung im Zeichen des "*linguistic turn*" ein Irrweg ist und ein erneuter, *revisionärer "ontological turn"* einzuschlagen ist, der im Sinne von CYPO/IMKO die *IoX-Adäquanz* erfüllt [1996 ff.]. Insofern gelangt die Informatik dann im Zuge ihrer *ontologischen Revolution* zu ihren Ursprüngen, zu Leibniz und Whitehead zurück. Indem es um diese Fragen geht, liegen die eigentlichen Probleme der Informatik, die an den verschiedensten Symptomen erkennbar sind, offensichtlich weitaus tie-

fer, als es gemeinhin angenommen wird. Denn natürlich sind die Ontologieprobleme der Informatik nicht nur ontologisch, sondern sie sind im metaphysischen Verbund zu sehen; sie sind also genauso epistemologisch wie methodologisch veranlagt. Entsprechend lassen sie sich auch nicht mit jenen Mitteln beheben, die sie geschaffen haben; allen voran nicht auf Basis von Stückwerktechnologie. Vielmehr ist evident, dass die Informatik insgesamt zu Leibniz bzw. Whitehead zurück muss, indem sie eine echte Programmatik benötigt, auf deren Grundlage es erst gar nicht zu diesen Irrtümern gekommen wäre. Ihr fehlt der richtige Kompass, das offenbar unverstandene Leibnizprogramm, das im Zeichen des IMKO *OCF* in praktischer Hinsicht zu erneuern ist. Je mehr auf Dauer meta-ontologisch bedingte Fehlschlüsse durch ein falsches Ontologiefundament mit praktischer Relevanz auftreten werden, desto weniger wird die Disziplin umhinkommen, diesen Schritt zurück zur Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik zu vollziehen. Denn nichts ist in fundamentaler Hinsicht geklärt, nicht einmal, was genau Information, Evolution oder Komplexität für die Informatik im geschlossenen Ganzen bedeutet bzw. auf welche Weise sie ihre eigentliche Schlüsselrolle, die sie in der Digitalisierung sämtlicher Lebensbereiche besitzt, überhaupt universal bzw. transdisziplinär erfüllen kann. Dabei besitzen *Cyber-physische Systeme* (CPS) als "*Reality Machines*" ein *kausales Vermögen*, das ontisch ist. Sie sind physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt. Allein auf diese Weise sind CPS auch *als ganzes System* real. Indessen vermag das heute keine einzige ihrer gängigen Ontologiekonzeptionen darzustellen, weil sie die Existenzfrage nicht an einem ereigniszentrischen, sondern an einem objektzentrischen Kriterium festmachen. Das ist gleich doppelt falsch, nämlich im *ontischen* Sinne, wenn es sich in neo-aristotelischer Variante auf den Aspekt materieller Existenz bezieht, sowie im *epistemischen* Sinne, wenn diese Objekte in der Variante Meinongs bloß als Vorstellungen *psychisch* existieren. Was ontologisch richtig ist, wie die Realität unter techno-wissenschaftlicher Maßgabe zu begreifen ist, war dabei bereits vor Herausbildung der Disziplin klar: Neben Leibniz ist dazu auf Boole, Peirce, S. Alexander und insbesondere auf die Synthese bei Whitehead zu verweisen. Für Whitehead und Russell ist das zentrale *Prinzip der Information* genauso evident wie die erforderliche Durchgängigkeit *Cyber-physischer Systeme* (CPS). Insofern überrascht es nicht, wenn der Atomismus Whiteheads ein *logischer Atomismus* ist, den Russell (1918: 497) darlegt, ihn aber in seiner Grundidee seinem akademischen Lehrer Whitehead zuschreibt [1085]. Wenngleich zumeist implizit, macht an diesem auch die Mehrzahl der philosophisch orientierten Physiker bzw. eine Reihe von Quantenphysikern fest [1029]. Ohne Whitehead wäre das nicht möglich gewesen, weil *Information* nicht einfach nur eine *physikalische* Größe darstellt, sondern ihr vielmehr prinzipiell der gleiche Status zukommt wie Materie und Energie, nämlich im platonistischen Sinne der des *kosmologischen* "Urstoffs". Im

Zeichen *kausaler Wirksamkeit* handelt es sich dabei auch noch um das *einzig kosmologisch durchgängige Prinzip*. Dieses bildet insofern ein *antimaterialistisches Prinzip*, als es *allem Sein* inhärent ist, allem Physischen, allem Cyber-Physischen wie allem Immateriellen, womit es auch für die Informatik das eigentliche *ontologische Prinzip* manifestiert. Dass der Atomismus Whiteheads einen *informativischen Atomismus* und nicht etwa einen materieller Art repräsentiert, ist selbst ausgewiesenen Prozessmetaphysikern wie Rescher entgangen, was seine wenig qualifizierte Atomismuskritik Whiteheads offenbart [1487]. Dem digitalistischen Moment der Whiteheadschen Cyber-Physik wird diese Kritik in keiner Weise gerecht. Natürlich steht die Informatik insgesamt auf der Leibniz-Whiteheadschen *Digital-metaphysik* als *Cyber-Physik* und ihrem *logischen Atomismus* in Form von Bits und Bytes. Damit ist auch ihre Ontologiefrage erst dann verstanden, wenn man sie mit Gershenfeld (2000a: 934) *cyber-physisch* in Form der »ultimate consequence of merging bits and atoms« konzipiert. Indem es bei Gershenfeld dabei um die IoT-Zusammenhänge geht, die sich allein im Zeichen der Cyber-Physik verstehen lassen, ist man gerade beim *Internet of Things* (IoT) immer bei Whitehead, wenn es um die fundamentalen Fragen geht. Mit seiner Cyber-Physik gilt dann Wheelers *"It from bit"* der Quantenphysik [1056] und mit C.F. von Weizsäcker in gleicher Tradition entsprechend, dass die Informatik eine *Strukturwissenschaft* bildet [1537]. Auch diese ist wiederum nur vor dem Hintergrund von Whiteheads *universalem Strukturalismus* wirklich transdisziplinär realisierbar. Demgegenüber liegen deskriptive Metaphysiker, die über all diese Erfordernisse systematisch hinwegsehen, auch in ihrer Auffassung falsch, dass es in einem exklusivistischen Vierdimensionalismus keine Objekte geben könne. Zweifelsohne gibt es sie auch dort, und zwar nicht einmal lediglich epistemisch, sondern durchaus ontisch, wie es mit Whiteheads *"enduring objects"* [1072] unterstrichen wird, die es indessen bei seinem Schüler Quine nicht gibt [446; 1460 f.]. *Objekte* repräsentieren für Whitehead (1898: 7; 1920: 169 ff.) *Sequenzen von Ereignissen analogen Charakters*; sie beziehen sich also auf Ereignisse mit *Strukturidentität*, wobei Whitehead verschiedene Arten von Objekten abgrenzt. Die Ordnungsmuster dissipativer Strukturen sind dabei in digitalistischer Interpretation in gleicher Weise zu verstehen, womit nicht nur eine Korrespondenz zur *"New Physics"* gegeben ist [1030 ff.; 1121 ff.]. Vielmehr kann sie prinzipiell genauso zur Linguistik bestehen, nämlich dann, wenn ihre Objekte in gleicher Weise verstanden werden. Sie besitzen dann einen *Lebenszyklus* mitsamt *zeitlicher Teile*, stehen intern wie extern in fortwährenden Ereignisströmen und zeigen sich dabei intern wie extern *relational* verknüpft. Ihre Identität ist dabei in kausaler Wirksamkeit systembedingt; ihre absolute Identität strukturbedingt in Form ereignisbasierter identischer Ordnungsmuster. Das gilt für sämtliche Objekte, auf die sich Sprache bezieht bzw. beziehen kann, also in gleicher Weise

für physische wie virtuelle – selbst für menschlich gedachte oder gesprochene Objekte. Insofern ist es angezeigt, die *4D-Ereignissemantik* des Whitehead-Schülers D. Davidson wieder aufzugreifen [1461 f.]. Wenn man hinterfragt, worum es beim *Common Sense* eigentlich geht, dann müsste er genau in diesem Sinne, und keinem anderen verstanden werden. Mit anderen Worten ist es eine falsche Voraussetzung, der Alltagsrationalität generell ein statisches 3D-Denken zu unterstellen, wenn es um *menschliche Agenten* in IoP-Kontexten geht. Jenseits der für sie unerreichbaren Superintelligenz ist ihnen sehr wohl grundsätzlich die Fähigkeit *reflexiven Denkens* zuzuschreiben; ihre intellektuelle Mächtigkeit ist selbst unter Durchschnitt faktisch größer als es ihnen die Linguisten mit ihrer naiven, wissenschaftlich unbegründeten *Common Sense* Doktrin unterstellen. Eher sind mit Popper (2002a) *alle Menschen Philosophen*, indem sie – wie auch bei Heidegger – mehr oder weniger über die Grundfragen des Lebens nachdenken. Daraus folgt, dass weder ein ontologischer Bruch zwischen aufgeklärtem *Common Sense* und der Technopraxis bestehen kann, noch zwischen ihnen und der Wissenschaft bzw. Technologie an sich. Das gilt dabei für alle lebensweltlichen Fragen, nicht nur bezüglich der Evolution der biologischen Lebenswelt. Denn auch im Hinblick auf physikalisch-technische Aspekte sind die Annahmen menschlicher Agenten vom Grundsatz her keine anderen als jene der "*New Physics*" [1030 ff.]. Selbstverständlich besitzt für sie nicht nur jedes technische Produkt, jedes Artefakt, alle physischen Objekte und letztlich alles in der Welt prinzipiell einen *Lebenszyklus* mitsamt zeitlicher Teile. Genauso steht im Allgemeinen auch nicht in Abrede, dass der Kosmos *emergenter Evolution* unterliegt. Physische Objekte ontologisch als *3D-Objekte* aufzufassen, entspricht also gar nicht dem gesunden Menschenverstand. Vielmehr hat das in Wahrheit seine Ursache ganz woanders, nämlich in techno-wissenschaftlich völlig überholten philosophischen Grundlagen. Indem im IoT-Kontext selbst der *Cluster of European Research Projects on the Internet of Things* (CERP-IoT) mit Vermesan et al. (2009) daran festmacht [141], bedarf die Disziplin offenbar grundsätzlicherer ontologischer Aufklärungsarbeit. Das Problem ist nicht nur der *Mythos der Substanz* [1265] an sich, sondern alles, was ein unveränderlich selbstidentisches *Ding* oder *Objekt* ausmachen soll. Im Grunde behandelt die gegenwärtige Ontologie der Informatik Objekte genauso, wie sie in der Cartesischen Welt behandelt werden. Dabei ist der damit verbundene *Cartesische Dualismus* nicht nur bereits für Leibniz abwegig [1044 ff.], sondern es wird vor seinem Hintergrund nicht verstanden, dass das *Information Processing* der Informatik zuvorderst *ontologisch* zu verstehen ist, nämlich im Ganzen der *metaphysica generalis*. Demgegenüber steht ihre heutige Ontologie dazu im doppelten Widerspruch, weil sie weder dem einen noch dem anderen entspricht. Wenn demgegenüber der heute dominierende Teil der Ontologie der Informatik auf Basis von *3D-Objekten* als materielle Körper bzw. als Sprachobjekte

steht, dann hat das letztlich damit zu tun, dass sie das klassische Physikmodell in unzulässiger Weise metaphysisch verallgemeinert. Zwar sind zweifellos die einzelnen Sätze der Newtonschen Physik nach wie vor gültig, sofern es um *mechanische Systeme* geht. Unzulässig ist es aber, McCarthys (1995) "*general world view*" darauf gründen lassen zu wollen, indem das zur *mechanistischen Weltauffassung* führt, während die auf Aristoteles zurückgehende *vitalistische* Variante nicht weniger unzeitgemäß ist [1043 ff.]. Dabei reicht es mit Blick auf erste nicht aus, eine zeitliche Komponente in Form kinematischer bzw. dynamischer Größen ins Spiel zu bringen, wie es analog zur durch Galilei und Newton begründeten klassischen Mechanik in der trägerbasierten Ontologie der Informatik im Zuge von *3D+T-Objekten* vollzogen wird. Für die grundlegende Weltansicht der Naturwissenschaften wie auch aller techno-wissenschaftlichen Disziplinen ist heute indessen etwas anderes maßgeblich, indem schon die *Irreversibilität der Zeit* der Nichtgleichgewichtsthermodynamik [1033] mitsamt der physikochemischen *Theorie dissipativer Strukturen* auf die *Physik der Evolutionsprozesse* und damit auf die *Komplexitätsphysik* weist [1034]. Mit dieser "*New Physics*" [1030 ff.] kommen alle kausalen Wechselwirkungen im kosmologischen Ganzen aller *offenen Systeme* ins Spiel, wie sie Bertalanffy [1113 ff.] als theoretischer Biologe von Whitehead ausgehend [1039 f.] in seiner *Allgemeinen Systemtheorie* populär machte. Auf Basis der Whiteheadschen Kosmologie erkennen sie alle, gerade auch die Physik etwa mit Atmanspacher (1994, 1996), dass die Naturwissenschaften nicht auf Basis des auf Materie fixierten "*Cartesian Cut*" stehen können. Vielmehr muss es im Zeichen der "*New Physics*" [1030 ff.] bzw. der "*New Biology*" [1036] wie universal in allen Disziplinen um *komplexe Systeme* gehen, die mit dem einheitlichen Kausalitätsprinzip dem einzig tatsächlich durchgängigen Grundstoff der *Information* in transdisziplinärer Weise verpflichtet sind. Natürlich muss die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Zeichen des IMKO OCF im *IoX-Hyperspace* fortwährend auf die Strukturidentität von metaphysischer Ontologie und Wissensontologie zielen, wenn es etwa um das *Internet of Living Things* (IoLT), das *Internet of Chemical Things* (IoCT), das *Internet of Nano Things* (IoNT), das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) oder das *Internet of Underwater Things* (IoUT) geht [1037 ff.]. Denn das, was bei ihnen vermittels der Sensorik gemessen und informatorisch über HLIF-Prozesse bis hin zur Wissensrepräsentation im Sinne des *Information Processing* verarbeitet wird, muss zunächst einmal im Erfahrungsraum verstanden sein (et v.v.). Das aber ist nur dann möglich, wenn alle Kategorien im Whiteheadschen *revisionären* Sinne im Zuge des *Ratio-Empirismus* entwickelt und fortwährend hinterfragt werden, während deskriptive Metaphysiker diese postklassische Form *Artifizieller Intelligenz* erst gar nicht mitgehen können. Für den *CPST-Hyperspace* im Allgemeinen wie für den *IoX-Hyperspace* im Speziellen gilt somit entlang der Whiteheadschen Cyber-Physik mit der

darauf letztlich aufsetzenden Quantenphysik Wheelers: *"Everything Is Information"* [1056]. Wenn Heisenberg [1302] die *Ontologie des Materialismus* fundamental angreift und C.F. von Weizsäcker in gleicher Linie Materie und Energie auf *Information* reduzieren will [1309], dann steht der Stellenwert der auch durch Mainzer (2016a) betonten durchgängigen Größe der *Information* [1064 ff.] außer Zweifel. Dennoch darf mit Mainzer (1996) dabei keineswegs die Bedeutung der *Materie* an sich in Abrede gestellt werden [1309]. Der Whiteheadsche *Antimaterialismus* ist auch nicht mit einem *Immaterialismus* bzw. der Irrelevanz der Materie zu verwechseln, die in naturwissenschaftlicher Hinsicht zweifelsohne elementar ist. Nur kann sie umgekehrt nicht das kosmologisch bzw. transdisziplinär durchgängige Prinzip darstellen, mit dem auch die Überwindung des *"Cartesian Cut"* gelingen kann, in dessen Zeichen nicht weniger als das klassisch mechanistische Wissenschafts- und Technologiespektrum steht. Und das ist der für die Ontologiefrage alles entscheidende Gesichtspunkt, der jedoch gerade in der konfusen Debatte um die *Ontologie der Informatik* bisher paradoxerweise im Grunde überhaupt keine Rolle spielt.⁵³ Mit welchem anderen Adjektiv als "paradox" will man es bezeichnen, wenn die *Ontologie* der Informatik voll und ganz im problematischen *"Cartesian Cut"* steht, während diese selbst ihren eigentlichen Ursprung mit der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik gerade dem Ziel seiner *Überwindung* verdankt und ihr eigentliches Wesen samt ihres Grundstoffs der *Information* entsprechend zu verstehen ist? Denn die bisherige Ontologie steht faktisch entweder mit allen neo-aristotelisch geprägten Ansätzen im Zeichen der Materie bzw. der Cartesischen *res extensa*, oder aber mit Meinongs psychischen Objekten, auf die sich die Analytische Philosophie [1390 ff.] explizit bezieht [445], im Zeichen der Cartesischen *res cogitans*. So ist auch zu erklären, dass ontische Kategoriensysteme (BFO, BWW usf.) mit epistemischen Kategoriensystemen (DOLCE, UFO usf.) konkurrieren, indem ihre Verfechter auf beiden Seiten des *"Cartesian Cut"* stehen. Allerdings übersehen sie dabei, dass die Informatik auf keine der beiden Seiten setzt, womit zugleich der metaphysische bzw. techno-wissenschaftliche Streit um die *Ontologie der Informatik* entschieden ist: Alle bisherigen ontologischen Positionen der Informatik sind falsch, indem sie nicht ihrem Wesen entsprechen. Denn deren Selbstverständnis liegt mit ihren eigentlichen Gründungsvätern Leibniz und Whitehead gerade im Zeichen der *Beseitigung* des Cartesischen Dualismus. Entsprechend macht auch der Biochemiker M. Eigen in der *Information* gerade die "Brücke" zur Überwindung des *"Cartesian Cut"* aus [1057]. Dabei bildet nicht nur dessen Überwindung einen zentralen Eckpfeiler des Whiteheadschen Werks, sondern mit diesem wird es in Symbiose der Leibniz-Kantischen Position auch möglich, *ontische* und *epistemische* Kategorien über ein und dieselbe prozessuale Digitalmetaphysik zu adressieren. Genau das

⁵³ Zumindest der Kybernetiker McCulloch erkennt auf Whiteheadscher Basis dieses Erfordernis [1082].

ist gerade im agentenbasierten *Cyber-Physical Computing* unabdingbar, während alle anderen bekannten Metaphysiken, einschließlich der Buneschen auch an dieser wesentlichen Sache scheitern. Wenn alles *Computing* demnach *Ontological Computing* ist, lässt sich auch nicht abstreiten, dass in der *Meta-Ontologie der Informatik* tatsächlich die wichtigste Frage der Disziplin besteht. Denn das Selbstverständnis jedes *Computing* hängt erst von der jeweilig vorausgesetzten *Meta-Ontologie* ab. Das Leibnizprogramm ist für die Disziplin also insofern konstituierend, als sie erst auf seiner Basis ihr eigentliches Selbstverständnis begreifen kann, nämlich entlang der Überwindung des "*Cartesian Cut*" durch ihren *Grundstoff der Information*, den sie überhaupt erst der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik als *Cyber-Physik* zu verdanken hat. Denn es ist ja genau diese, und nur diese Metaphysik,⁵⁴ aus der dieser kosmologische "Urstoff" erst hervorgeht. Demgegenüber sind selbst jüngere *Scientific Metaphysics* wie jene Bunes im Kern noch auf die Cartesische *res extensa* fixiert, während alle anderen Entitäten erst aus dieser materialistischen Basis im Zeichen einer *Mehrebenenontologie* emergieren. Wenn höhere ontologische Ebenen dementsprechend bei Bunge – entgegen der kausalen Positionen Hartmanns und Poppers – in existentieller Hinsicht reduzierbar sind, besteht darin für die Informatik im Zeichen *komplexer Systeme* keine sinnvolle Prämisse [1708 ff.]. Entgegen vielfacher Annahme kann Bunes Ansatz [1302 ff.] schon deshalb nicht die *Metaphysik der Informatik* bilden, weil sich ihre Kernaspekte in keiner Weise systematisch von ihr ableiten lassen. Demgegenüber ist das bei der durch Bunge bekämpften Whiteheadschen Prozessmetaphysik [1020 ff.] genau umgekehrt. Wenn es überhaupt für die Informatik eine Möglichkeit gibt, all ihre Fundamente in ein systematisches Rahmenwerk zu bringen, dann ist es nur diese. Auf ihrer Basis lassen sich sämtliche fundamentale Kategorien der Informatik in der notwendigen generalistisch abstrakten Weise bestimmen. Das beginnt beim Datum im Sinne der Bits des *logischen Atomismus*, führt über einen universalen Informationsbegriff [1064 ff.] mitsamt transdisziplinärer Semantik, und endet schließlich mit einer entsprechend verschaltbaren Wissensrepräsentation bei der *Einheit allen Wissens* bzw. der *Einheit der Erkenntnis*. Entsprechend ist die empiristische Universal-synthese des *Ratio-Empirismus* im Zeichen von Whiteheads cyber-physischen wie techno-wissenschaftlichen *zellulären Automaten* in der *Theorie zellulärer Automaten* gegeben [1125 ff.], womit die Automatentheorie bzw. *Complex Adaptive Systems* (CAS) generell als ratio-empirischer CYPO/IMKO *Mittler* fungieren [1100 ff.]. Mit Blick auf die Debatte um die Vielzahl disparater TLO-Theorieanwärter ist die *Meta-Ontologie der Informatik* somit allein dann richtig aufgesetzt, wenn sie *4D-Objekte* voraussetzt, wie es bei vier TLO-Konzeptionen auch der Fall ist: bei

⁵⁴ Die *Metaphysiken* von Peirce und S. Alexander wie die *metaphysischen Dispositionen* bei Boole weisen dabei in die gleiche Richtung; als Ursprung bzw. Synthese geht es jedoch um Leibniz bzw. Whitehead.

der im Kontext der chemischen Prozessindustrie entwickelten BORO-TLO, bei der Neufassung der insbesondere im biomedizinischen Kontext bemühten GFO-TLO,⁵⁵ sowie bei den von maßgeblichen AI-Experten entwickelten 4D-TLO-Entwürfen Russell/Norvigs einerseits und Sowas andererseits. Sie alle sind im klaren Gegensatz zu den heute dominierenden TLO-Ansätzen an sich der revisionären *Klasse-4-Metaphysik* zuzuordnen, erweisen sich jedoch in einer ganzen Reihe jeweils unterschiedlicher Gesichtspunkte als defizitär [1808]. Vor allem weisen die vier genannten TLO-Ansätze dieser superioren Metaphysikkategorie analog zum abwegigen *Mainstream* einen Kerndefekt auf: auch sie sind nicht systematisch auf *Cyber-physische Systeme* (CPS) und den Grundstoff der *Information* bezogen, damit auch nicht auf die *Adaption komplexer Systeme* (CAS) und weisen entsprechend nicht die für Multiagentensysteme (MAS) erforderliche integrative Ontologiearchitektur auf. Man kann es auch so sehen: sie liegen in ihrem prozessphilosophischen Rekurs gewissermaßen intuitiv richtig, ohne ihren Kern systematisch in der Überwindung des "*Cartesian Cut*", ohne das informatorische Prinzip kausaler Wirksamkeit, ohne den damit zusammenhängenden *Systemgedanken* in CPS- bzw. MAS/CAS-Hinsicht konsequent zu fassen. Einschließlich Sowa, der sich partiell direkt auf Whitehead bezieht, gründen sie damit letztlich alle nur sehr vage bzw. höchst bedingt auf der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik, um die es nicht nur mit Blick auf *Scientific Ontologies*, sondern insgesamt gehen muss. Denn es ist die Whiteheadsche 4D-Cyber-Physik *komplexer Systeme*, die die alte Cartesische *mechanistische* Weltansicht erst auf der Basis von Hegels kosmologischen Evolutionsgedanken [1089 ff.] in ein *organismisches* Weltverständnis transformiert, dessen Ursprünge sich im Übrigen bereits beim späten Kant [1042 ff.; 1091 ff.] bzw. frühen Schelling [1039 ff.; 1092 ff.] finden. Auf Basis seiner auf Leibniz und dem deutschen Idealismus aufbauenden evolutionären Kosmologie sind alle Entitäten aller Diskursuniversen entsprechend prozessual auszulegen und in ihrer informatorisch-logischen Weise zu konzipieren. Auf Grundlage dieses postcartesischen, systemisch-emergentistischen Weltverständnisses Whiteheads [1020 ff.] können dann auch alle techno-wissenschaftlichen Disziplinen einschließlich der Technopraxis in transdisziplinärer Weise aufsetzen. Für die Programmatik der Informatik besteht in dieser neuen Weltansicht komplexer Systeme in gleich zweifacher Weise eine entscheidende Prämisse: erstens liegt dann die Antwort auf McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" bei Whitehead (vgl. These 4). Zweitens muss das Selbstverständnis der Informatik sie mit Blick auf den "Urstoff" der *Information* in doppelter Hinsicht als *transdisziplinäre Schlüsseldisziplin* verstehen: Nämlich bezogen auf *alle informatorischen Prozesse* in allen Diskursuniversen (metaphysische Ontologie) und damit verbunden auf *alle Wissensrepräsentation* (Wissensontologie). Dabei steht sie nicht

⁵⁵ Die ursprüngliche GFO-Fassung war als Parallelprojekt zur BFO-TLO noch *neo-aristotelisch* konzipiert.

nur im transdisziplinären Wechselspiel mit *allen* anderen Disziplinen, sondern genauso mit *aller* Praxis. Entsprechend ist das, was aus dem Whiteheadschen *postcartesischen Weltverständnis* für die Informatik in pragmatischer Hinsicht folgt, von nicht geringerer Konsequenz. Denn es impliziert zum einen ein *postklassisches CM-Verständnis* [512 ff.], zum anderen ein *postklassisches AI-Verständnis* [588 ff.], während es als *universales Weltverständnis* schließlich seine eigene universale Voraussetzung einfordert. Daraus resultiert wiederum das strikte Erfordernis der *Konvergenz aller Ontologie* [592 ff.]. Damit ist im Zeichen des IMKO *OCF* zuvorderst gemeint, dass das konzeptuelle Modell jeweils mit dem semantischen Modell interdependent ist. Dabei sind für erstes die *fundamentalen Strukturen* der metaphysischen Ontologie deshalb entscheidend, weil nur auf ihrer Grundlage für zweites, also für das semantische Modell, auf Basis universaler *Top-level Kategorien* eine Wissensrepräsentation möglich wird, die im Leibniz-Whitehead-Popperschen Sinne einer *transdisziplinären* Struktur entspricht. Und genau darum muss es für die Informatik gehen, nämlich zum einen mit Blick auf die generell notwendige Überwindung des Inkommensurabilitätsproblems, zum anderen zur Hebung von *Superintelligenz* durch die Realisierung der *Einheit des Wissens* wie der *Einheit der Erkenntnis* der jeweilig auserwählten bzw. bevorteilten Agenten.⁵⁶ Diese Einheit lässt sich jedoch nur dann realisieren, wenn im MAS/CAS-Sinne lokale, regionale und globale Intelligenz ontologisch verschaltet werden (These 7), und damit zusammenhängend im CPS/SEA-Sinne eine systematische *TLO-EO-Verkopplung* realisiert wird (These 8). Über den naiven *Common Sense* des klassischen AI-Verständnis ist somit maßgeblich hinauszugehen, indem nicht nur sämtliche bisher bemühten Ontologiebegriffe, Ontologieverständnisse und Ontologiekonzeptionen an diesem, in den Dimensionen der Digitalmetaphysik als Cyber-Physik zu begreifenden *postcartesischen Weltverständnis* scheitern. Vielmehr verlangt es mehr, nämlich nicht weniger als die systematische Transformation der Alltagssprache in der Tradition der Ereignissemantik bei D. Davidson für eine darauf gründende Technopraxis: jedes Objekt ist dann als ereigniszentrisch-relationaler *Objektlebenszyklus* zu fassen, womit im Sinne von Hayes gar kein Widerspruch zwischen revisionärer Metaphysik und alltagssprachlichem *Common Sense* besteht. Und einen solchen Widerspruch sollte die Informatik mit Blick auf die ontologische Interdependenz im *IoX-Hyperspace* auch nicht zulassen, wenn die Ontologie der IoP-Welt etwa von jener der IoS- oder IoT-Welt faktisch nicht isolierbar ist. Indessen sind all diese Erfordernisse, die das *postcartesische Weltverständnis* im Zeichen von McCarthys (1995) "*general world view*" für die Informatik unabdingbar bedeutet, für die deskriptiven Metaphysiker dennoch nicht von Relevanz. Denn sie sind in ihrer Position durch ihre *Harmonie-These* geschützt. Zum anderen ist ihre Relevanz für sie

⁵⁶ Hier kommen ggf. *Verfügungs- bzw. Eigentumsrechte der Ressourcen* ins Spiel [923; 1762 f.].

auch insofern nicht gegeben, weil sie erst gar nicht in die Niederungen *revisionärer* Metaphysik herabsteigen. Darüber hinaus können sie die Whiteheadsche Prozessmetaphysik als Cyber-Physik auch im Ansatz nicht verstanden haben, denn ansonsten hätten sie für ihre verquere Ontologiesicht kaum den Allgemeingültigkeitsanspruch bzw. die ausschließliche Maßgeblichkeit als OE-Ansatzpunkt gestellt. Sehen sie auf dem Computermonitor eine Vase, sagen sie: "Vase", verkennen jedoch dabei den eigentlichen ontologisch relevanten Prozess der ereigniszentrischen *Reproduktion von Ordnungsmustern*, nämlich dass dieses "*enduring object*" im Sinne der Whitehead/Quineschen Pixeltheorie erst beständig aus Ereignissen, also in Form identischer Pixelmuster bzw. cyber-physischer Signale in zeitlichen Bildwiederholungsfrequenzen emergiert. Sie repräsentiert also grundsätzlich eine *prozessuale* Kategorie, selbst wenn man sie als Objekt abgrenzen kann. Auch baut in dieser virtuellen Welt sich jedes Objekt *an sich* erst aus Pixeln auf; so können auch deskriptive Metaphysiker erst dann die "Vase" erkennen, wenn in chaotisch-verzögerter Bilddarstellung genügend Pixel auf dem Schirm sind, die diesen perzeptiv-kognitiven Schluss im Sinne von J.J. Gibsons (1966, 1979) *Information pickup theory* zulassen [1038 f.; 1069]. Wie virtuell, so stellt es sich mit dem Whitehead/Russellschen *logischen Atomismus* auch physisch dar; nicht nur mit den Megapixeln physischer Sensorik, sondern mit der Aktorik auch umgekehrt, etwa wenn ein digitales Modell mittels des 3D- (Voxel) bzw. 4D-Printing (Doxel) [210] seine physische Realisation findet. Es ist die *Cyber-Physik*, die der *eigentlichen* Denkart der Informatik entspricht. Somit ist der Status naiver linguistischer Ontologien bereits *an sich* zweifelhaft. Die Informatik benötigt etwas anderes, womit im Zeichen unserer dritten These für sie wie auch *in toto* für alle transdisziplinär zu fassenden technowissenschaftlichen Disziplinen ein radikaler ontologischer Neuentwurf erforderlich ist. Das größte Problem der Ontologiedebatte besteht indessen gar nicht in den Sachverhalten der Ontologieproblematik als solchen, sondern in den Kuhnschen sozialpsychologischen Paradigmen, die der Ontologiedebatte inhärent sind: Sie bestehen in der fehlenden Offenheit, die dargelegten ontologischen Anforderungen zu akzeptieren; denn die deskriptiven Metaphysiker haben sich ja *ex definitione* gegenüber allen revisionären Einsichten, gegenüber allen ratio-empirischen Notwendigkeiten der Erfahrung faktisch wie praktisch immunisiert, indem sie – entgegen Kant – explizit nicht an der Erfahrung ansetzen. Das Argument für die *revisionäre* Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik als Cyber-Physik findet sich jedoch erst in den techno-wissenschaftlichen Sachverhalten sämtlicher Erfahrungsräume der Informatik; es findet sich indessen gar nicht auf der Sprachebene, auf die sich die deskriptiven Metaphysiker zurückgezogen haben. Mit ihrer Immunisierung missachten sie all die ontologischen Probleme, die es bei *cyber-physischen "Reality Machines"* eigentlich von vornherein im Zuge eines sachgerechten *Systems Engineer-*

ing auszuschließen gilt. Für dieses markieren eine ontisch fixierte konzeptuelle Modellierung genauso wie ein darüber zu eröffnendes realitätsbezogenes *Ontology Engineering* (OE) Kernbestandteile. Die Informatik könnte diese Immunisierungsstrategie prinzipiell nur auf dem Wege angreifen, indem sie von den deskriptiven Metaphysikern die argumentative Verteidigung ihrer metaphysischen Position einfordert. Solange sie selbst in weiten Teilen in diesem Paradigma steht, wird dies allerdings unterbleiben. Grundsätzlich wäre also genau darzulegen, inwiefern die deskriptive Metaphysik die *Ontologie der Informatik* tatsächlich sachgerecht fundiert. Auch wäre die *Harmonie-These* genau zu begründen. Jeder Rechtfertigungsversuch wird sich dabei vor allem auf eines der fünf *IoX-Subsystemen* stützen, nämlich auf das *Internet of People* (IoP). Demgegenüber ist er für die übrigen vier Subsysteme kaum zu erbringen. Denn die Adäquanz für das IoT-Subsystem müsste dann auf der *Harmonie-These* bzw. der *Naïve Physics* gründen. Noch schwieriger wird es im IoA-, IoS- oder IoD-Bereich. Entsprechend wäre dann auch die Klärung der konkreten Bewandnis der *bi-kategorialen* TLO-Ansätze erforderlich [1282 ff.], die eine – mit dem fehlenden Physikmodell im Einzelnen unklar bleibende – parallele 3D- und 4D-Weltauffassung verkörpern.⁵⁷ Denn auch in dieser Sache muss vieles problematisch erscheinen: von einer vermutlich inkonsistenten Zeittheorie, über vermutlich inkonsistente Datenmodelle bis hin zur Tatsache, dass die *Top-level Ontologie* eine in sich geschlossene Weltauffassung verkörpern sollte, die gerade zur Beseitigung und nicht zur Vermehrung meta-ontologischer Unklarheiten da ist. Insgesamt auf alle fünf *IoX-Subsysteme* bezogen, ist die deskriptive Metaphysik für die Informatik inadäquat; es ist *nicht ihre* Metaphysik. Wie mit These drei ausgeführt, verkörpert sie nicht nur im Sinne Bunes schlechte, sondern nach definitorischem Maßstab letztlich *gar keine* Metaphysik. – Wenn die Informatik sich in ihrem Begründungszusammenhang auf Leibniz beruft, dann muss sie es in sachgerechter Weise tun, d.h. sie muss dann seine zentralen Gedanken tatsächlich auch in ihrer Gänze erfassen und sie *adäquat* reflektieren. In der Tat muss es für die Informatik um den ganzen, den universalen Leibniz gehen, womit zu postulieren ist, dass die Disziplin programmatisch insgesamt auf dem Leibnizprogramm einschließlich des Automatenuniversums begründet werden sollte. Konkret sollte sie auf die techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik als seine aktualisierte Variante gestellt werden, die Whitehead als »Leibniz’s greatest twentieth-century follower« [954] etwa im Hinblick auf *cyber-physische 4D-Event Streams* im Wechselspiel mit Einsteins Relativitätstheorie vollzieht. Die Informatik braucht in allen fundamentalen Belangen einen in sich geschlossenen programmatischen Rahmen; Stückwerktechnologie ist hier gänzlich verfehlt; sie bedingt vielmehr erst die eigentlichen Probleme, indem die metaphysische Basis fehlt, wenn alle Grundfragen systema-

⁵⁷ Bei der *substanzzentrischen* neo-aristotelischen BFO-TLO geht es letztlich um ein *3D+T* [1282 ff.].

tisch ineinander greifen. Entdeckt sie ihre Programmatik in ihrem Ursprung und konzipiert sie diese entlang der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik einschließlich der darin inkorporierten methodologischen Positionen, wie sie etwa in der *Theorie komplexer Systeme* bestehen, dann lassen sich nicht nur ihre Ontologieprobleme, sondern genauso ihre epistemologischen und methodologischen Defizite auf einen Schlag beheben. Dann kann sie ihre *theoretischen* Fundamente systematisch von ein und demselben digitalmetaphysischen Fundament der Cyber-Physik her entwickeln, womit die Informatik über eine in sich geschlossene Grundlegung verfügte. Tatsächlich erscheint das unumgänglich, denn all diese Theorien sind mindestens defizitär, wenn nicht defekt: das gilt mit Blick auf ihren eigentlichen "Grundstoff" in Bezug auf die *Informationstheorie*, die überholt ist [1068]; das gilt für ihre *Komplexitätstheorie*, die insgesamt gesehen zu speziell ausgelegt ist, indem es dabei nicht um das universale Komplexitätsphänomen geht; das gilt in Bezug auf die *Automatentheorie*, deren Automatenklassen genauso wenig universal und nur sehr speziell konzipiert sind, während sie von den universalen zellulären Automaten bei Whitehead ontologisch isoliert ist. Gleiche Probleme stellen sich in Bezug auf jene Ansätze, die in der Informatik als generelle Weltauffassungen herangezogen werden. Auch in Bezug auf die spezifischen Akzentuierungen der *Kybernetik*, der *Allgemeinen Systemtheorie* oder den *Holonen* fehlt regelmäßig der echte Bezug zu jenem Fundament, von dem sie eigentlich entwickelt wurden, nämlich zur Leibniz-Whiteheadschen cyber-physischen Programmatik. In den meisten Fällen braucht man diesen Bezug gar nicht nachzuweisen, indem er etwa durch Bertalanffy, McCulloch oder in Sachen der Ontologie etwa durch Hayes offen eingeräumt wird. Das Leibnizprogramm ist in der Whiteheadschen Variante so lange zukunftssicher, wie die Grundlagen der *Cyber-Physik* stabil sind, wovon ausgegangen werden kann. Seine Grundlagen bei Leibniz haben sich in über dreihundert Jahren, sein *Eleatisches Prinzip kausaler Wirksamkeit* in weit über zweitausend Jahren bewährt. Wenn keine einzige Disziplin um Metaphysik umhinkommt, gilt das für die Informatik als strukturwissenschaftliche *Schlüsseldisziplin* ganz besonders. Gerade in dieser Stellung ist es kein Nachteil, sondern ein elementarer Vorteil, die metaphysischen Dispositionen programmatisch explizit zu machen. Denn nur dann kann sie echte, d.h. *transdisziplinäre* Schlüsseldisziplin [1614] im Hinblick auf alles *Information Processing* aller Erfahrungsräume (UoD) und alle darauf bezogene *Knowledge Representation* (KR) im techno-wissenschaftlichen *IoX-Hyperspace* sein. Damit verbunden ist die Annahme genauso verfehlt, dass eine feste Programmatik dem Wissenschaftsfortschritt der Disziplin hinderlich sei; im Gegenteil fördert sie diesen in jeder Hinsicht, indem es klare Positionen gibt, die ggf. angegriffen werden können, um die allgemeine Programmatik weiterzuentwickeln. Die Adäquanz des Leibnizprogramms zeigt sich auch insofern, als das Leibniz-White-

headsche *Computing* in strukturalistischer Hinsicht deckungsgleich mit jedem *IoX-Computing* ist, wie es die moderne Informatik im CPSS-Sinne des irreduziblen *IoX-Hyperspace* vorauszusetzen hat. Das Argument, dass eine programmatische Fixierung dem schnellen technologischen Wandel der Disziplin nicht gewachsen sei, gilt deshalb nicht, indem es nicht um technische Details, sondern allein um die ewigen digitalmetaphysischen Fragen geht. Ein expliziter Rekurs auf das Leibnizprogramm beendet dabei nicht nur ihre programmatische Desorientierung, wie sie mit der konfusen Ontologiedebatte offensichtlich geworden ist. Vielmehr ist das Leibnizprogramm im Grunde moderner und im Grundsatz zukunftsgerichteter als es die Informatik als Disziplin je war – und letztlich bis heute ist. Denn das *Cognitive Computing*, wie es im Leibniz-Whiteheadschen Sinne vollzogen werden müsste, ist genauso unerreicht wie die *Superintelligenz*, die sich auf der methodologisch einwandfreien Basis Poppers bzw. im Zeichen der transdisziplinären Repräsentationen Leibnizens realisieren lässt. Während das Leibniz-Whiteheadsche *universale Computing* im Zeichen ihres *metaphysischen Logizismus* alle Facetten des *Computing* bereits gedanklich vorwegnimmt und diese im totalen Zusammenhang des Automatenuniversums von vornherein richtig strukturiert, erkennt die gegenwärtige Praxis der Informatik diese erst nach und nach. Was folgt ist jeweils eine *ad hoc* Reaktion auf Basis von Stückwerktechnologie, und daraus resultieren dann zahlreiche Probleme, wenn die allgemeinen Fundamente fehlen. In der Evolution des *IoX-Hyperspace* ist zwar einiges in konkreter *technischer* Realisierung neu, fundamental in seiner universalen metaphysisch-logizistischen Strukturiertheit jedoch nichts. Die *Logical Machine* bei Peirce ist heute die konkrete CEP-Engine, doch bleibt die formallogische Basis zumindest in ihren Grundlagen dauerhaft stabil. Es gibt also *metaphysische* Aspekte, die in skeptizistischer Position des *kritischen Realismus* "ewig" sind, und es gibt darauf aufbauende insbesondere technologische Sachverhalte, die sich vergleichsweise schnell ändern. *Ontologie* und *Computing* bilden dabei Aspekte der ersten Art. Das Leibniz-Whiteheadsche *Ontological Computing* bleibt also im Kern des *metaphysischen Logizismus* genauso "ewig", wie auch das *Information Processing* in allen kosmologischen Erfahrungsräumen ist. Damit erklärt sich, dass mit dem *universalen Strukturalismus* perzeptiver Automaten im Grunde alles *Computing* in *fundamentalontologischer* Hinsicht vorweggenommen ist. Das gilt für jedes *Ubiquitous Computing*, *Cyber-physical Computing*, *Context-Aware Computing*, *Cognitive Computing*, *Emergent Computing* usw. Ihr Problem zeigt sich bereits darin, dass man überhaupt davon spricht, wenn es doch lediglich nur Facetten des einen *Ontological Computing* sind. Denn dann ist davon auszugehen, dass all diese Facetten untereinander nicht richtig abgestimmt sind, da die einheitliche Bezugsbasis fehlt. Orientiert sich die Informatik am aktualisierten Leibnizprogramm, vermeidet sie also solche *ad hoc* Reaktionen und hilft ihre Grundla-

gen in einer Weise zu legen, die ihren elementaren integrativen Erfordernissen auch tatsächlich dauerhaft gerecht werden kann. Dabei ist davon auszugehen, dass mit zunehmender Digitalisierung gerade diese *integrativen* Erfordernisse stark zunehmen werden, worauf die Disziplin jedoch kaum ausgelegt ist. Schließlich wird mit dem Leibnizprogramm auch jener ontologische "Gold Standard" möglich, den die meisten Informatiker für unrealisierbar halten [138]. Das ist realisierbar, indem die *Top-level Ontologie* im Zeichen der fünften These auf die *Digitalmetaphysik* als Cyber-Physik zu beziehen ist, wobei diese im ratio-empirischen Sinne eine *technowissenschaftlich korrekte* Weltauffassung repräsentiert. Auf dieser Basis lässt sich dann im Sinne der sechsten These eine rigorose Evaluierung und Selektion aller TLO-Theorieanwärter vollziehen. Natürlich kann die Disziplin anders bzw. wie gehabt vorgehen, nur wird sie damit im Zeitalter zunehmender Digitalisierung aller Lebenswelten nicht weit kommen. Sie wird keine einzige Grundfrage in sachgerechter Weise entscheiden können, indem die Disziplin letztlich immer an ihrem digitalmetaphysischen Fundament, an der *Metaphysik der Informatik*, hängt. Es ist also ein grundlegender Fehler, alle fundamentalen Aspekte, vom Informationsbegriff angefangen, über die Realitäts- und Komplexitätsfrage mitsamt der fundamentalen Strukturen cyber-physischer Welten, ihre kausalen Aspekte, über die Ontologie, Kognition und Epistemologie bis hin zur Methodologie in Bezug auf die generellen informatorischen Prozesse aller Diskurswelten wie die transdisziplinäre Wissensrepräsentation jeweils isoliert behandeln zu wollen. Real, d.h. kosmologisch betrachtet ist alles eins; und selbst in der technischen Realisation baut im Zeichen der Systemintegration das eine auf dem anderen auf bzw. zeigt sich alles wechselseitig verknüpft. Entsprechend lässt sich letztlich auch kein einziger pragmatischer Sachverhalt, wenn er diese Grundfragen etwa in Bezug auf Modellierungsfragen oder die Struktur von Repräsentationssprachen berührt, nicht losgelöst vom in sich konsistenten digitalmetaphysischen Fundament einer *systemisch*, d.h. relational-kausal durchgängigen Cyber-Physik richtiggehend behandeln. Kurzum: ohne die *Mathesis universalis, Scientia generalis und Metaphysica* des Leibnizprogramms lässt sich in der Informatik schlussendlich nichts klären, während ihre Schlüsselstellung in jeder Hinsicht eine dauerhaft stabile wie transdisziplinär anwendbare Klärung verlangt. – Zusammengefasst repräsentieren diese zehn Kernthesen nicht mehr als Facetten des einen Ziels der *Überwindung des meta-ontologischen Inkommensurabilitätsproblems* [147; 156; 1956 ff.], das ursächlich auf die *ontologische Interdependenzproblematik* in den interaktiv vernetzten cyber-physischen Strukturen der Informatik zurückweist. Für sie gilt mit F. Wilson (1983: 462) zweifellos: »[I]n ontology everything is connected with everything else«, was die wichtigste Prämisse zur Klärung der metaphysischen Frage ihres "*general world view*" darstellt, von dem alle Ontologie zu entwickeln ist [1974 ff.].

1. Zur Funktion der Top-level Ontologie (TLO) im Internet of Everything (IoX)

»My real world is holistic; my digital worlds are not. Bringing reality to our digital worlds involves at least three challenges - achieving greater realism in rendering, manipulating, and analyzing our digital worlds; sharing digital things, actions, and processes across digital worlds to achieve more holistic, connected worlds, and finally aligning our real and digital worlds.«

— Michael L. Brodie (2009: 10)

Artifizielle Intelligenz (AI) bildet mit McCarthy (1963a: 66) im Wesentlichen den Gegenstand des *Computing*, indem Computer als *Reality Machines* immer komplexere und ausgefeiltere Prozesse durchführen, und sich in ihrer Interaktion mit ständig neuen Situationen in ewig wandelnden Ereignisströmen dabei so intelligent wie möglich verhalten müssen. Wenn bereits an sich komplexe Systeme sich im Zuge des *Internet of Everything* (IoX) immer umfassender miteinander vernetzt zeigen, lässt sich von der Position McCarthys (1963a) unmittelbar auf ein *Superintelligenzargument* schließen: das Streben nach *Superintelligenz* ist die unmittelbare Konsequenz von immer komplexer werdenden Situationen und zunehmendem Vernetzungsgrad, von der Einbindung immer neuer *Smart Objects* und Minirechnern. Damit läuft das *Computing* als solches in realen Kontexten unweigerlich auf das Erfordernis von *Superintelligenz* hinaus, und entsprechend sind auch alle AI-Grundfragen einschließlich der AI-Ontologieproblematik vor dem Hintergrund der *Superintelligenz* zu reflektieren.⁵⁸ Allerdings ist mit dieser Einsicht für die Informatik noch nichts geklärt. Im Gegenteil: im Grunde ist in der Disziplin heute so gut wie alles ungeklärt, wenn es um die fundamentalen Fragen geht. Zwar wird *Computing* im Allgemeinen als Informationsverarbeitung verstanden, doch bleibt dennoch offen, was *Computing* genau ist, indem es bisher weder einen festen Informationsbegriff noch eine klare Lösung des Semantikproblems gibt. Und auch was die *Artifizielle Intelligenz* insgesamt betrifft, ist im Grundsatz noch alles umstritten, indem die AI-Disziplin heute in zwei kaum vereinbare Grundsatzpositionen zerfällt, die sich wiederum ihrerseits stark ausdifferenziert zeigen. Analoges gilt für die AI-Ontologiefrage, wenn genauso umstritten ist, was Ontologie ist. Mit diesen Kontroversen hängen unzählige Detailfragen zusammen, etwa zur Frage der Realität und ihres Wandels, dem Korrespondenzproblem interner Modelle, zur Frage der Natur der Agenten, der Frage ihrer Perzeption und Kognition oder anders akzentuierte Fragen wie die Rolle expliziten vs. impliziten Wissens in umweltbezogener Agenteninteraktion. Im Grunde sind all diese fundamentalen Aspekte umstritten bzw. bestehen in der AI-Disziplin zu diesen Fragen mitunter vollständig adversative Paradigmen.

Hinterfragt man die Gründe für diesen Status quo, sind sie auf den ersten Blick darin zu sehen, dass die jeweiligen AI-Positionen mit jeweils unterschiedlichen unterstützenden Disziplinen assoziiert sind; etwa der formalen Logik und der Linguistik einerseits, oder den Kognitions- bzw. Neurowissenschaften andererseits. Allerdings bestehen darin nur die Symptome; die eigentlichen Ursachen, die für diesen protowissenschaftlichen Stand der

⁵⁸ Vgl. zur Agentenarchitektur und unserer spezifischen Definition von *Superintelligenz* Pkt. 6.3.

Informatik verantwortlich sind, liegen woanders: sie liegen in divergierenden Sichtweisen bezüglich der Frage, was die fundamentalen Strukturen der Welten ausmacht, mit denen es die Informatik zu tun hat. Allen voran betrifft dies die Frage der Realität, das Grundverständnis des realen Geschehens, d.h. der Entitäten oder den Determinanten des Wandels. Vor diesem Hintergrund kann nur dann echter, essentieller Fortschritt in der Informatik bzw. in der AI-Disziplin erzielt werden, wenn eingesehen wird, dass ihr protowissenschaftlicher Stand unmittelbar mit der Divergenz in den Auffassungen zu den fundamentalen Strukturen der Diskurswelten korreliert ist. Besteht hier Konsens, wird die Feststellung von Glymour/Ford/Hayes (2000: 113) erst richtig nachvollziehbar: "*AI is philosophy*", wobei letzte als *Erste Philosophie* zu werten ist. Dann gilt mit Heidegger (1972: 55): "*Philosophy is metaphysics*", und gemäß transitiver Relationen für uns: "*AI is metaphysics*".^{59, 60}

Dass die Devise "*AI is metaphysics*" richtig ist, wird am Ende dieser Abhandlung im Ganzen klarer geworden sein; sie ist in der Weise zu verstehen, dass es einen metaphysischen Klärungsprozess geben muss, an dessen Ende nur ein einziges in sich geschlossenes Metaphysiksystem stehen kann, das genau den Anforderungen der Informatik entspricht. Faktisch ist diese These also gewiss nicht für alle Metaphysik zutreffend; es handelt sich lediglich um Theorieanwärter, deren Adäquanz – entgegen der bisher in dieser Sache nachlässigen Praxis – für die Disziplin auch tatsächlich im Sinne konkreter Anforderungen zu erörtern ist. De facto werden die unterschiedlichsten Philosophien bemüht, jedoch im Grunde nie in Bezug auf ihre eigentliche Adäquanz systematisch hinterfragt. Würde dies vollzogen, wäre die Disziplin einen großen Schritt weiter, denn dann wäre allgemein klar, dass es nur genau eine Metaphysik gibt, die allen fundamentalen Anforderungen auch tatsächlich gerecht wird. Das ist die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik; in ihr ist im Sinne des durch Whitehead aktualisierten Leibnizprogramms tatsächlich alles gegeben, was die AI-Disziplin im Kern ausmacht, wobei sich dieser Kern entsprechend ergänzen lässt. Zu diesem Kern gehören neben der formalen Logik und einer transdisziplinär verstandenen Repräsentation bzw. Wissensontologie genauso Aspekte wie Perzeption und Kognition, der Agentengedanke, eine durchgängige Cyber-Physik, der Grundstoff *Information*, der Emergenz- und Komplexitätsgedanke wie eine erweiterte Realitätsauffassung.

Die wenigsten praktischen Informatiker können mit der Devise "*AI is metaphysics*" etwas anfangen; und doch ist sie nicht nur zutreffend, sondern vor allem gerade in *pragmatischer* Hinsicht von größter Relevanz. Es gibt auch AI-Forscher, die diese Position mehr oder weniger teilen;⁶¹ in diese Richtung gehen bereits McCarthy/Hayes (1969), wenn sie die wesentliche Rolle der Metaphysik und Epistemologie betonen, während McCarthy (1999) als Namensgeber und zentraler Begründer der AI-Disziplin genauso dreißig Jahre

⁵⁹ Mit Heidegger (1929: 28) gilt: »Philosophie – was wir so nennen – ist nur das In-Gang-bringen der Metaphysik, in der sie zu sich selbst und ihren ausdrücklichen Aufgaben kommt«, ohne Hvh. des Orig.

⁶⁰ Jenseits dieser Metaphern gilt: die Informatik verkörpert mit ihrem AI-Kern eine unmittelbar metaphysisch veranlagte Strukturwissenschaft und Technologie zur daten-, informations- und wissensbasierten Systemgestaltung. Sie fällt dabei unter die Disziplinen des cyber-physischen *Systems Engineering*.

⁶¹ Vgl. etwa Zambak (2014).

später noch die wesentliche Rolle der Metaphysik bzw. der dieser untergeordneten philosophischen Grundlagen unterstreicht: »AI shares many concerns with philosophy - with metaphysics, epistemology, philosophy of mind and other branches of philosophy«. ⁶² Wenngleich es sich mit McCarthys (1995) Frage nach dem für die AI-Disziplin (und damit für die Informatik insgesamt) adäquaten "*general world view*" andeutet, wird indessen im Grunde bis heute allgemein verkannt, dass in der Klärung der metaphysischen Basis nicht weniger als der eigentliche Ausgangspunkt der AI-Forschung, also ihr erster Schritt, bestehen muss. D.h. das Fundament muss gegossen sein, bevor Rohbau und Innenausbau in Angriff genommen werden; derweil hat es zumeist den Anschein, dass man den genau umgekehrten Weg einschlagen will. Indem gerade in der Informatik alles mit allem unmittelbar interdependent ist, sind solche Strategien allerdings früher oder später zum Scheitern verurteilt. Der erwähnte Status quo ist Spiegelbild dessen, dass man es von Anfang an versäumte, die Fundamente zu klären. McCarthys (1995) Hilfersuchen an die Philosophie wurde weder von dieser gehört noch vom überwiegenden Teil der AI-Disziplin registriert – oder im Ganzen verstanden. Dennoch ist einigen wenigen universal orientierten AI-Forschern wie Janlert (1987) die elementare Metaphysikproblematik der AI-Disziplin klar:

»AI has, on the whole, overlooked the importance of metaphysical deliberations, which has resulted in a proliferation of unpremeditated or ad-hoc metaphysical assumptions; metaphysical questions can be avoided, metaphysical commitments cannot.« ⁶³

Zweifelsohne ist der *systematische* metaphysische Diskurs unabdingbar; es muss also letztlich im Sinne der zehnten Kernthese um eine programmatische Verankerung der Metaphysik in Form der Digitalmetaphysik gehen. Denn tatsächlich bewegen sich *alle* fundamentalen Probleme der AI-Disziplin in den Tiefen der Metaphysik, und die Kontroversen um diese werden faktisch auch oft in dieser metaphysischen Natur gesehen: Etwa wenn es in der AI-Disziplin elementar um Aspekte geht wie Perzeption und Kognition, um das "Being-in-the-World", das sich bei Heidegger wie bei Whitehead findet, um Kybernetik und intelligente Materie, um das Wesen des Grundstoffs Information, oder um die Kausalität Cyber-physischer Systeme (CPS). Vielfach ist auch klar, dass diese metaphysische Natur schließlich die fundamentalen Strukturen aller Welten, insbesondere der Realität, insgesamt betrifft. Schon allein die Frage, ob die AI-Realität richtig als eine an *Ordinary Things* festmachende *Common Sense Reality* zu sehen ist, oder ob es dabei nicht vielmehr im Whitehead-Popperschen Sinne primär um *Kosmologie* gehen muss, ist letztlich eine metaphysische Frage. Wir teilen hier grundsätzlich Janlerts (1987) Position, wonach die zweite Option die richtige ist, und relativieren sie zugleich insofern, als die techno-wissenschaftlich verankerte Kosmologie *primär* ist, während es insgesamt gesehen um beides gehen muss. Denn natürlich gibt es soziale Artefakte, die es nur in der *Common Sense Reality* gibt, und gerade in IoP-Kontexten wie etwa dem *Social Web* von Relevanz sind. Dennoch deutet vor dem Hintergrund des Superintelligenzarguments alles darauf hin, dass

⁶² Vgl. McCarthy (1999: 72).

⁶³ Janlert (1987: 33).

die AI-Disziplin sich auf Dauer in dieser Sache fundamental umorientieren muss. Das wird natürlich nicht ohne weiteres passieren, denn das käme insofern einer wissenschaftlichen Revolution gleich, als man einsehen müsste, dass die Informatik auf tönernen Füßen steht.

Wenn die Informatik in der Realitätsfrage, die jedes *"Reality Computing"* mit sich bringt, primär auf die Stufe der *Kosmologie* gehoben werden muss, kommt dies der Einsicht gleich, dass alle bisherigen Denkgebäude vollständig eingerissen werden müssen, weil die Fundamente nicht richtig gelegt sind. Es stellt sich also nicht weniger als die gesamte Ontologiefrage neu, wobei dann nicht lediglich die semantischen Modelle betroffen sind, sondern ausgehend von der Realitätsfrage bei den konzeptuellen Modellen alle Modelle, alle Ansätze, Konzepte, Methoden, Sprachen und schließlich alle Systeme. Denn die Ontologie der Informatik steht heute fast ausnahmslos – und das komplett über all ihre Bereiche – lediglich in dieser *Common Sense Reality*; demgegenüber ist sie in den Ausnahmefällen, in denen dies nicht der Fall ist, genauso defekt. Dann geht es etwa bei B. Smith (BFO) zwar – im Sinne des defekten *Prinzips der Veridikalität* – um eine *wissenschaftlich orientierte Realitätsauffassung* oder – im Sinne des *Scientific Realism* qualitativ um einiges besser – in Anlehnung an die Metaphysik Bunes bei Wand/Weber (BWW) gar um eine *kosmologische Realität*. Doch ist diese jeweils im Kern 3D-endurantistisch, was wiederum direkt dem gemeinsamen neo-aristotelischen Grundstoff der Materie geschuldet ist. In beiden Fällen liegt Janlert (1987) insofern richtig, als es sich auch in dieser alles entscheidenden Sache um nicht mehr als um *metaphysische ad hoc Annahmen* handelt. In der erforderlichen Tiefe hinterfragt wurden sie bisher kaum,⁶⁴ während eigentlich gesunder Menschenverstand ausreicht um festzustellen, dass die Informatik weder mit einer *Common Sense Reality* noch mit einer im Sinne des Hylemorphismus am *Materiegedanken* festmachenden Realität richtig beraten sein kann. Wenn die Realitätsfrage alle Modelle, Ansätze und Methoden im *"Reality Computing"* der Informatik bestimmt, bedeuten solche *metaphysischen ad hoc Annahmen* mehr als nur schlechte wissenschaftliche Praxis. Sie sind schlichtweg inakzeptabel, wenn auf ihrer Basis elementare Dispositionen der Informatik falsch gesetzt werden. Denn die Informatik hat es beim *"Reality Computing"* seit Whitehead (1929a) mit *Cyber-physischen Systemen* (CPS) zu tun,⁶⁵ für die prinzipiell alle physikalischen Gesetzmäßigkeiten gelten. Diese Systeme sind zwingend als *komplexe Systeme* zu verstehen, die wiederum eine *emergentistisch-kausale Realitätsauffassung* voraussetzen, die in ihrer transdisziplinären Durchgängigkeit nur als *Kosmologie* begreifbar ist.

Metaphysik ist nicht optional; sie ist keineswegs bloß Sache der Universalinformatiker. Vielmehr kommt faktisch auch kein Fachinformatiker an ihr vorbei; denn sie ist im Grunde jedem einzelnen Problem der AI-Disziplin wie auch der Informatik im Ganzen inhärent. Wenn diese These stimmt, sollte die AI-Disziplin die richtigen Schlüsse ziehen; d.h. vollständig umdenken. Der Nachweis für diese These, über die wir erst zur Bewandnis der

⁶⁴ Eine der Ausnahmen bildet etwa J.H. Fetzer (1993a).

⁶⁵ Vgl. zur Charakteristika von CPS als vernetzte eingebettete IoT-Systeme Broy (2010: 22 f.).

Ontologie komplexer IoX-Systeme kommen können, wird im Folgenden am wohl bekanntesten, vermutlich wichtigsten wie *de facto* disziplinweit umkämpftesten AI-Problem dargelegt. Es geht dabei um das *Frame Problem*,⁶⁶ dessen unmittelbare Relevanz gerade auch für die Fachinformatiker dadurch unterstrichen wird, dass man auch hier anfänglich dachte, es ginge dabei um »the sort of glitch that the hackers will sort out by themselves«. ⁶⁷ Doch dann stellte sich alsbald heraus, dass es nur auf den ersten Blick um ein bloß formallogisches Problem geht, es sich in Wirklichkeit jedoch um ein AI-Tiefenproblem handelt. Das *Frame Problem* bezieht sich in KR-Hinsicht verallgemeinernd auf die Frage der internen Repräsentation einer sich durch Aktionen und Ereignisse wandelnden dynamischen Welt;⁶⁸ bei Einbezug *nichtrepräsentationaler* AI-Ansätze steht die AI-technologische Umsetzung situativ-kontextueller Agenteninteraktion in emergenten Umwelten in Frage. Somit umfasst das *Frame Problem* genauer besehen den eigentlichen Kern der AI-Disziplin. Dabei insistiert bereits Raphael (1971: 161) darauf, dass es nicht um irgendeine Lösung gehen könne, sondern dass eine *praktische* Lösung für dieses Problem zu fordern sei. Wenn deutlich wird, dass die letztliche Lösung dieses Problems zunächst die Lösung der grundlegenden AI-Metaphysikfrage voraussetzt, ist der pragmatische Charakter der Devise "*AI is metaphysics*" unterstrichen.

Das *Frame Problem* zeigt exemplarisch, dass sich keine einzige dauerhaft stabile AI-Technologie entwickeln lässt, ohne zunächst ihre metaphysische Basis geklärt zu haben. Diese metaphysische Bewandnis beginnt mit dem Umstand, dass in der AI-Disziplin bis heute umstritten ist, was das *Frame Problem* nun genau ist bzw. welche der faktisch bestehenden unzähligen Varianten die richtige ist. – Darauf gibt es eine einfache Antwort: es gibt nur ein *Frame Problem*, und das ist ein *metaphysisches* Problem, wobei es in seiner metaphysischen Natur als solches verschiedene Facetten besitzt. Dabei wurde nach und nach klar, dass es sich tatsächlich wohl um das facettenreichste AI-Problem handelt, was dann nachvollziehbar ist, wenn die adaptive Agent-Umwelt-Interaktion als abstrakter

⁶⁶ Wenn D. McDermott (1987b: 116) konstatiert: »The original frame problem is, in fact, of interest mainly to a fringe group, those who believe that logical analyses are relevant to building knowledge representations«, ist diese Position im Ganzen betrachtet zu revidieren. Sie ist einzutauschen gegen die Auffassung, dass keine *cyber-physische* AI-Technologie in *realitätsgerechter* Weise entwickelt werden kann, ohne zuvor das *Frame Problem* insgesamt gelöst zu haben. Bereits die Ausgangshypothese bei D. McDermott (1987c: 105) ist falsch, indem das *Frame Problem* im Wesentlichen auf den »*logicist* approach« reduziert ist und diesen dabei auf den Situationskalkül einschränkt. Der *Ereigniskalkül*, der einschließlich des Perzeptionsaspekts in einem metaphysischen Ganzen steht, zeigt als Lösung auf, dass das Verständnis des *Frame Problem* bei D. McDermott (1987b, 1987c) zu kurz greift. Wir teilen die Position mit Korb (1998: 318), dass es sich um ein *Kernproblem der AI-Epistemologie* handelt und das eigentliche Dilemma darin zu sehen ist, dass Hayes (1987) wie auch D. McDermott (1987b, 1987c) dem fundamentalen Irrtum aufgesessen sind, dass man dieses Kernproblem im engen formallogischen Rahmen des defekten *Situationskalküls* bzw. auf Basis des defizitären *Common Sense Reasoning* behandeln könne.

⁶⁷ Vgl. Hayes (1987: 126).

⁶⁸ Vgl. Hayes (1987: 124): »The frame problem arises when the reasoner is thinking about a changing, dynamic world, one with actions and events in it. [...] It only becomes an annoyance when one tries to describe a world of the sort that people, animals, and robots inhabit, in which things move around, in which the relations and properties which one seems to need in the representation are labile, alterable by actions and events; for example, a world in which things move from place to place. How can such a world be described?«.

Problemkern letztlich nahezu sämtliche AI-Aspekte betrifft. Somit wurde im Zeitablauf auch die universale Natur, die das *Frame Problem* im Ganzen besitzt, offensichtlich; dass es sich gleichzeitig um das universellste AI-Problem handelt, wird daran deutlich, dass dieses Problem nicht zuletzt gerade die *Artifizielle Intelligenz* als solche betrifft. Das zeigt sich schon bei Crockett (1994), der dafür votiert, den *Turing Test* im Lichte des *Frame Problem* zu interpretieren, um auf diese Weise zu einem tatsächlich sachgerechten AI-Verständnis gelangen zu können. Seine universale Natur zeigt sich indes auch daran, dass die meisten namhaften AI-Forscher wie AI-Paradigmen mindestens mittelbar, zumeist aber unmittelbar in die Debatte um das *Frame Problem* involviert sind. Seine metaphysische Veranlagung hat jedoch gerade auch damit zu tun, dass die eigentliche Dimension des *Frame Problem* erst mit dem "*Reality Computing*" offensichtlich wird. Im Sinne von Hayes' (1979) ist es gerade nicht als "*toy problem*" behandelbar; es lässt sich genauso wenig auf eine virtuelle Realität beschränken. Vielmehr handelt es sich um ein Problem der "*nontoy worlds*"; es betrifft die Frage der Adaption von AI-Agenten in der Realität und damit unmittelbar die Cyber-Physik. Mit direkt in die physische Realität eingebetteten kognitiven Agenten steht somit ein neues *realitätsbezogenes* AI-Verständnis (RAI) im Fokus.

Die These, dass das *Frame Problem* im Kern ein *metaphysisches* Problem ist, wird nicht nur partiell geteilt,⁶⁹ sondern sie wird auch mit Blick auf seine Originalfassung bei McCarthy/Hayes (1969) offensichtlich. Denn schon dort geht es im Ganzen betrachtet um die explizite Frage *metaphysisch und epistemologisch* adäquater Repräsentationen, wobei im Sinne metaphysischer Dispositionen die Epistemologie der Metaphysik immer nachgeordnet ist. Indem Hayes (1987) Wert darauf legt, dass das *Frame Problem* in seiner eigentlichen *engen* Fassung verstanden wird, ist *im engeren Sinne* eines *technisch-formallogischen* Detailproblems von einem *Frame Problem I* und *im weiteren Sinne* eines *metaphysischen* AI-Gesamtpblems von einem *Frame Problem II* zu sprechen.⁷⁰ Ford/Hayes (1990: vi) übernehmen implizit auch die Differenzierung zwischen "*narrow frame problems*" und "*broader frame problems*", wie sie sich bei Haugh (1990: 268 ff.) findet, und grenzen das *Frame Problem* entsprechend ab:

»This problem of how to give general rules specifying what things don't change when an action happens is traditionally called the 'frame problem,' and continues to be called this in the technical AI literature. More recently, this term has come to be used to refer to this whole complex of problems, and maybe others: that is, to the general problem of stating 'laws of motion' which adequately describe the world in which an agent acts, that allow sensible inferences to be made about the likely consequences of performing an action.«⁷¹

Wenngleich das *Frame Problem I* sich auf die enge formallogische Auslegung gemäß Hayes (1987) bezieht, liegt es demgegenüber nahe, dieses auf Basis seines Logikkalküls im Zeichen des metaphysischen Logizismus (in diesem Fall: der *Commonsense Metaphysics*)

⁶⁹ Vgl. Janlert (1985, 1987); vgl. dazu auch Fodor (1987), H.L. Dreyfus (2007) sowie Gryz (2013).

⁷⁰ Diese Differenzierung erscheint schlüssiger als jene bei Elgot-Drapkin et al. (1987), indem das *Frame Problem* letztlich nur *ein* Problem sein kann; ferner geht es in Hinsicht auf die philosophischen Fragen weder allein um ein *konzeptuelles* Problem noch um ein *Commonsense Frame Problem* (CFP), da die Adäquanz einer bloßen *Common Sense Reality* ebenfalls auf den metaphysischen Prüfstand gehört.

⁷¹ Ford/Hayes (1990: vi).

zu behandeln; das *Frame Problem II* (i.w.S.) ist dann insgesamt unter die Devise "AI is metaphysics" zu stellen. Im Sinne der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik kann es nur dann um *ein* Problem gehen, das sich vollumfänglich in kohärenter Weise behandeln lässt, wenn es einen gemeinsamen Kern gibt. Entsprechend ist das *Frame Problem I* in das *Frame Problem II* (i.w.S.) inkorporiert, indem es gerade bei der Digitalmetaphysik um einen metaphysischen Logizismus geht, während die Wahl des Logikkalküls ohnehin metaphysisch bestimmt ist. Zudem läuft eine Weltbeschreibung immer auf Metaphysik hinaus, selbst wenn es sich dabei bloß um die deskriptive *Natural Language Metaphysics* bzw. *Commonsense Metaphysics* ("naive Metaphysics") handelt. Mit der Weltbeschreibung bei Ford/Hayes (1990) ist man insofern zwangsläufig auf der metaphysischen Ebene; es stellt sich dann allein die davon losgelöste Frage nach der für die Informatik adäquaten Metaphysik, die im vierten Teil im Einzelnen aufgegriffen wird.

Um das *Frame Problem* zu verstehen, sind faktisch beide Aspekte des einen Problems von Relevanz; denn sie finden sich bereits in dieser Kombination bei McCarthy/Hayes (1969), indem der *Situationskalkül* (SC) explizit vor dem Hintergrund *metaphysisch und epistemologisch* adäquater Repräsentationen erörtert wird.⁷² Indem der SC-Ansatz dabei nur eine der denkbaren Lösungen solcher adäquaten Repräsentationen markiert, ist das *Frame Problem* auch im ganzen Zusammenhang zu sehen: Während sein Ursprung bei McCarthy/Hayes (1969) im technischen Detailproblem liegt, besteht seine Lösung entsprechend im ganzen Spektrum der Metaphysik. Vor diesem Hintergrund lassen sich fünf Gründe anführen, warum es wenig sinnvoll ist, sich wie Hayes (1987) rein auf das Ursprungsproblem fokussieren zu wollen: (i) selbst die *technische* Lösung findet sich nicht im technischen Detailproblem bei McCarthy/Hayes (1969); das Problem liegt im *Situationskalkül* (SC) als solchem, während die Frage des alternativen Logikkalküls mit dem *Ereigniskalkül* (EC) in fundamentaler Hinsicht eine metaphysische ist; (ii) die dynamischen Systeme wie der »naive, common-sense view of the world«,⁷³ auf denen letztlich die ganze SC-Problematik im Sinne einer vollständigen Beschreibung globaler Weltmodelle bei McCarthy/Hayes (1969) gründet, sind mit einem modernen AI-Verständnis unvereinbar. Heute geht es vielmehr um *komplexe Systeme*, emergentistischen Wandel und um "Reality Computing"; wenn McCarthy/Hayes (1969) an sich und McCarthy (1977: 1044) auch explizit auf ein *realistisches* AI-Verständnis zielen, dann geht es im Sinne McCarthy (1995) um die Frage der allgemeinen Weltauffassung – und diese gehört faktisch in die Domäne der Metaphysik; (iii) dabei liegt die *konzeptuelle* Lösung des *Frame Problem*

⁷² Natürlich stellt sich die metaphysische und epistemologische Frage genauso bei *nichtrepräsentationalen* AI-Ansätzen; diese müssen zudem den Nachweis erbringen, inwiefern sich das *Frame Problem* tatsächlich *vollständig* nichtrepräsentational lösen lässt, wenn es beim *Frame Problem II* etwa auch um den Aspekt objektiven Wissens bzw. um *Scientific Ontologies* geht. Dabei sind in emergentistischen Prozessen nicht zuletzt auch naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten zu berücksichtigen.

⁷³ Vgl. McCarthy/Hayes (1969: 467).

auch insgesamt außerhalb der GOFAI-Tradition in einem neuen AI-Verständnis,^{74, 75} das metaphysisch diametral anders disponiert ist und somit eine umfassende metaphysische Debatte unvermeidlich werden lässt; (iv) McCarthy (1977: 1040) sieht das *Frame Problem* selbst explizit lediglich als "subcase" dessen, was er als "*qualification problem*" bezeichnet. Dieses betrifft wiederum die Frage, »how to express the preconditions for actions and other events«. ⁷⁶ Dabei läuft dies einerseits implizit auf AI-Ontologien hinaus, andererseits sind solche Vorbedingungen immer situativ bzw. kontextuell bestimmt und stehen damit in einem metaphysischen Ganzen;⁷⁷ (v) indem das *Frame Problem* ausgehend von seinem engen Verständnis unter den verschiedensten Aspekten *faktisch* in einem weiten Verständnis erörtert wird, können die inzwischen umfassenden Debatten kaum negiert werden. Dabei sind diese vielfältigen Aspekte gerade auch unter praktischem Gesichtspunkt in eine Ordnung zu bringen, und diese lässt sich allein dann realisieren, wenn das große Ganze, d.h. ihr metaphysischer Zusammenhang gesehen wird. Denn alle Aspekte hängen im metaphysischen Ganzen unmittelbar zusammen, indem am Ende der Klärung der fundamentalen Strukturen der Realität eine in sich konsistente Weltauffassung stehen muss.

Wie analog bei allen anderen fundamentalen AI-Problemen zeigt sich bereits vor diesem Hintergrund, dass das *Frame Problem* als AI-Kernproblem nur auf den ersten Blick ein rein technisches, d.h. formallogisches Detailproblem verkörpert, während es sich bei genauerer Analyse in Wahrheit als *metaphysisches* Problem entpuppt. Denn das Detailproblem existiert nur deshalb,⁷⁸ weil die metaphysischen Dispositionen falsch gesetzt sind.

⁷⁴ Haugeland (1985) spricht bei den symbolischen AI-Ansätzen von *Good Old-Fashioned Artificial Intelligence* (GOFAI). Mit H.L. Dreyfus (1998) geht es dabei nicht um eine bestimmte Strömung, sondern im Grunde um alle klassischen KR-Ansätze.

⁷⁵ Das ist hier insofern von Relevanz, als gerade im *perzeptiven* Zusammenhang des *Frame Problem* etwa mit Pollock (1997) deutlich wird, dass die eigentliche *konzeptuelle* Lösung dieses Problems ein Neuverständnis der AI-Technologien als solche erfordert.

⁷⁶ Vgl. McCarthy (2000: 49).

⁷⁷ Bei McCarthy (1993) besteht diese situative bzw. kontextuelle Vorbestimmtheit noch im Sinne des *Common Sense*; wenn mit McCarthy (1977) das eigentliche AI-Ziel indes in einem *realistischen* AI-Verständnis liegt, muss es auch faktisch um eine realistische, d.h. *cyber-physische* Vorbestimmtheit gehen.

⁷⁸ Das ursprüngliche *Frame Problem* i.e.S. gründet bei McCarthy/Hayes (1969) unmittelbar im *Situationskalkül* (SC) und erstreckt sich dabei über folgende sechs Formalismusaspekte epistemologisch adäquater AI-Systeme: (i) *Situations*, (ii) *Fluents*, (iii) *Causality*, (iv) *Actions*, (v) *Strategies*, (vi) *Knowledge/Ability*. Indessen geht nicht nur der Situationskalkül auf McCarthy (1963b) zurück, sondern auch die Terme *Fluents* und *Frame*. Dabei repräsentiert ein *Fluent* eine Bedingung, die sich im Zeitablauf ändern kann. Damit sind *Fluents* für die Beschreibung des Wandels dynamischer Systeme unerlässlich, wobei dieser in den GOFAI-Ansätzen im einfachsten Sinne zu verstehen ist, etwa in der räumlichen Verschiebung bestimmter Gegenstände, womit diese zu bestimmten Zeitpunkten eine andere Position einnehmen. Entsprechend besteht eine direkte Beziehung zwischen den ersten vier genannten Aspekten. Wenn eine *Aktion* etwa eine Situation s_1 in eine Situation s_2 überführt, dann ändert sich entsprechend der Zustandsvektor, den ein *Frame* mit McCarthy (1963c) repräsentiert. Aktionen sind kausal wirksam, und einzelne Aktionen können zu *Strategien* verknüpft werden. Demgegenüber ist *Wissen* als Handlungswissen deklariert, und direkt mit dem Vermögen verknüpft, über ausgewählte Aktionen bestimmte Ziele zu erreichen. Ausgangspunkt für das *Frame Problem* i.e.S. sind nun die Änderungen, die sich aus Aktionen bzw. Handlungen des Agenten ergeben: »A number of fluents are declared as attached to the frame and the effect of an action is described by telling which fluents are changed, all others being presumed unchanged«, vgl. McCarthy/Hayes (1969: 487). Das eigentliche Problem stellt sich dann insofern, als auf Basis formaler Logik das beschrieben werden muss, was sich wandelt, jedoch genauso all das, was sich gerade *nicht* ändert: »If we had a number of actions to be performed in sequence, we would have quite a

Insofern basiert nicht nur seine konzeptuelle, sondern letztlich auch seine sachgerechte technische Lösung auf der Setzung tatsächlich adäquater metaphysischer Dispositionen. Damit zusammenhängend gründet das eigentliche Problem bereits in der – metaphysisch bestimmten – Wahl des Logikkalküls selbst, indem der *Situationskalkül* (SC) auf eine Beschreibung *globaler Situationen* hinausläuft. Und erst durch diesen Beschreibungsversuch ist das Ineffizienzproblem bedingt. Es gilt also: »The frame problem is a special case of the *Problem of Complete Description* (PCD)«. ⁷⁹ Dabei braucht man auf das für McCarthy/Hayes (1969: 487) noch offene technisch-formallogische Detailproblem, also auf das *Frame Problem* i.e.S., deshalb nicht im Einzelnen einzugehen, weil es durch eine Neubestimmung fundamentaler Fragen als allgemein gelöst gilt: McCarthy (1988) räumt ein, dass das Problem im *Situationskalkül* (SC) selbst, d.h. in der Wahl eines falschen Kalküls liegt:

»The situation calculus [...] has important known limitations. The *result(e, s)* formalism [...] has to be modified to handle continuous time. A quite different formalism is needed for expressing facts about concurrent events. The *event calculus* (Kowalski & Sergot, 1986) is a candidate for meeting both of these requirements.« ⁸⁰

Etwas detaillierter betrachtet bestehen zwei Lösungsstränge mit je zwei Lösungen: ⁸¹ der entscheidende Lösungsstrang besteht im *Event Calculus* von Kowalski/Sergot (1986), der später durch Shanahan (1995, 1997) als *Circumscriptive Event Calculus* wieder stärker in Richtung der *Circumscription* bei McCarthy (1980) gebracht wird, indem *Situationen* in den Ereigniskalkül wiedereingeführt werden. ⁸² Der zweite, jedoch für die AI-Zukunft letztlich unbedeutende Lösungsstrang versucht den *Situationskalkül* (SC) selbst weiterzuentwickeln; darauf zielen die *Successor State Axioms* bei Reiter (1991) sowie der darauf aufsetzende *Fluent Calculus* Thielschers (1999). Dass die Wahl des Logikkalküls letztlich indessen auf metaphysischen Dispositionen basiert wird dann greifbar, wenn im Folgenden deutlich wird, dass die *primäre* SC-Kategorie die *Aktivität*, und nicht das *Ereignis* ist. Auch bzgl. dieser Umkehrung sollte man nicht meinen, dass es sich lediglich um ein technisches Detail handelt; richtig ist vielmehr, dass dahinter disparate Metaphysiksysteme stehen, die gerade im Hinblick auf kognitive Agenten einschließlich fundamentaler epistemologischer Annahmen größte Unterschiede aufweisen. Wenn die Lösung in der Wahl eines anderen Logikkalküls, namentlich des *Ereigniskalküls* (EC) liegt, dann ist das *Frame*

number of conditions to write down that certain actions do not change the values of certain fluents. In fact with n actions and m fluents we might have to write down mn such conditions«, vgl. McCarthy/Hayes (1969: 487). Der Kern des *Frame Problem* i.e.S. besteht somit in dem großen Aufwand all das formallogisch zu beschreiben, was es als *Nicht-Effekte von Aktionen* ebenso zu berücksichtigen gilt. Das Erfordernis entsprechender "frame axioms" »presented a serious problem because there was no limit to how many of them might be required in a reasonably complex world, and hence to the number of inferences concerning non-change that would have to be made – after all, think of all the things in the world that *do not* change when you take a step across the room«, vgl. Pylyshyn (1987: ix). Nochmals zusammengefasst gilt entsprechend mit McCarthy (2000: 49): »The *frame problem* concerns how to express the facts about the effects of actions and other events in such a way that it is not necessary to explicitly state for every event, the fluents it does not affect«, Hvh. des Orig.

⁷⁹ Vgl. Van Brakel (1992), ohne Hvh. des Orig., Hvh. des Verf.

⁸⁰ McCarthy (1988: 247).

⁸¹ Vgl. zu den prinzipiellen Lösungsmöglichkeiten auch Shanahan (2003: 148 f.).

⁸² Diese beiden wesentlichen Ansätze werden bei Morgenstern (1996) übersehen.

Problem offenbar nicht nur ein *repräsentationales*, d.h. ein formallogisches Problem. Vielmehr verkörpert es vor allem auch ein *epistemologisches* Problem.^{83,84} Epistemologie ist dabei immer Teil der Metaphysik, indem letztere erst alle relevanten Dispositionen für das erkennende Subjekt setzt, wie es etwa am Gegensatz zwischen Cartesischer und Heideggerscher Metaphysik ersichtlich wird, die kontradiktorische Epistemologien implizieren. Wenn es schon bei McCarthy/Hayes (1969) um *metaphysisch und epistemologisch* adäquate Repräsentationen geht, folgt daraus, dass auch hier zunächst die Frage der Metaphysik als solche zu klären ist. Mit McCarthy (1995) wird das ein Vierteljahrhundert später indirekt eingeräumt, wobei es bis heute keine wirkliche Antwort auf diese Frage gibt.

Noch klarer wird die Richtigkeit der Metapher "*AI is metaphysics*" insofern, als die hier exemplarisch bemühte AI-Debatte auch explizit auf den Grundlagen der Metaphysik geführt wird. In seiner breiten Fassung wird das *Frame Problem* im Zuge der GOFAI-Kritik durch H.L. Dreyfus (1965) noch vor seinem eigentlichen Ursprung bei McCarthy/Hayes (1969) vorweggenommen. Auch später sehen H.L. Dreyfus (1991: 119) bzw. M. Wheeler (1995: 68; 2005b: 175 ff.) das ursprüngliche *Frame Problem* zu Recht als Altlast jener ontologischer bzw. epistemologischer Annahmen, die unmittelbar auf die Cartesische Metaphysik weisen. Im Sinne des *Frame Problem II* sehen sie die eigentliche Lösung dieses Problems *de facto* in einer anderen Metaphysik, konkret in der Heideggerschen. Analog dazu vertritt auch Kiverstein (2012: 5) die Ansicht, dass selbst das eigentliche *Frame Problem* letztlich auf fehlerhafte metaphysische und epistemologische Annahmen zurückgeht. So ist es faktisch: Denn die GOFAI-Protagonisten zeigen sich implizit dem Cartesischen Metaphysikverständnis und insbesondere seiner Subjekt-Objekt-Dichotomie verhaftet.⁸⁵ Selbst wenn bei McCarthy/Hayes (1969) am Rande von Agenten die Rede ist, geht es dabei nicht um interne Repräsentationen, die in unmittelbarer dynamischer Interaktion mit der Umwelt selbst dem Wandel unterliegen. Vielmehr besteht die eigentliche Idee darin, die Weltsicht bzw. das Agentenverhalten *a priori* zu programmieren. Und diese Vorprogrammierung macht die eigentliche Subjekt-Objekt-Dichotomie aus. Doch nicht nur insofern entspricht das *Frame Problem I* implizit der Cartesischen Metaphysik. Vielmehr kann im Ganzen davon insofern ausgegangen werden, als eine mechanistische Sicht auf dynamische Systeme und eine objektzentrisch-geometrische Perspektive im Zeichen des *Common Sense* eingenommen wird. Entsprechend ist die Metaphysik hier natürlich weder eine Heideggersche noch eine Whiteheadsche. Demgegenüber wird erste explizit auf das *Frame Problem II* bezogen,⁸⁶ während allein auf Basis von letzterer die Totallösung des *Frame Problem* möglich wird, indem sich nur mit dieser die Cyber-Physik begründen lässt.

Vor diesem Hintergrund erscheint es nicht unproblematisch, wie Hayes (1987: 123) die Verallgemeinerung des *Frame Problem* zu kritisieren und seine Einschränkung auf das

⁸³ Vgl. dazu auch Janlert (1996) sowie S. Hendricks (2006).

⁸⁴ Eine solch *epistemologische* Position findet sich z.B. bei D.C. Dennett (1984) oder Haugeland (1987).

⁸⁵ Vgl. dazu auch Kenaw (2008) sowie Kiverstein (2012: 5 f.).

⁸⁶ Vgl. etwa M. Wheeler (2005b, 2008a) sowie H.L. Dreyfus (2007).

Ursprungsproblem zu fordern. Das gilt nicht nur mit Blick auf den Lösungsansatz bei Kowalski/Sergot (1986), sondern vor allem deshalb, weil die eigentlichen Probleme genau in der Weise bestehen, wie sie in erweiterten Fassungen des *Frame Problem* als Problem der internen Repräsentation einer sich wandelnden Welt faktisch auch in umfassender Weise erörtert werden. Indem Hayes (1987: 123) umgekehrt zuzustimmen ist, dass das Ursprungsproblem nicht verwässert werden sollte, ist eine genauere Kennzeichnung gerade auch in Bezug auf die verschiedenen Problemspezifikationen erforderlich: Während das *Frame Problem I* (i.e.S.) als *formallogisches* Detailproblem gelöst gilt, kann dies in Bezug auf das *Frame Problem II* (i.w.S.) als *metaphysisches* Gesamtproblem in keiner Weise behauptet werden. Definieren lässt es sich allein in einer abstrakten Weise, nämlich als metaphysisches Problem der internen Repräsentation einer wandelnden Außenwelt, was *nicht-repräsentationale* Alternativen als komplementäre wie substitutive Lösungen einschließt. Es gilt dann mit R.A. Morris (1993): »The Frame Problem concerns the representation of knowledge in a changing world«, wobei diese Position unmittelbar mit McCarthy/Hayes (1969) kompatibel ist. Dabei weist dieses Generalproblem die unterschiedlichsten Facetten etwa im Hinblick auf die Realitätsauffassung als solcher, auf Kognition, die Agententheorie, Epistemologie, Wissensontologie und Semantik, bis hin zum Logikkalkül auf. Entsprechend kann keine einzige dieser Facetten isoliert behandelt werden, wie es etwa in Bezug auf den Aspekt der Kognition oftmals geschieht. Vielmehr sind es Facetten eines metaphysischen Ganzen, die sich entsprechend allein auf Basis eines metaphysischen Totalentwurfs sachgerecht behandeln lassen.

Gewiss liegt J.H. Fetzer (1993a) richtig, wenn er darauf insistiert, dass es nicht um die Frage der formallogischen Repräsentation des Wandels gehen kann, wenn das Problem des Wandels als solches ungeklärt ist. So gesehen ist die Position von Hayes (1987: 123) nicht haltbar; denn faktisch ist das *Frame Problem I* (i.e.S.) in das *Frame Problem II* (i.w.S.) inkorporiert.⁸⁷ Tatsächlich sollte die inzwischen stark ausdifferenzierte Debatte um das *Frame Problem* im Ganzen in genau dieser Weise gesehen werden, denn anders lässt sie sich in keiner Weise ordnen. Diese eigentliche Ausdifferenzierung des Problems beginnt mit Minsky (1974), der *Frames* unter dem Detailaspekt der Semantikstruktur des Wissens fasst. Auch in anderen Beiträgen, etwa bei Haugeland (1987) wird das *Frame Problem* mit der *Semantik* assoziiert, wobei natürlich auch die Semantik immer metaphysisch bedingt ist. Doch hat Minsky (1974) mit dieser Ausdifferenzierung tatsächlich zur Konfusion in der Debatte um das *Frame Problem* beigetragen, wie es McCarthy (1977: 1040) bemängelt? – Im Sinne des *Frame Problem II* gewiss nicht, denn es geht schon bei McCarthy/Hayes (1969) im Kern um *metaphysisch* wie *epistemologisch* adäquate Repräsentatio-

⁸⁷ Betrachtet man das *Frame Problem* unter dem Aspekt des weiter unten aufgegriffenen "*Metaphysical Engineering*", dann stellt letzteres lediglich die technische Effizienzfrage, während es beim *Frame Problem II* um die strategische Effektivitätsfrage geht. Wenn Hayes (1987) auf eine alleinige enge Auslegung im Sinne des *Frame Problem I* insistiert, dann kommt dies indirekt einer Beschränkung der AI-Frage auf die Effizienzaspekte gleich, womit übersehen wird, dass diese erst im tatsächlich effektiven AI-Paradigma gestellt werden sollte; sie ist also immer nur nachgeordnet.

nen, während das *Frame Problem* bloß eine Detailfrage davon bildet. Dabei ist J.H. Fetzer (1993a) auch in einem anderen, nicht minder entscheidenden Punkt zuzustimmen, der wiederum letztlich auf Minskys (1974) Semantikaspekt weist. Denn auf Basis ihres Situationskalküls meinen McCarthy/Hayes (1969), dass das *Frame Problem* eines des "*common sense*" sei. In Wirklichkeit aber verhält es sich insofern völlig anders, als realer Wandel *primär* allein auf Basis *wissenschaftlichen* Wissens verstanden werden kann, indem es sich etwa in physischer Hinsicht um eine kausale Konsequenz der Wirkung jener Sachverhalte handelt, die durch die Naturgesetze beschrieben werden. Demgegenüber ist *Common Sense* für *diese* Aufgabe keinesfalls ausreichend. Indem das letztlich ähnlich in Bezug auf die soziale Welt gilt, bleibt insgesamt die primäre Rolle echter *Scientific Ontologies* hervorzuheben, also dessen, was es in der gegenwärtigen AI-Ontologieforschung in dieser Form noch gar nicht gibt. *Common Sense* ist demgegenüber immer nur sekundär; er dient entweder der Vereinfachung oder bezieht sich auf soziale Artefakte, die spezielle Entitäten der Alltagsrationalität im Sinne eines objektiven Idealismus darstellen.

Die Positionen von Hayes wie McCarthys erscheinen in dieser Sache nicht immer konsistent; bei Hayes (1973) geht es etwa einerseits explizit um *Interaktionen* mit *komplexen Welten* und *wissenschaftlichen* Gesetzmäßigkeiten;⁸⁸ andererseits will Hayes (1990) es gerade mit einfachen Umwelten zu tun haben,⁸⁹ während Hayes (1979, 1985a, 1985b) ein ausgewiesener Verfechter des *Common Sense* ist. Eine Erklärung für diese Inkonsistenz findet sich bereits bei McCarthy/Hayes (1969): die Strategie sieht vor, zunächst den einfacheren *Common Sense* zu behandeln, um dann zu schwieriger zu handhabenden wissenschaftlichen Belangen vorzustoßen, wie sie etwa zur Behandlung kausaler Realitätsfragen erforderlich werden. Eine solche Strategie mag in den AI-Anfängen durchaus berechtigt und richtig gewesen sein; allerdings geht sie im *cyber-physischen "Reality Computing"* des IoX-Hyperspace nicht mehr auf. Denn dann muss es umgekehrt zunächst um die kausalen Realitätsfragen gehen, womit die *revisionäre* Metaphysik zwingend wird. Demgegenüber wird beim späteren Hayes auf diese Strategie gänzlich verzichtet; vielmehr kommt es nun im unmittelbaren Kontext des *Frame Problem* zum Streit zwischen zwei fundamentalen Positionen, dem "*automating common-sense reasoning*" vs. "*automating scientific reasoning*".⁹⁰ Dabei vertreten Hayes/Ford explizit die erste,⁹¹ und J.H. Fetzer explizit die zweite Position,⁹² während sich auch Dritte in diese intensiv geführte Detaildebatte einschalten.⁹³

⁸⁸ Vgl. Hayes (1973: 45, 47): »The frame problem arises in attempts to formalise problem-solving processes involving interactions with a complex world. It concerns the difficulty of keeping track of the consequences of the performance of an action in, or more generally of the making of some alteration to, a representation of the world. [...] The frame problem can be briefly stated as the problem of finding adequate collections of laws of motion«.

⁸⁹ Vgl. Hayes (1990: 234): »The point of the frame problem is that in the sort of environment we are trying to describe, almost everything *doesn't* change during almost every temporal interval. [...] Surely there must be some compact and principled way of avoiding having to state all this, of saying, in effect, that things are just normally quiet and uninteresting. That is the frame problem«, Hvh. des Orig.

⁹⁰ Diese Bezeichnungen finden sich bei K.B. Korb (1998: 348, Fn. 25).

⁹¹ Vgl. Hayes (1987, 1990), Ford/Hayes (1990) sowie Hayes/Ford (1992, 1993a, 1993b, 1993c).

⁹² Vgl. J.H. Fetzer (1990b, 1990c, 1993a, 1993b).

Zwar wird bei McCarthy/Hayes (1969) beides thematisiert, doch steht das eigentliche Ursprungsproblem als technisches *Frame Problem I* allein im Zeichen des *Common Sense*. In epistemologischer Hinsicht, um die es bei McCarthy/Hayes (1969) im Sinne der Frage *epistemologisch adäquater Repräsentationen* explizit geht, ist diese Fixierung jedoch eigentlich illegitim. Denn um zu klären, was epistemologisch adäquate Repräsentationen konkret sind, müssen alle Alternativen berücksichtigt werden. Insofern muss es bereits zur vollständigen Behandlung des Ursprungsproblems auch immer um das *Frame Problem II* gehen. Letztlich ist es das, worauf die Position Fetzers (1990b) zielt. Hayes' (1990) Replik, wonach das *Frame Problem* nichts mit dem *Problem der Induktion* zu tun habe, ist insofern weder zielführend noch richtig. Vielmehr wird deutlich, dass das *Frame Problem* den eigentlichen AI-Kern im Sinne *adaptiver Intelligenz* unmittelbar berührt, während umgekehrt der eigentliche Kern des *Frame Problem* im Ganzen und entsprechend seine Definition in dieser Sache zu sehen ist. Wenn L.A. Stein (1990) die Definitionsfrage stellt,⁹⁴ dann definieren wir das *Frame Problem* im universalen AI-Sinne wie folgt: Das *Frame Problem* zielt auf die praktische AI-Umsetzung adaptiver Intelligenz bei situativ-kontextuell in die emergentische cyber-physische Realität eingebetteten interagierenden Agenten.

Während viele jüngere Definitionen im Versuch einer allgemeinen Sicht auf das *Frame Problem* am eigentlichen Ursprungsproblem mehr oder weniger komplett vorbeigehen,⁹⁵ absorbiert diese Definition das *Frame Problem I* und konkretisiert und universalisiert dabei die eigentliche Herausforderung, mit der die AI-Disziplin in elementarer Weise konfrontiert ist. Gleichzeitig erscheint sie genauer bzw. aussagekräftiger als anerkannte Definitionen zum *Frame Problem II*, etwa jener M. Wheelers (2008a), indem sie das *Frame Problem* wieder explizit in die AI-Disziplin zurückholt und dezidiert auf ihre Belange ausrichtet.⁹⁶ In der erweiterten Perspektive werden die relevanten Sachverhalte des *Frame Prob-*

⁹³ Vgl. Van Brakel (1992, 1993), W.J. Freeman (1992), Grush (1993), Harnad (1993) sowie R.A. Morris (1993).

⁹⁴ Vgl. L.A. Stein (1990: 371): »General agreement on a definition of the 'frame problem' is harder to come by than the Holy Grail«.

⁹⁵ Vgl. exemplarisch die mangelhaften Definitionen bei Haugeland (1985: 204) oder Xu/Wang (2012: 43).

⁹⁶ Für M. Wheeler (2008a: 324) gilt: »*the frame problem* is the difficulty of explaining how non-magical systems (machines like us) think and act in ways that are adaptively sensitive to context-dependent relevance«, Hvh. des Orig. Damit fehlen bei Wheeler jedoch eine Reihe entscheidender Aspekte: das ist die Realitätsfrage (und damit der Aspekt kausalen Wandels der Realität einschließlich diesbezüglichem objektiven Wissens im Sinne von J.H. Fetzer (1990b, 1993a) bzw. K.B. Korb (1998)), die verschiedene Adaptionenleistung disparater Agentenklassen, oder die MAS-Problematik, die etwa in IoV-Kontexten eine synchrone Adaption einfordert. Vor diesem Hintergrund gilt, dass das *Frame Problem* nur dann als solches bezeichnet werden sollte, wenn es einen unmittelbaren AI-Bezug aufweist; es ist also in unserer Sicht – unter *dieser* Bezeichnung – kein kognitionswissenschaftliches Problem als solches. Vielmehr ist es elementar als *metaphysisch zu verankerndes AI-Problem* zu behandeln, bei dem es dann auch um die Adaptionenfrage menschlicher Agenten geht. Wesentlich für die AI-Disziplin ist die Abgrenzung der Agentenklassen, indem es auch Adaptionenleistungen einfacher Agenten gibt, die im Leibniz-Whitehead'schen Sinne allein der Perzeption, nicht der Kognition unterliegen. Entsprechend ist im Sinne von J.J. Gibson (1979) in der AI-Disziplin eine Trennung von *Perzeption* und *Kognition* erforderlich, die in den Kognitionswissenschaften keinesfalls selbstverständlich ist. Insofern liegen die Fragen und Perspektiven anders, wenn es beim *Frame Problem* dezidiert um eine *AI-Problematik* geht, die als AI-Kernproblem einer sachgerechten Annäherung bedarf. So gesehen ist die Kritik bei Hayes (1987) an den teils

lem aus dem Grunde unübersichtlich, als es dann um alle metaphysischen bzw. der Metaphysik nachgelagerten Aspekte geht. Schon allein aus Kohärenzgründen ist die ganze Debatte entsprechend auf ein konkretes Metaphysiksystem zu beziehen; wie oben dargelegt, stellt sie sich etwa in der Perspektive der Cartesischen Metaphysik völlig anders dar als in jener der Heideggerschen Metaphysik. Und so verhält es sich generell. Das betrifft etwa die Realitätsfrage als solche, die Frage des realen Wandels, das Kausalitätsproblem, Perzeption, Kognition, Epistemologie und Adaption einzelner Agentenklassen und ihren bestehenden Unterschieden. Dann aber muss es auch um all das gehen, was insbesondere J.H. Fetzers Sicht auf das *Frame Problem* bestimmt, nämlich um das Problem der Induktion,⁹⁷ um die Natur des Wissens, insbesondere um die besondere Natur *wissenschaftlichen* Wissens,⁹⁸ bis hin zum unter Pkt. 3.5 aufgegriffenen Gettier-Problem als zentralem epistemologischen Problem.⁹⁹ Insofern liegt der auf den ersten Blick belanglose Epilog von Hayes/Ford/Agnew (1996: 136) ungewollt richtig. Denn tatsächlich gilt: "the problem is everything" bzw. ist es "about everything", wobei Glymour/Ford/Hayes (2000: 113) den Kern genauso selbst auf den Punkt bringen, indem sie konstatieren: "*AI is philosophy*".

Kein Aspekt des *Frame Problem* im Ganzen ist ohne die Klärung der Metaphysikfrage einschließlich entsprechender epistemologischer Aspekte sachgerecht beantwortbar. Demzufolge sind zunächst der metaphysische Standpunkt und somit schließlich die Frage der für die Informatik adäquaten Metaphysik als solche zu klären, bevor *adäquate* Aussagen zu einem der durch das *Frame Problem* berührten Aspekte möglich werden. Selbst der Streit um das "*automating common-sense reasoning*" vs. "*automating scientific reasoning*" lässt sich in keiner Weise ohne die vorherige Klärung der Metaphysikfrage angehen. Denn hinter der *Commonsense Metaphysics* ("naive Metaphysics"), die mit erster Position verbunden ist, steht unmittelbar die *deskriptive* Metaphysik, während die letzte Position letztlich genauso unmittelbar auf die *revisionäre* Metaphysik hinausläuft. Hayes/Ford entscheiden sich für erste mit dem Argument, dass es das sei, was *menschliche* Agenten vollzögen, womit für sie gilt: »Our aim is more like that of psychology: it's focus is not the world, but people's everyday beliefs about the world«. ¹⁰⁰ Natürlich ist diese Prämisse sowohl in ihrer Ausschließlichkeit falsch als vor allem auch im Schluss, dass die Intelligenz *maschineller* Agenten in genau der Art zu veranlassen ist wie jene menschlicher Agenten in Bezug auf ihren Alltagsverstand. Das widerspricht nicht nur dem Superintelligenzargument,¹⁰¹ um das es bei Hayes/Ford *de facto* auch nicht geht; vielmehr kann das AI-Verständnis in Bezug auf die Echtzeitanforderungen der Cyber-Physik nicht in dieser Weise verstanden werden.

ausufernden Auffassungen zu seinem Gegenstand nicht ganz unberechtigt, wengleich seine eigene Problemdefinition sicher zu eng ist.

⁹⁷ Vgl. J.H. Fetzer (1990b, 1990c, 1993a, 1993b, 2004c).

⁹⁸ Vgl. dazu auch J.H. Fetzer (1981).

⁹⁹ Vgl. dazu J.H. Fetzer (1990a).

¹⁰⁰ Vgl. Hayes/Ford (1993b).

¹⁰¹ Das Ziel besteht bei Hayes/Ford (1993b) in der Tat auch nicht in *Superintelligenz*: »Our (ultimate) dream, to create an artificial human-level thinker, is more modest«. Demgegenüber vertreten Ford/Hayes (1998) eine dazu letztlich diametrale Position, indem diese bereits in Richtung *Superintelligenz* weist.

Natürlich unterliegen *Cyber-physische Systeme* (CPS) allen Naturgesetzen und damit dem Realitätsverständnis im kausalen Sinne. Für das *Internet of Vehicles* (IoV) etwa gelten selbstverständlich alle Gesetze der Physik.¹⁰² Hayes (1979) wird dabei seinen eigenen Ansprüchen nicht gerecht, wenn er die AI-Fixierung auf "*toy problems*" kritisiert und eine Konzentration auf "*nontoy worlds*" fordert. Dann aber ist eine cyber-physische Realitätsauffassung vonnöten, die im MAS/CAS-Kontext auf emergente komplexe Systeme hinausläuft, was bei Hayes indessen gerade nicht der Fall ist. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund von Hayes' "*nontoy worlds*" sind die Positionen J.H. Fetzers (1990b, 1993a) berechtigt, wenngleich sie auch nicht hinreichend sind. Demnach ist die Position von Hayes/Ford in gleich doppelter Weise zurückzuweisen, wenn die AI-Disziplin im Zeichen des *cyber-physischen "Reality Computing"* steht. Somit handelt es sich auch hier nur auf den ersten Blick um Detailfragen; in Wahrheit aber betreffen sie die AI-Disziplin im Ganzen, indem sie maßgeblich zu ihrer gegenwärtigen faktischen Spaltung beitragen, die es aufzuheben gilt. Sie betreffen aber auch unmittelbar die Superintelligenz wie das AI-Intelligenzverständnis überhaupt. Wie das *Frame Problem* insgesamt, betrifft es vor allem auch im Kern die Ontologie und das Ontologieverständnis als solches. Somit läuft das *Frame Problem* insgesamt betrachtet direkt auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hinaus.

Was ist vor diesem Hintergrund zum Streit zwischen Hayes/Ford und J.H. Fetzer um das *Frame Problem* insgesamt zu sagen? – Erstens zeigt dieser Streit, dass die Devise "*AI is metaphysics*" richtig ist. Zweitens ist dieser Streit, der mit der Frage *metaphysisch und epistemologisch* adäquater Repräsentationen bereits bei McCarthy/Hayes (1969) selbst angelegt ist, letztlich einer der wichtigsten der AI-Disziplin überhaupt, indem er die Frage nach der für die Informatik adäquaten Metaphysik stellt. Er berührt entsprechend unmittelbar McCarthys (1995) Frage nach dem adäquaten "*general world view*". Wie dargelegt, geht es mit ihm um die Grundsatzentscheidung zwischen *deskriptiver* und *revisionärer* Metaphysik. Allerdings wird die zentrale Bedeutung dieses Streits in der AI-Disziplin bislang kaum erkannt. Zweitens ist zu diesem Streit zu sagen, dass er tatsächlich elementar und deshalb notwendig aufzulösen ist. Dabei enthalten beide Positionen wichtige und richtige Aspekte. Allerdings weist dieser Streit vor diesem Hintergrund nicht die notwendige differenzierte Perspektive auf, die für seine Auflösung Voraussetzung ist. Anders gewendet lässt sich sagen, dass die Perspektive derart undifferenziert ist, dass J.H. Fetzer und Hayes/Ford im Grunde aneinander vorbei debattieren. Dabei liegt das Problem jedoch eher bei letzteren: Um die eigenen Argumente Hayes' (1979) zu bemühen hat es damit zu tun, dass Common Sense für die ontologische Behandlung von "*nontoy worlds*" im "*Reality Computing*" auf Basis *cyber-physischer "Reality Machines"* weder ausreichend ist noch überhaupt die primäre Perspektive bieten kann. Aufgrund der ontologischen Interdependenz im IoX-Hyperspace gilt dies einschließlich des IoP-Bereichs, weil alle modernen AI-Technologien auf eine unmittelbare IoP-IoT-Interdependenz hinauslaufen.

¹⁰² Vgl. zum IoV-Szenario etwa W. Wu et al. (2016) sowie Zhanikeev (2016).

Worin das eigentliche Problem liegt, zeigt sich bei Hayes/Ford (1993b) *Modeling our Adaptive Intelligence, Not God's* bereits im Titel: Sie übersehen, dass die eine Realität in die andere eingebettet ist bzw. dass die »everyday beliefs about the world« nicht ausreichend sind. Um den IoV-Fall nochmals zu bemühen: zwar kommt es natürlich auf das *Belief System* einzelner Agenten an, indem es für seine Verhaltenssteuerung wesentlich ist; doch *de facto* entscheidend ist nicht das, was der Agent bzgl. der Realität annimmt, sondern das, was die Realität im cyber-physischen Sinne des CPST-Hyperspace faktisch ausmacht. Dabei sind im IoV-Fall alle naturgesetzlichen Sachverhalte entscheidend; soziale Gesetzmäßigkeiten sind – insbesondere bei der maschinellen Agentenklasse – in regelbasierten soziotechnischen Systemen ebenfalls von Relevanz. In beiden Hinsichten sind diese jeweils mit einer sensorischen bzw. aktorischen Umweltinteraktion zu kombinieren. Die Lösung im Streit Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer besteht in Reschers (2003a: 349) Position, die auf Basis der metaphysischen Umsetzung bei Whitehead und Popper auch unmittelbar einsichtig ist. Wären diese Metaphysiken verstanden, ließen sich solche Debatten vermeiden und die AI-Disziplin wäre eher auf jenem heute unerreichten Stand, den die realen Probleme im *cyber-physischen "Reality Computing"* von ihr einfordern. Denn in diesem Streit – wie auch sonst in der AI-Tradition – wird übersehen, dass es zwei Ebenen der Realität bzw. zwei Welten gibt, indem zwischen der Realität als solcher und der jeweiligen subjektiven Agentenwelt zu differenzieren ist. Indessen lassen sie sich deshalb nicht isoliert behandeln, indem sie kausal zusammenhängen. Insgesamt ist im CPS/MAS-Kontext des CPST-Hyperspace dabei *notwendig* im Sinne von CYPO zwischen vier kausal interdependenten Welten zu differenzieren. Vor dem Hintergrund dieser kausalen Interdependenz ist es ein verhängnisvoller Irrtum, wenn Hayes/Ford (1993b) ihre Position mit unterschiedlich akzentuierten Forschungsinteressen zu rechtfertigen suchen. Wie weiter unten deutlich wird, besteht das Resultat mit Hayes in einer defekten RDF-Semantik, die inzwischen jenseits des IoP-Subsystems auch direkt im IoT-Bereich, d.h. unmittelbar im *cyber-physischen "Reality Computing"* Anwendung findet. Darüber hinaus ist im Sinne von Raphael (1971: 161) eine *praktische* Lösung des *Frame Problem* im Ganzen erforderlich. Ihre Schlussfolgerung: »We should just agree to disagree and each continue with our own business«, zeigt, dass Hayes/Ford (1993b) weder diese kausale Interdependenz noch die unmittelbare praktische AI-Relevanz des *Frame Problem* als Ganzem verstanden haben können.

Mit der bis heute offenen Debatte um das *Frame Problem* als Ganzem wird offensichtlich, dass die eigentlichen Grundlagen der AI-Disziplin als solche nach wie vor ungeklärt sind. Vor diesem Hintergrund läuft das *Frame Problem* insofern direkt auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hinaus, als es bei ihm letztlich primär um Ontologie geht, und zwar einmal im Sinne der metaphysischen Ontologie als *metaphysica generalis*, und einmal um die Wissensontologie. Auch der Streit Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer betrifft beide Aspekte, d.h. nicht nur den metaphysischen Aspekt, sondern auch den wissensontologischen, indem die Position Fetzers auf *Scientific Ontologies* hinausläuft, während es bei Hayes/Ford um

Common Sense Ontologies geht, wie sie sich etwa bei Hayes (1979, 1985a, 1985b) finden. Gerade auch mit Blick auf diese doppelte ontologische Relevanz liegt es nahe, das unge löste *Frame Problem* im Kontext des *Internet of Everything* (IoX) als "*Universe of Discourse of Anything*" abzuhandeln. Denn auf Basis des IoX-Hyperspace kann man entgegen Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer nicht mehr aneinander vorbei debattieren. Vielmehr ist die ganze Debatte dann in jener differenzierten Weise zu führen, die mit Blick auf ihren universalen Charakter wie in ihrer allgemeinen Relevanz für die AI-Disziplin eigentlich angezeigt ist. Denn der IoX-Hyperspace differenziert einerseits zwischen den fünf IoX-Subsystemen, zeigt jedoch gleichzeitig auf, dass zwischen diesen eine unmittelbare ontologische Interdependenz besteht. Damit ist die Diskussion sowohl in der erforderlichen Tiefe wie Breite zu führen, womit insgesamt deutlich wird, dass in der Ontologiefrage vor dem Hintergrund des Erfordernisses einer cyber-physischen Meta-Ontologie eine metaphysische Totallösung für die Informatik unabdingbar ist. In Bezug auf die IoX-Subsysteme ist im Streit Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer nicht nur die Cyber-Physik des *Internet of Things* (IoT) von Relevanz; vielmehr ist auch gerade die Differenzierung zwischen dem *Internet of Agents* (IoA) und dem *Internet of People* (IoP) wesentlich, da mit ihnen zwei elementare, jedoch interdependente Agentenklassen unmittelbar verbunden sind, nämlich maschinelle Agenten einerseits und menschliche Agenten andererseits. IoA-Agenten und IoP-Agenten sind dabei vor dem Hintergrund der spezifischen Positionen von Hayes/Ford bzw. J.H. Fetzer gesondert zu behandeln. Unterdessen ist bei diesem Streit genauso zu berücksichtigen, dass im CPS/MAS-Kontext des IoX-Hyperspace alle Agenten und alle Ontologien interagieren, was auf die Notwendigkeit einer ontologischen Totallösung verweist.

Das eigentliche *Frame Problem*, also jenes im Ganzen, lässt sich sachgerecht allein auf einer solch ausdifferenzierten Basis behandeln, indem es bei der *AI-Umsetzung situativ-reali tätsbezogener adaptiver Intelligenz* zum einen um disparate, jedoch kausal interdependente reale Welttypen, zum anderen bei den beiden elementaren Agentenklassen um durchaus unterschiedliche Adaptionsvorgänge geht: Die Argumentation von Hayes/Ford steht bereits insofern auf brüchigem Fundament, als sie im Kern besagt, dass sich die Adaption *maschineller* IoA-Agenten in genau der gleichen Weise vollziehen soll wie jene *menschlicher* IoP-Agenten, nämlich auf Basis von *Common Sense*. Diese Annahme geht jedoch am eigentlichen Wesen der *Artifiziellen Intelligenz* genauso komplett vorbei wie insgesamt ihr Ziel eines »artificial human-level thinker«. ¹⁰³ Dieses Ziel ist mit jenem der modernen AI-Forschung unvereinbar; hier geht es im Allgemeinen um Superintelligenz, deren Wesensmerkmal darin besteht, über den »human-level thinker« gerade maßgeblich hinauszukommen. Das ist vor dem Hintergrund des Superintelligenzarguments auch richtig, indem AI-Technologien gerade bei komplexen Systemen zum Einsatz kommen, bei denen menschliche Intelligenz mindestens vor dem Hintergrund des Echtzeiterfordernisses nicht mehr ausreichend ist. Damit sind AI-Technologien, insbesondere die Agenten- und

¹⁰³ Vgl. Hayes/Ford (1993b); vgl. dazu auch Fn. 101 sowie unsere Superintelligenzposition unter Pkt. 6.3.

Ontologiearchitektur im Kern so zu entwickeln, dass sie dieser Prämisse auch tatsächlich gerecht werden, ohne dabei unkontrollierbar zu werden. Vor diesem Hintergrund wird besser nachvollziehbar, dass der ganze AI-Gedanke und damit auch die AI-Ontologien in keiner Weise primär auf jenem *Common Sense* beruhen können, dessen Defizite und Defekte von Leibniz über Whitehead bis zu Quine oder Rescher bereits unmissverständlich herausgestellt wurden. Was rechtfertigt dann überhaupt das Argument des *Common Sense* in der AI-Disziplin? Begründet wird das auch bei Hayes/Ford nicht, und der bloße Verweis auf das eigene Forschungsinteresse ist in dieser Sache insofern ein schlechtes Omen, indem ein Großteil der Informatiker in den Tiefen der Ontologie gar nicht bewandert ist. Sie verlassen sich auf das, was Ontologen wie Hayes/Ford ausarbeiten. Im Sinne von RDF bzw. OWL betrifft dies Quasi-Standards, die durch das W3C gesetzt und breit adaptiert werden.

Mit dem IoX-Hyperspace wird jedoch insbesondere im Zusammenspiel bzw. der Differenzierung von IoT-, IoA- und IoP-Subsystem wiederum am eingängigen IoX-Beispielfall des *Internet of Vehicles* (IoV) sofort offensichtlich, dass die Adaptionvorgänge von IoA-Agenten sowohl in ihren Anforderungen als damit zusammenhängend letztlich auch in wesentlichen Details andere sind als jene von IoP-Agenten.¹⁰⁴ Wären die Unterschiede belanglos, liefe die praktische Entwicklung nicht darauf hinaus, dass erstere die letzteren bei der Fahrzeugsteuerung mit SAE Level 5 vollständig ersetzt haben werden. Denn es geht dabei natürlich nicht nur um körperlich-psychische Aspekte wie Ermüdung oder Konzentration, sondern zunehmend um die Intelligenz als solche. Das betrifft nicht nur den Aspekt der Echtzeitreaktion, sondern genauso eine alle situativ-kontextuellen Determinanten berücksichtigende Voraussicht, oder aber die punktgenaue Berechnung kausaler Konsequenzen spezifischen Entscheidungsverhaltens. In dieser Sache geht der Streit an J.H. Fetzer, jedoch nicht insgesamt. Denn die ontologische Interdependenz im IoX-Hyperspace ist in Poppers W1-Sinne zwar wesentlich auf die physische IoT-Sphäre bezogen, jedoch besteht sie zwischen allen Welten und entsprechend auch zwischen allen IoX-Subsystemen. Demnach ist auch die ontologische Eigenart des IoP-Subsystems von Relevanz, bei dem es primär um die Interaktion *Human to Human* (H2H) geht, also um das, was gemeinhin als *Social Web* bzw. Web 2.0 bezeichnet wird. Hier, und im Grunde nur hier ist der *Common Sense* mitsamt der Normalsprache gesetzt, wobei die konkrete Auslegung von beidem prinzipiell zur Disposition steht. Denn in Bezug auf den *Common Sense* schwankt schon Hayes selbst zwischen einer 3D-Position (RDF, OWL) einerseits,¹⁰⁵ und einer 4D-Position (Naïve Physics) andererseits.¹⁰⁶ Und was die Semantik der Normalsprache betrifft, wird mit der Ereignis- bzw. Situationssemantik bei D. Davidson (1967) bzw. Barwise/Perry (1983) deutlich, dass es einfache Alternativen zur gängigen Grammatik gibt, die jedoch im Gegensatz zu dieser das Kriterium der CPS-Adäquanz und entsprechend die ontologische Interdependenzanforderung des IoX-Hyperspace erfüllen können.

¹⁰⁴ Allerdings geht es mit den *Semantic E-Sciences* im IoP-Bereich ebenfalls um "*scientific reasoning*".

¹⁰⁵ Vgl. etwa Hayes (2004) sowie Patel-Schneider/Hayes/Horrocks (2004).

¹⁰⁶ Vgl. etwa Hayes (1985a, 1985b); vgl. dazu auch Hayes in Hayes et al. (2002: 13).

Diese ontologische Interdependenz besteht auch insofern, als MAS-Interaktionen keineswegs lediglich auf Basis homogener Agentenklassen vollzogen werden. Zweifellos geht es zunehmend um die Interaktion *Human to Machine* (H2M) bzw. *Machine to Human* (M2H), und damit ontologisch um die IoA-IoP-Wechselwirkung. Dabei reicht das, was als IoA-Subsystem als maschinelle Agentenklassen zu differenzieren ist, von einfachsten *Software Agents* über komplexere *Searchbots* oder *Event Processing Agents* (EPA) bis hin zum physisch realisierten humanoiden Roboter. In Bezug auf letztere gibt es wiederum solche, die dezidiert auf die Interaktion mit menschlichen Agenten und damit insbesondere auf ein Tiefenverständnis des *Common Sense* ausgelegt sind; Superintelligenz schließt diesen letztlich im Verständnissinne immer mit ein, geht jedoch an sich über diesen notwendig hinaus. Die fünf IoX-Subsysteme sind einschließlich der Abgrenzung verschiedenster Agenten-, Realitäts-, Situations- und Problemklassen generell auf Differenzierung angelegt. Tatsächlich ist etwa der Wandel, um den es primär im IoT-Bereich geht, ein qualitativ anderer als jener, der im IoP-Subsystem im Fokus steht. Damit ist nicht nur der Unterschied zwischen physischem und sozialem Wandel gemeint, sondern auch die erforderliche Differenzierung von physischer Welt und sozialer Agentenwelt. Denn in Bezug auf letztere kommen Aspekte wie Wahrnehmung, Relevanz, soziale Semantik usw. hinzu.

Jenseits der Differenzierung der fünf IoX-Subsysteme stehen die vier IoX-Welttypen in direkter kausaler Interdependenz, indem etwa eine einfache physische Lageveränderung (W1) in einer Agentenwelt (W2) als entsprechend relevant erkannt wird, und über Kommunikation einen Wandel in der sozialen Welt (W4) induziert. Indem sich Wandel auch auf soziale Artefakte beziehen kann, gibt es auch Wandel, der als reiner *Common Sense Change* zu verstehen ist. Dieser ist also gar nicht im eigentlichen Sinne *physisch*, sondern im Zeichen des objektiven Idealismus *psychisch* (W2) bzw. *soziopsychisch* (W4) resp. in Form einer *Artefakttransformation* (W3) gegeben. D.h. er spielt sich in der W1-Sphäre, die J.H. Fetzer im Blick hat, gar nicht ab. So gesehen geht dann in dieser Sache der Streit an Hayes/Ford; *de facto* ist er damit unentschieden. Dennoch ist insofern eine klare Hierarchie in den beiden Sichtweisen gegeben, als die Welt 1, d.h. die physische Welt, immer die primäre ist; in Bezug auf physischen Wandel sind die Naturgesetze entscheidend, nicht das, was die einzelne Agentenwelt diesbezüglich disponiert. Entsprechend sind auch die fundamentalen Kategorien *revisionärer* Metaphysik grundlegend, und nicht das, was die *deskriptive* Metaphysik bzw. die *Commonsense Metaphysics* ("naive Metaphysics") dazu annimmt. Somit besteht diese Hierarchie auch in Bezug auf die Wissensontologie: sie führt analog von *Scientific Ontologies* über technologische Ontologien zu praktischen Ontologien, unter die der *Common Sense* zu subsumieren ist.

Der Umstand, dass Hayes/Ford und J.H. Fetzer letztlich völlig aneinander vorbei debattieren ist insgesamt betrachtet also nur Spiegelbild dessen, dass sie an der eigentlichen Sache als solcher vorbei argumentieren. Indem die ganze AI-Disziplin an diesem metaphysischen Defekt krankt, der ontologisch wie epistemologisch von erster Relevanz ist, sei

nochmals unterstrichen, dass es sich weder um zwei alternative noch um zwei voneinander isolierbare Realitätsauffassungen handelt. Vielmehr sind beide im Sinne Reschers (2003a: 349) ungeachtet ihrer notwendigen Ausdifferenziertheit integriert zu behandeln. Die AI-Disziplin irrt also in ihrer allgemeinen metaphysischen Annahme, dass es in diesen Realitätsauffassungen um Gegensätzlichkeiten geht; dabei ist dieser Irrtum mit dem vermeintlichen Gegensatz von Realismus und Konstruktivismus tief verankert. Geht man jedoch unbefangen an diese Frage, nähert man sich ihr auf rein pragmatische und nicht auf ideologische Weise, wird offenbar: dieser Gegensatz besteht nur insofern, als man die Welten entweder verwechselt, sie gleichsetzt, oder aber indem behauptet wird, dass es die eine oder die andere Welt nicht gäbe. Jahrzehntlang wurde in dieser Weise verfahren; zumeist ging es im Sinne von Gegensätzen um Ideologie, selten um Pragmatik, doch fordern Cyber-physische Systeme (CPS) nicht nur die Informatik, sondern gleichermaßen die Philosophie in letztlich ultimativer Weise heraus. Mit dem IoX-Hyperspace besteht ein CPS-MAS-Konnex, der insofern faktisch ist, als er dem Prinzip kausaler Wirksamkeit unterliegt. Dieser Konnex besitzt also zweifelsohne eine *physische* Welt, die auf Basis dieses Prinzips als real existent vorauszusetzen ist, während die eigentliche Adaption im Cyberspace erfolgt, der auf Basis dieses Realitätsprinzips dann genauso als existent vorauszusetzen ist. Indem die Adaption jedoch parallel durch unterschiedliche Agenten in Interaktion geschieht, geht es immer um Multiagentensysteme, womit auch die einzelnen *Belief Systems* als existent vorauszusetzen sind. Diese sind sowohl untereinander als auch mit der physischen Sphäre interdependent. Allerdings sind die *Belief Systems* subjektivistisch; sie sind in der Weise heterogen, als sie prinzipiell konstruktivistisch veranlagt sind. Insofern besteht im IoX-Hyperspace letztlich das Basisszenario der AI-Disziplin; denn es handelt sich im CPST-Sinne um das, was *cyber-physisches "Reality Computing"* an sich ausmacht.

Offensichtlich gilt also die Devise "*AI is metaphysics*", wobei bislang auf Basis falscher Metaphysiken bzw. Epistemologien argumentiert wurde, während ihre Richtigkeit dann einmal mehr unter Beweis gestellt werden kann, wenn auf metaphysischer Basis auch explizierbar ist, wie die AI-Disziplin aus ihrem metaphysischen Dilemma herausfindet. – Nichts ist einfacher als das, indem die metaphysische Lösung seit den Anfängen der Informatik immer schon gegeben ist. Es ist grotesk, doch die Lösung all ihrer Probleme, die jahrzehntlang die Debatten bestimmten, liegen im eigentlichen Ursprung der Disziplin, während die Problemursachen letztlich darin zu sehen sind, dass diese metaphysische Basis unverstanden geblieben ist. Die Lösung aller fundamentalen Probleme liegt in dem durch Whitehead aktualisierten Leibnizprogramm, auf dem schließlich die Differenzierung der Welttypen Poppers wie das Prinzip kausaler Wirksamkeit unmittelbar aufsetzt. Das *Frame Problem* offenbart in all seinen Facetten, dass es nur die eine metaphysische Lösung gibt, und keine andere. Es gibt nur eine Digitalmetaphysik, nur eine ereigniszentrische Cyber-Physik, nur einen Grundstoff *Information* und nur ein Prinzip kausaler Wirksamkeit. Indem all das zusammengehört, sind auch die entscheidenden Momente der Perzeption und

Kognition in genau jener kohärenten Weise auszulegen, wie sie im Leibniz-Whitehead-schen Sinne selbst unter der Maßgeblichkeit der Cyber-Physik behandelt werden. D.h., dass kognitionswissenschaftliche Verständnisse von Kognition immer nur ergänzend bemüht werden können; zunächst ist Perzeption und Kognition also in den Tiefen der Cyber-Physik der Leibniz-Whiteheadschen Tradition zu begreifen. Denn darin besteht das, was für die Informatik im Sinne einer in sich geschlossenen Digitalmetaphysik insgesamt zählt.

Tatsächlich wird eine agentenbasierte Metaphysik als Cyber-Physik unumgänglich, die es allein bei Whitehead gibt. Dabei ist die ergänzende Differenzierung von Welttypen im Sinne Poppers angezeigt, womit eine ausdifferenzierte ontologische Basis realisierbar ist, wobei alle Welten in ihrer kausalen Interdependenz ein kosmologisches Ganzes repräsentieren. Gilt es, das *Frame Problem* in allen Details vollständig aufzulösen, ist es auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu beziehen. Denn seine Lösung besteht in der Ontologie im doppelten Sinne Leibnizens und sie ist nur auf Basis *komplexer Systeme* im ausdifferenzierten IoX-Hyperspace zu finden. Im CPST-Kontext muss es im Sinne von CYPO um eine cyber-physische *Vier-Welten-Ontologie* gehen, die einerseits die erforderliche ontologische Differenzierung, andererseits die obligatorische ontologische Integration gewährleistet. Beides ist in Bezug auf die ontologische Interdependenz im IoX-Hyperspace unabdingbar. Mit CYPO sind die *Scientific Ontologies* J.H. Fetzers mit den *Common Sense Ontologies* von Hayes/Ford auf die Basis einer integrierten Ontologiekonzeption zu stellen. Diese ist dann realisierbar, wenn es gelingt, sie auf die gleiche Meta-Ontologie zu beziehen, was konkret Sache der *Top-level Ontologie* als einheitlicher Referenzbasis ist. Auch alle IoX-Subsysteme sind ontologisch nur dann vereinbar, wenn die meta-ontologischen Dispositionen des CPST-Hyperspace einheitlich vorausgesetzt werden, wie es der Kausalitätsaspekt verlangt. Die ontologischen Positionen von McCarthy und Hayes sind auch insofern inkonsistent, als sie einmal für den *Common Sense* votieren, und sich zum anderen auf das 4D-Ontologieverständnis des Whitehead-Schülers Quine,¹⁰⁷ oder gar explizit auf Whiteheads 4D-Perdurantismus selbst berufen.¹⁰⁸ Mit diesen stark schwankenden Positionen sollte eine Synthese nicht unmöglich erscheinen. Nur kann man sich nicht wie Hayes zur gleichen Zeit einmal explizit auf die Whiteheadsche Position berufen, und zum anderen jenen linguistischen 3D-*Common Sense* praktizieren,¹⁰⁹ den Whitehead aus guten Gründen explizit ablehnt. Der Kompromiss besteht in einem 4D-Common Sense, wie er bereits bei Hayes (1985a, 1985b) angedacht wird, nur muss dann auch eine kombinierte Situations- bzw. Ereignissemantik in Angriff genommen werden, mit der sich der defekte aristotelische Zuschnitt der alltagssprachlichen Grammatik heilen lässt. Der Streit Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer lässt sich prinzipiell auf CYPO-Basis überwinden, indem diese Ontologiear-

¹⁰⁷ Vgl. McCarthy (2000).

¹⁰⁸ Vgl. Hayes in Hayes et al. (2002: 13).

¹⁰⁹ Damit sind etwa die meta-ontologischen Aspekte von Hayes' (2004) *RDF Triple* gemeint, die mit Whitehead völlig unvereinbar sind. Tatsächlich wird man mit Blick auf Pkt. 3.2.3 auf Dauer nicht um eine echte Transformation des *RDF Triple* umhinkommen, die über bisherige 4D-Modifikationen hinausgeht.

chitektur darauf zielt, den vermeintlichen Gegensatz von "*automating common-sense reasoning*" vs. "*automating scientific reasoning*" aufzuheben.

Die AI-Zukunft läuft im Zeichen von McCarthys (1963a: 66) Superintelligenzargument auf maschinelle Agenten hinaus, die primär auf dem "*automating scientific reasoning*" aufsetzen. Damit stehen echte *Scientific Ontologies* in Frage, die in dieser Form erst noch zu entwickeln sind.¹¹⁰ Vor allem aber geht es nicht nur um die Abgrenzung disparater Ontologietypen als solche, sondern um ein *System von Ontologien*, das in der Referenz auf die *Top-level Ontologie* nicht nur in Bezug auf die *Ontologiearten* hierarchisch ist, sondern genauso in Bezug auf die Ontologietypen. Diese Hierarchie reicht von den *Scientific Ontologies* über technologische Ontologien zu den praktischen Ontologien, zu denen *Common Sense Ontologies* als konsensuelle Ontologien zu zählen sind. Betrachtet man hingegen den gegenwärtigen Stand der Ontologieforschung, zeigt sich, dass die ganze Informatik durch die folgenschweren Irrtümer von Gruber, Hayes, Mika und anderen blockiert ist. Diese Ontologien besitzen zwar auf den ersten Blick den Vorzug der einfachen Anwendbarkeit durch jedermann, allerdings zum Preis des Inkommensurabilitätsproblems. Solche Ontologien sind im Ganzen des IoX-Hyperspace nicht sachgerecht übersetzbar und letztlich inkompatibel. Doch in Multiagentensystemen besteht mit der Interaktion der Agenten prinzipiell auch immer ontologische Interdependenz. Indem es nicht mehr um "*toy problems*", sondern um mangelhafte semantische Interoperabilität in "*nontoy worlds*" mit der Gefahr semantisch bedingter Fehlschlüsse geht, muss die Informatik vor dem Hintergrund des *cyber-physischen "Reality Computing"* grundsätzlich umdenken. Im ersten Schritt sollte sie die erforderliche Sensibilität für die kausale Ontologieproblematik entwickeln, die heute selbst im Ansatz nicht besteht. Dabei ist die ontologische Interdependenz bei umfassend vernetzten Systemen prinzipiell immer gegeben; sie sollte nicht erst thematisiert werden, wenn sie in cyber-physischen Kontexten zum realen Problem wird. Indem die heutige Ontologiepraxis im Sinne Janlerts (1987) auf *metaphysischen ad hoc Annahmen* gründet, besitzt die Frage, wie man diese *ad hoc* so ändern kann, dass sie richtig gesetzt sind, rhetorische Qualität: Metaphysik ist immer ein *System* fundamentaler Dispositionen.

Wenn alle Systeme, Modelle, Prozesse usw. im Sinne von Pisanelli et al. (2002: 125) zunehmend mit Ontologien regelrecht durchsetzt sind, ist evident, dass abrupt auftretende Probleme, die durch eine fundamentale, d.h. kategoriale Inkommensurabilität im vernetzten System verschiedenster Ontologien bedingt sind, sich nicht mehr *ad hoc* abstellen lassen. In reale Sphären kausal eingebundene Cyber-physische Systeme sind dann ggf. ganz zu stoppen, was jedoch oftmals ebenfalls kaum möglich sein wird. Die richtigen Fundamente lassen sich nicht im Nachhinein einziehen, während faktische Probleme etwaig auch durch Ontologien hervorgerufen werden können, die eigentlich ganz am Rande stehen bzw. als systemisch irrelevant erscheinen. Insofern betrifft die Ontologieproblematik aus-

¹¹⁰ B. Smithens auf dem *Prinzip der Veridikalität* aufsetzende *Scientific Ontologies* sind hier keine Lösung; vielmehr muss es im Popperschen Sinne um *methodologisch* verankerte *Scientific Ontologies* gehen.

nahmslos alle Ontologien. Denn AI-Ontologien sind immer als Technologie des *Autonomic Computing* zu erachten; früher oder später wird auch die eigentlich isoliert gedachte Ontologie systemisch integriert. Mit dem tiefgreifenden Streit um die Metaphysik, wie er durch H.L. Dreyfus und andere im Zuge der GOFAI-Kritik initiiert wurde, mit dem Streit Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer und den zahlreichen anderen wissenschaftlichen Auseinandersetzungen um Detailprobleme zeigt nicht zuletzt das *Frame Problem*, dass das Ontologieverständnis als solches einer grundsätzlichen Revision bedarf.

Mit den einzelnen Positionen die im Kontext des Widerstreits um das *Frame Problem I* vs. *Frame Problem II* vertreten werden, insbesondere aber auch mit dem Streit Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer zeigt sich, dass es um den Kern der *Artifiziellen Intelligenz* als solchen geht. Wie im Folgenden dargelegt, ist für den CPST- bzw. IoX-Hyperspace die MAS/CAS- sowie CPS/SEA-Kombination konstituierend. Es steht außer Frage, dass Cyber-physische Systeme (CPS), die gleichzeitig als Multiagentensysteme (MAS) zu verstehen sind, in keiner Weise allein auf dem impliziten Wissen von Agenten basieren können. Vielmehr geht es in CPS-Kontexten, die nicht nur die Physik, sondern etwa im *Internet of Chemical Things* (IoCT) oder dem *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) genauso alle anderen Naturwissenschaften und schließlich in anderen IoX-Systemen alle Erfahrungswissenschaft und alle formale Wissenschaft betreffen, um das Erfordernis methodologisch geprüften Wissens. Denn natürlich ist im Sinne J.H. Fetzers (1981, 1993a) beim Agentenverhalten gerade auch das wissenschaftliche Wissen von Relevanz. Ein einzelner Agent kann dabei naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten weder selbst *ad hoc* generieren noch *ad hoc* erlernen; man darf den langwierigen schöpferischen Prozess des Entdeckungszusammenhangs, jenen von Versuch und Irrtum, oder jenen von These, Antithese und Synthese wissenschaftlicher Gemeinschaften nicht außer Acht lassen. Auch wenn auf Basis superintelligenter maschineller Agenten vieles schneller gehen wird, bleibt die Wissenschaftsproblematik als *Scientific Discovery* im IoA- und IoP-Subsystem prinzipiell die gleiche.

Alles Wissen, gerade auch das im physischen CPS-Kontext vor allem relevante wissenschaftliche Wissen ist hypothetisch und fallibel, was analog für die *Scientific Ontologies* gilt. Wenn die Intelligenz maschineller Agenten jedoch etwa im Sinne J.H. Fetzers (1981, 1993a) maßgeblich auf wissenschaftlichem Wissen gründet, dann muss die dazu relevante Methodologie Einzug in die AI-Disziplin halten. Nur dann wird im Sinne Langley/Simons et al. (1987) eine AI-basierte *Scientific Discovery* tatsächlich möglich. Die Wissenschaftsproblematik bleibt also als solche erhalten, und das selbst dann, wenn es superintelligente Agenten gibt. Vielmehr steht außer Zweifel, dass es um *Scientific Ontologies* gehen muss, auf deren erste Verifikation und vor allem auf deren systematische Falsifikation maschinelle Agenten selbst zielen. Indem maschinelle Agenten in hybriden Agentenarchitekturen im Kern auf Basis echter *Scientific Ontologies* in Kombination mit maschinellem Lernen operieren, ist in metaphysischer Hinsicht komplett umzudenken. Denn es geht nicht nur darum, dass das System der Metaphysik etwa im Sinne einer agentenbasierten Metaphysik

überhaupt den Anforderungen der Informatik entspricht. Es geht um einen anderen, jedoch nicht minder wichtigen Aspekt, nämlich um jenen der *wissenschaftlichen Metaphysik* als solchen. Die ganze These der deskriptiven Metaphysik fällt mit falsifizierenden maschinellen Agenten unvermittelt in sich zusammen; sie wird unhaltbar, indem sich die Semantik keinesfalls mehr auf eine *Common Sense Reality* bezieht, sondern auf die Realität als solche, also auf jene, auf die die Erfahrungswissenschaften zielen. Wenn es um echte *Scientific Ontologies* geht, dann muss auch die Semantik disponibel sein; sie muss in ihren Grundstrukturen dem entsprechen, was als fundamentale Struktur der Realität identifiziert wird. Aus der Primarität der *Scientific Ontologies* folgt das Erfordernis zur Substitution der *deskriptiven Metaphysik* durch die *revisionäre Metaphysik*.

Die für die Informatik adäquate Metaphysik lässt sich also nicht nur in Bezug auf den Agentenaspekt, den Komplexitäts-, Emergenz-, Selbstorganisations- oder Prozessaspekt, in Bezug auf das Kausalitätsprinzip oder den Grundstoff der Information ganz genau einschränken, sondern gerade auch in Bezug auf ihre Eignung für eine integrierte Ontologiekonzeption. Diese reicht in dieser hierarchischen Folge von *Scientific Ontologies* über technologische Ontologien bis hin zu praktischen Ontologien. Somit lässt sich die für die Informatik adäquate Metaphysik sofortig mit Pkt. 4.1 auf die *Klasse-3-* bzw. *Klasse-4-Metaphysik* einschränken; die beiden niederen Klassen sind also *per se* für ihre Fundierung ungeeignet. Indessen baut weder die Informatik im Ganzen noch speziell die AI-Ontologie kaum auf diesen Metaphysikklassen auf. Im Wesentlichen basiert sie auf der deskriptiven Metaphysik als *Klasse-2-Metaphysik*. Damit besitzt der Streit Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer im Rahmen des *Frame Problem* eine für die gesamte AI-Forschung ganz entscheidende Relevanz. Denn die Position von Hayes ist für das komplette Semantikverständnis des *Semantic Web* entscheidend, indem er für die alltagssprachliche Grammatik des *RDF Triple* verantwortlich,¹¹¹ sowie für die OWL-Semantik des W3C mitverantwortlich zeichnet.¹¹² Doch die eigentliche Problematik liegt erst im IoX-Hyperspace. Denn das *Semantic Web* war ursprünglich ausschließlich in Bezug auf das IoP-Subsystem konzipiert, während mit Pkt. 3.2.3 deutlich wird, dass sich dieses in keiner Weise von den übrigen IoX-Subsystemen isolieren lässt. Es besteht ontologische Interdependenz, und darin wurzelt insbesondere mit Blick auf die cyber-physischen IoT-Ontologieranforderungen sowie mit jenem auf die Anforderungen zur Realisierung von IoA-Superintelligenz ein Fundamentalproblem. So gesehen wird Hayes (1987), der den Fokus noch auf das *Frame Problem I* einschränken will, von der ganzen Breite des *Frame Problem II* überrascht.

Demgegenüber übersieht McCarthy (1977: 1040) in seiner Kritik an Minskys (1974) Ausdifferenzierung des *Frame Problem*, dass es bereits bei den sechs Formalismusaspekten bei McCarthy/Hayes (1969) explizit um die Relation von Wissen und Handlung (bzw. Aktion) geht. Natürlich ist das formallogische Problem, auf das auch McCarthy (1977) das

¹¹¹ Vgl. Hayes (2004) sowie Hayes/Patel-Schneider (2014).

¹¹² Vgl. Patel-Schneider/Hayes/Horrocks (2004).

Frame Problem noch einschränken will, immer in ein epistemologisches Problem eingebettet. Also behandelt schon Minsky (1974) nichts anderes als das erweiterte Problem, was dann allerdings schließlich automatisch zur Metaphysik führt, die jeder Epistemologie im Sinne der epistemologischen Voraussetzungen übergeordnet ist. Doch schon allein in epistemologischer Hinsicht eröffnet sich mit diesem weiter gefassten Problemverständnis ein weites Spektrum zwingend zu berücksichtigender Aspekte. Die Lösung des eigentlichen *Frame Problem* hat dabei gewiss auch mit dem *Relevanzproblem* zu tun, dem in der Debatte große Aufmerksamkeit zuteilwird. D.C. Dennett (1984) sieht in dieser Sache eine neue epistemologische Qualität; für Glymour (1987: 65) handelt es sich demgegenüber keinesfalls um ein neues epistemologisches Problem, sondern allenfalls um eine neue Nebenbedingung von »problems that are old friends to philosophy«. Für Glymour ist das *Frame Problem* »not one problem, but an endless hodgepodge of problems concerned with how to characterize what is *relevant* in knowledge, action, planning, etc.«.¹¹³ Auch insgesamt besteht eine größere Tendenz, das *Frame Problem II* auf diesen *Relevanzaspekt* zu konzentrieren, etwa bei Dreyfus/Dreyfus (1987), J.A. Fodor (1987) oder Haugeland (1987).¹¹⁴ Ein wesentliches Moment besteht dabei mit J.T. Nutter (1990) in der Wahl des »focus of attention«,¹¹⁵ die zur Absorption der Masse an Informationen bzgl. des realen Wandels zu vollziehen ist. Scherl/Levesque (2003) gehen insofern eine Stufe weiter, indem sie Reiters (1991) Lösungsansatz um *wissensgenerierende* Aktionen erweitern, d.h. um Aktionen (bzw. Handlungen), »whose effects are to change a state of knowledge«. ¹¹⁶ Dieser Schritt ist der entscheidende, wobei er wiederum auf Zambak (2013) hinausläuft, bei dem das *Frame Problem* im Sinne der Agententheorie grundsätzlich in den Kontext der erforderlichen Aufhebung der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* gestellt wird. Denn das logische Schließen auf Basis vorgegebener Weltmodelle, also das »general problem of default reasoning« unter dem das *Frame Problem* bei Perlis (1990) steht,¹¹⁷ resultiert erst daraus, dass der Agent *in unmittelbarer Umweltinteraktion* neues, problemlösungsrelevantes Wissen generieren muss, um in spezifischen Handlungssituationen reüssieren zu können. Dabei ist nur einem in die lokale Handlungssituation unmittelbar eingebetteten Agenten dieses *unmittelbare* situativ-kontextuelle Moment der Wissensgenerierung zugänglich. Es lässt sich

¹¹³ Vgl. Glymour (1987: 65), Hvh. des Orig.

¹¹⁴ Vgl. Dreyfus/Dreyfus (1987: 95): »As time passes and/or actions are performed, many facts change but not all facts change and only a few such changes are relevant to current action« sowie J.A. Fodor (1987: 148): »The frame problem and the problem of formalizing our intuitions about inductive relevance are, in every important respect, THE SAME THING«. Vgl. ferner Haugeland (1987: 82): »The frame problem arises in keeping temporary knowledge up to date, when there are side effects; more specifically, it concerns how a system can *ignore* most conceivable updating questions and confront only "realistic" possibilities. In this respect, the frame problem is analogous to the knowledge access problem, addressed by stereotypes; in both cases, the issue is how to "home in on" relevant considerations, without wasting time on everything else the system knows«.

¹¹⁵ Vgl. J.T. Nutter (1990: 299): »The key issues in dealing with the Frame Problem [...] are relevance, salience, and a rich enough sense of context, and the key mechanism is focus of attention«.

¹¹⁶ Vgl. Scherl/Levesque (2003: 2).

¹¹⁷ Vgl. Perlis (1990: 346): »The frame problem is [...] now widely recognized as an aspect of the general problem of default reasoning«.

also im Sinne allgemeiner Problemlösungsmethoden nur sehr bedingt *ex ante* bestimmen; vielmehr resultiert es erst aus der situativen Erfahrung des lokalen Agenten bzw. seinen Lernprozessen. Natürlich ist in bestimmten Situationen auch vordefiniertes Problemlösungswissen applizierbar; allerdings muss der Agent dennoch insofern über eine kontextuelle Intelligenz verfügen, indem selbst dann zu prüfen ist, ob dieses auf die situative Problemstellung passt. Damit sind also auch hier sensitive, kognitive Agenten gesetzt.

Mit der erweiterten Problemfassung steht außer Zweifel, dass es im Ganzen unmittelbar um den zentralen AI-Aspekt der *Perzeption* und *Kognition* geht, unter dem D.C. Dennett (1984) und andere das *Frame Problem* auch elementar behandeln. Allerdings ist die Annahme falsch, dass ein im Sinne der Kognitionswissenschaften behandelter kognitiver Aspekt ausreichend wäre. Vielmehr ist gerade auch die Perzeption und Kognition, wie alles andere von der Metaphysik her zu entwickeln. Dieses Erfordernis lässt sich schnell mit Verweis auf die elementaren Unterschiede der Kognition im Cartesischen und Heideggerischen System belegen. In der Informatik geht es vielmehr um eine Digitalmetaphysik, die als in sich geschlossenes Metaphysiksystem verstanden wird, da Aspekte wie Information, Kausalität, Wandel, Perzeption und Kognition nur auf Basis eines in sich konsistenten Kerns in kohärenter Weise entwickelt werden können. Entsprechend muss es auch um eine Metaphysik gehen, die alle entscheidenden Aspekte inkorporiert, was tatsächlich auch nur durch die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik erfüllt wird. Denn sie ist gerade auf perzeptive Automaten im Automatenuniversum wie auf formallogische Repräsentation, also auf eine hybride Agentenarchitektur angelegt.

Wie mit J.H. Fetzer (1993a) bemerkt, kann es um die Frage der formallogischen Repräsentation des Wandels erst gehen, wenn das Problem des Wandels als solches geklärt ist. Entsprechend überrascht es nicht, dass das *Frame Problem* etwa mit Shoham (1988) auch in dieser Hinsicht adressiert wird, was insofern richtig ist, als es bei ihm im SC-Sinne um den AI-Kern geht. Für die ganze Debatte ist *dieser* Ansatzpunkt gerade als entscheidend zu erachten; er zeigt, dass im Ganzen der Weg, den die Debatte von der Formallogik über die Epistemologie zur Metaphysik gegangen ist, eigentlich genau der umgekehrte sein muss. Natürlich sollte es zunächst einmal um die Frage der AI-adäquaten Metaphysik gehen, um die Frage der fundamentalen Strukturen der Realität, ihres Wandels und ihres Systemcharakters. Erst dann kommt man zur Epistemologie, und über die Methodologie zuletzt zur formalen Logik. Wer heute noch am formallogischen Problem bei McCarthy/Hayes (1969) ansetzen wollte, wäre schon insofern falsch beraten, als zunächst einmal der Blick auf den Systemgedanken als solchen zu richten ist. Denn das *Frame Problem I* tritt nicht nur allein im Zuge spezifischer metaphysischer Dispositionen auf, sondern damit verbunden auch nur bei bestimmten Systemklassen. Dabei ist der Wandel, um den es bei McCarthy/Hayes (1969) geht, ein Wandel simpler *dynamischer Systeme*, deren Elemente weitgehend stabil sind. Es geht also um Systeme, in denen sich wenig ändert, also das meiste vom Wandel gar nicht betroffen ist. Das aber hat natürlich unmittelbar etwas mit der Realitätsauffassung

als solcher zu tun; es geht um eine *Common Sense Reality*, etwa um eine Box, die in der einen Situation auf dem Boden verharrt, in der Folgesituation auf einen anderen Gegenstand gestellt ist. Es ist diese metaphysische Voraussetzung, die überhaupt den Gedanken eröffnet, *globale Situationen* auf SC-Basis vollständig zu beschreiben. Pointiert gesagt geht es um das, was Hayes (1979) als "*toy problems*" selbst bemängelt.

Die "*nontoy worlds*" bei Hayes (1979) implizieren den echten Realitätsbezug; geht es jedoch um "*Reality Computing*", steht außer Zweifel, dass das Realitätsverständnis von McCarthy/Hayes (1969) an sich unhaltbar ist. Der Kern der AI-Disziplin ist erst dann richtig konzipiert, wenn er auf alle Realitätsprobleme, also etwa auch auf die erwähnten IoV-Kontexte anwendbar ist. Prinzipiell geht es immer um *Cyber-physische Systeme* (CPS), die sowohl im Hinblick auf ihre kausale Realitätseinbettung wie auch in Bezug auf die MAS-Agenteninteraktion *komplexe Systeme* verkörpern. Dabei bilden diese nicht die Ausnahme, sondern die Regel. Wie anhand des Referenzszenarios in Pkt. 1.5.1 gezeigt wird, sind mit *ubiquitären PLM-Systemen* auch gewöhnliche Systeme der Informatik in einer ganzen Reihe von Hinsichten als *komplexe Systeme* zu verstehen. Es handelt sich dabei um selbstorganisatorische Systeme, die im Sinne dissipativer Systeme emergente Ordnungsmuster aufweisen. Somit ist auch der Wandel unter dem Aspekt der Emergenz zu behandeln. Mit emergentem Wandel fällt jedoch die Prämisse einer vollständigen Beschreibung *globaler Situationen* genauso in sich zusammen wie die *Common Sense Reality* und damit die Idee der deskriptiven Metaphysik insgesamt.

Offensichtlich ist letztlich die Realitätsauffassung im Streit Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer entscheidend; denn es geht bei Hayes/Ford um "*automating common-sense reasoning*" in der *Common Sense Reality* und mit ihr um das *Frame Problem I*; bei J.H. Fetzer um "*automating scientific reasoning*" im Kontext einer *emergentistisch-kausalen Realitätsauffassung* und mit ihr um das *Frame Problem II*. Damit kommen wir zu Tenenbergs (1990) These, wonach das *Frame Problem* als Prognoseproblem zu behandeln ist.¹¹⁸ Natürlich ist eine solche Position unter der Realitätsauffassung von Hayes/Ford zumindest insofern kaum sinnvoll, als sich die Systemelemente kaum ändern. Ein echtes Prognoseproblem resultiert erst aus komplexen Systemen, was wiederum unter Realitätsaspekten auf eine andere metaphysische Qualität weist. Natürlich liegt bereits Minsky (1974) mit dem Wissensaspekt auch insofern nicht falsch, als McCarthy/Hayes (1969) auch in dieser Hinsicht metaphysisch bedingte Annahmen setzen. Denn die Beschreibung globaler Situationen setzt die Prämisse vollständigen Wissens voraus; ohne sie stellte sich das *Frame Problem I* erst gar nicht, da McCarthys Situationskalkül (SC) die Grundlage entzogen wäre. Auch diese Prämisse ist insofern metaphysisch, als sie unmittelbar mit der Realitätsauffassung zu tun hat. Geht es im strukturalistischen wie methodologischen Sinne um *komplexe Systeme*, dann ist mit H.A. Simon (1972a, 1982a) und Prigogine (1993a) insge-

¹¹⁸ Mit Tenenberg (1990: 384) gilt: »The frame problem, inferring what does not change as a result of an agent's actions, is an instance of the more general problem of predicting what is true of the future, based upon what is currently known (the *prediction problem*)«, Hvh. des Orig.; vgl. dazu auch Sprevak (2005).

samt *begrenzte Rationalität* vorauszusetzen. Dabei sind zu lösende Probleme regelmäßig schlechtstrukturiert,¹¹⁹ was bei situativ-kontextuell veranlagten Entscheidungskonstellationen das Erfordernis einer besonderen Agentenintelligenz impliziert.

Wenn in den "*nontoy worlds*", mit denen es die AI-Disziplin faktisch zu tun hat, Wandel im Zeichen der Emergenz zu verstehen ist, betrifft das nicht nur die fundamentalen Strukturen der Realität, sondern es bedarf entsprechend einer Metaphysik, die diesem Verständnis von Wandel auch dezidiert entspricht. Auch darin unterscheiden sich die *deskriptive* und *revisionäre* Metaphysik, indem erste in keiner Weise auf dieses Verständnis von Wandel ausgelegt ist. Dabei handelt es sich bei dem Emergenzmoment des Wandels keineswegs um eine *metaphysische ad hoc Annahme* im Sinne Janlerts (1987); wie die Konzipierung des Wandels im *Common Sense* zeigt, ist eine solche *ad hoc Annahme* in keiner Weise opportun. Anders gewendet handelt es sich beim Emergenzmoment auch nicht um eine willkürlich gesetzte Annahme; vielmehr hat sie mit der Analyse der fundamentalen Strukturen der Realität und damit direkt mit der Metaphysik als solcher zu tun. Dabei hängt diese Annahme unmittelbar mit dem Ratio-Empirismus der *revisionären* Metaphysik zusammen, und das gleich in doppelter Hinsicht, was umgekehrt heißt, dass die *deskriptive* Metaphysik an dem für die AI-Disziplin entscheidenden Emergenzmoment des Wandels in doppelter Weise scheitert: Mit Pkt. 4.2 geht es einerseits um das Whiteheadsche »interplay between science and metaphysics«, indem ausgehend vom deutschen Idealismus bzw. darauf aufbauend von den Britischen Emergentisten das Emergenzmoment in Whiteheads ratio-empirische Weltauffassung in wissenschaftsadäquater Weise integriert wird.

Andererseits hängt dies im zirkulären Sinne mit dem Umstand zusammen, dass die *revisionäre* Metaphysik faktisch nach der Physik kommt, während die naive *deskriptive* Metaphysik eine Durchgängigkeit zu den Erfahrungswissenschaften gar nicht kennt. Allerdings kommt es bei den metaphysischen Grundlagen der Informatik genau darauf an: Wenn *cyber-physisches "Reality Computing"* die Cyber-Physik voraussetzt, dann ist selbstverständlich auch die Physik als Disziplin davon betroffen. Echte, physisch realisierte CPS-Artefakte, also solche synthetischer Realität, setzen die Grundlagen von beidem voraus, also gleichzeitig jene der Physik wie jene der Informatik. Wenn diese dabei im kausalen Systemsinne zu denken sind, dann ist natürlich zu fragen, inwiefern die Informatik und die Physik die gleichen metaphysischen Grundlagen teilen. Das fragt jedoch heute kaum ein Ontologe der Informatik, was wiederum zur Konsequenz hat, dass der ganze Ontologiedanke der Informatik CPS-inadäquat ist. Wenn jedoch bereits McCarthy/Hayes (1969) *metaphysisch und epistemologisch* adäquate Repräsentationen zum Ziel haben, kommt man kaum umhin, der Frage *Cyber-physischer Systeme* (CPS), die in ihrer Eigenart als emergentistische komplexe Systeme bereits bei H.A. Simon (1962) bzw. Bertalanffy (1968) erörtert werden, genauer nachzugehen. Dabei zeigt sich, dass die jüngere Physik selbst eine *emergentische Physik* ist; mathematische Physiker wie P. Davies (1989b), R. Penrose

¹¹⁹ Vgl. H.A. Simon (1973b).

(1997a) oder G.F.R. Ellis (2004) setzen ein emergentes Universum voraus, wobei diese "New Physics" insgesamt eine Komplexitätsphysik repräsentiert. Dass ihre metaphysische Weltauffassung dabei in der Kosmologie Whiteheads gründet, wird mit Pkt. 4.2 klarer, und somit wird vor den für die AI-Disziplin entscheidenden Momenten der Emergenz, Selbstorganisation, Komplexität, dem Grundstoff der Information wie insgesamt der ereigniszentrischen Cyber-Physik deutlich, wie abwegig es ist, die Ontologie der Informatik auf die Basis der deskriptiven Metaphysik zu stellen, wie es gemeinhin geschieht. Denn all diese Aspekte, die für die Informatik elementar sind, spielen bei dieser gar keine Rolle.

Natürlich besteht dabei wiederum eine direkte Verbindung zum *Frame Problem*, indem alle Aspekte des "Reality Computing" in erster Linie auf die jeweilige Realitätsauffassung zurückgehen. Entsprechend ist auch der Grund für die Verlagerung der Debatte auf das *Frame Problem II* zu sehen. Denn dieser besteht nicht zuletzt in der Einsicht, dass es in emergenten Kontexten gar nicht mehr um die vollständige Beschreibung *globaler Situationen* gehen kann. Vielmehr liegt die Ablösung des Situationskalküls durch den Ereigniskalkül darin begründet, dass an die Stelle beschreibbarer dynamischer Systeme in "nontoy worlds" nunmehr die verschiedensten Arten komplexer Systeme treten. Entsprechend setzt die moderne AI-Forschung voraus, dass kognitive Agenten unter Annahme begrenzter Rationalität in die perdurantistischen *Event Streams* Cyber-physischer Systeme (CPS) eingebettet sind. Und darin besteht zugleich die ursprüngliche Weltauffassung der Informatik, wie sie durch Whiteheads (1929a) Kosmologie dargelegt wird. Das *Frame Problem* ist vor diesem Hintergrund im Ganzen vor allem deshalb ungelöst, weil es bisher nicht auf Basis der eigentlichen Metaphysik der Informatik adressiert wird. Wenn im Rahmen des *Frame Problem II* die metaphysische Lösung allgemein bei Husserl, Heidegger, Merleau-Ponty oder aber in erfahrungswissenschaftlichen "Ersatzmetaphysiken" gesucht wird, zeigt sich, wie weit die Disziplin noch von seiner Lösung entfernt ist. Denn mit ratio-empirischer Metaphysik nach Maßgabe der Cyber-Physik hat das alles nichts zu tun; all die bemühten Ansätze können in keiner Weise das universale AI-Paradigma bilden, während sie nur für sehr ausgewählte Detailaspekte, namentlich für die Analyse von Kognitionsproblemen der menschlichen Agentenklasse, als aufschlussreich erachtet werden können. Dennoch ist zu konstatieren, dass der Problemfokus an sich nunmehr in die Whiteheadsche Richtung weist, etwa wenn Haselager/Van Rappard (1998: 161) konstatieren: »The frame problem arises when one attempts to model the human ability to keep track of relevant changes in the environment«, oder wenn Pollock (1997: 146) feststellt: »The Frame Problem arose in the context of an attempt to reason about persistence and change deductively«. Für Pollock (1997) ist dabei das Problem der *Perzeption* entscheidend, und damit das, worum es gerade in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik wesentlich geht. Mit der *Perzeption* stellt sich dann jenes Induktionsproblem, an dem J.H. Fetzer (1990b, 1990c) das *Frame Problem* festmacht und an dem sich die später mit Hayes/Ford erneut aufgeflammete Debatte im Dialog mit Hayes (1990) entzündet.

Bei der metaphysischen Voraussetzung emergenten Wandels in komplexen Welten ist J.H. Fetzers (1990b) Problem der Induktion natürlich gewiss berechtigt. Demnach ist das *Frame Problem* tatsächlich völlig anders zu sehen als bei Hayes (1987); vielmehr ist es auf Grundlage einer emergentistischen Metaphysik mit K.B. Korb (1998) ein konsequenter Schritt, den Aspekt der Induktion mit jenem der *Kausalität* zu verknüpfen; dann basiert das *Frame Problem* auf der »*Causal Induction Hypothesis* (CIH): the ability to learn the causal structure of physical systems is the necessary and sufficient condition of artificial intelligence«. ¹²⁰ Mit Perzeption und Kognition, der Frage realen Wandels, eingebetteten MAS-Agenten usf. bewegt sich das *Frame Problem* nun gewiss nicht mehr ausschließlich in den Sphären der *logischen* AI-Tradition, sondern es hat vielmehr die ganze AI-Disziplin erfasst und regelrecht durchsetzt. Es lässt sich gar feststellen, dass es mehr und mehr als eigentliches Kernproblem der *konnektionistischen* AI-Tradition identifiziert wird. Lormand (1990: 353) etwa bezeichnet das *Frame Problem* als »one of the deepest and most difficult problems of cognitive science«, während Bruineberg/Rietveld (2014: 10) analog in Bezug auf dieses von »one of the most important open questions in cognitive science« sprechen. Das ist ähnlich in der ganzen Tradition des *Frame Problem II* der Fall. Das eigentliche Problem ist jedoch darin zu sehen, dass es gar nicht mehr allein um die AI-Kognition geht. Entsprechend konstatiert Chow (2013: 309), dass sich das *Frame Problem* zu einem »epistemological problem for human cognition« verlagert habe, mit der Konsequenz, dass das Problem als solches nunmehr kaum mehr zu spezifizieren sei. Das ist faktisch richtig, wenn es zum Problem der Kognitionswissenschaften avanciert ist. Auch betrifft diese Kritik jene AI-Forscher, die die AI-bezogene Kognitionsproblematik lediglich mit Mitteln der Kognitionswissenschaften zu behandeln suchen. Dann ist das *Frame Problem* für die AI-Disziplin tatsächlich verloren, was insofern inakzeptabel ist, als es selbst als das eigentliche AI-Kernproblem einzustufen ist. Das *Frame Problem* muss an sich in die AI-Disziplin zurück, wobei diese den Kern der Informatik, nicht jenen der Kognitionswissenschaften bildet. ¹²¹

Offensichtlich liegen die Dinge dann anders, wenn man sie auf die für die Informatik adäquate Metaphysik stellt. Zunächst ist in dieser Sache festzustellen, dass das *Frame Problem* mit der faktischen Spaltung der AI-Disziplin zu tun hat, und zwar in Bezug auf Ursache wie auf seine Lösung: Alle im Kontext des *Frame Problem* bezogenen Positionen sind entweder direkt oder mindestens mittelbar metaphysisch bestimmt, insbesondere was die Voraussetzungen zu den fundamentalen Strukturen der Realität betrifft, die immer relevant sind. Es fehlt in der Debatte der rote Faden; es wird aneinander vorbei debattiert, indem die Metaphysik in den meisten Fällen lediglich implizit gesetzt wird, nicht aber explizit. Was der Debatte fehlt ist das, was mit unserer abschließenden zehnten Kernthese zum Ausdruck gebracht wurde: der Disziplin fehlt das unverstandene Leibnizprogramm. In der Tat zeigt sich die Sachlage auf dem in sich geschlossenen Fundament der Leibniz-

¹²⁰ Vgl. Korb (1998: 343), Hvh. des Orig.

¹²¹ Das heißt natürlich nicht, dass es nicht enge Verbindungen zu den Kognitionswissenschaften gibt.

Whiteheadschen Digitalmetaphysik weitaus klarer: mit ihr ist direkt evident, dass das *Frame Problem II* (i.w.S.) und das *Frame Problem I* (i.e.S.) unmittelbar zusammengehören und entsprechend auch so zu behandeln sind. Auf dem Fundament der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik, die um Poppers Welttypen zu ergänzen ist, läuft die eigentliche Gesamtlösung des *Frame Problem* auf die *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) als *Ontological Computing Framework* (OCF) hinaus. Es geht somit um die *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, die mit CYPO als hybride Agenten- und Ontologiearchitektur die formallogische *interne Repräsentation* bei McCarthy/Hayes (1969) substituiert. Dabei gilt es, den Situationskalkül durch einen erweiterten Ereigniskalkül zu ersetzen, wie er im *Complex Event Processing* (CEP) Verwendung findet. Auf dieser Grundlage erscheint das *Frame Problem* im Sinne der hybriden Agentenarchitektur durch ein *Ontology-driven Complex Event Processing* (CYPO OCEP) lösbar, das explizites Wissen auf Basis maschinellen Lernens mit implizitem Wissen verbindet.¹²² Dabei ist die CYPO Semantik auf Basis der revisionären *Klasse-4-Metaphysik* metaphysisch determiniert, wie es dem Grundgedanken des IMKO OCF entspricht.

Transformiert man die Devise "*AI is metaphysics*" in eine neutrale Analyse zur Klärung der für die AI-Disziplin bzw. Informatik adäquaten Metaphysik, lässt sich diese bereits vor dem Hintergrund des *Frame Problem* identifizieren. Wenn das *Frame Problem* als AI-Kernproblem rein *metaphysisch* bedingt ist, wird bereits an den folgenden zehn metaphysischen Alternativen beispielhaft deutlich, wie gegensätzlich das Ontologieproblem der Informatik in grundsätzlicher Hinsicht bestimmbar ist: (i) Hylemorphismus/Materialismus vs. Antimaterialismus; (ii) Cartesischer Dualismus vs. metaphysischer Logizismus; (iii) Subjekt-Objekt-Dichotomie (Descartes) vs. agentenbasierte Metaphysik (Kant, Whitehead); (iv) konstruktivistische Metaphysik vs. realistisch-kognitive Metaphysik; (v) Ontologie materieller Existenz (Materie) vs. Ontologie kausaler Wirksamkeit (Information); (vi) *Ontologien des Seins* vs. *Ontologien des Werdens* bzw. Substanz- vs. Prozessmetaphysik; (vii) reduktionistische vs. emergentistische Metaphysik; (viii) aktivitätszentrische (Seibt) vs. ereigniszentrische (Whitehead) Prozessphilosophie; (ix) deskriptive (Natural Language Metaphysics) vs. revisionäre Metaphysik; (x) *Commonsense Metaphysics* ("naive Metaphysics") bzw. *Common Sense Reality* vs. situativ-kontextuelle Kosmologie (cyber-physisches "*Reality Computing*").

Adäquat ist jene Metaphysik, über die sich die fundamentalen Defizite und Defekte überwinden lassen bzw. die die metaphysischen Dispositionen zur Lösung des *Frame Problem* sachgerecht setzt. Es muss sich dann um eine Metaphysik handeln, die mit Blick auf die Adaption in Cyber-physischen Systemen (CPS) die Cyber-Physik verkörpert. Das kann sie nur dann, wenn sie faktisch nach der Physik kommt und zu dieser durchgängig ist, während sie darüber hinaus am Grundstoff der Information festmacht. Andererseits muss

¹²² Auf dieser Basis gibt es auch keinen zwingenden Gegensatz zwischen *induktiv* und *deduktiv* veranlagter adaptiver Intelligenz, indem eine hybride Agentenarchitektur beide Verfahren nutzt und verbindet.

sie als Cyber-Physik logico-mathematisch konzipiert sein, damit sie gleichzeitig dem Digitalen zugänglich ist. Dann muss sie das Digitale und das Physische mit dem Prinzip kausaler Wirksamkeit auf eine einheitliche, durchgängige Basis bringen, wobei es allein die Cyber-Physik als Metaphysik ist, auf deren Grundlage sich der Gedanke *Cyber-physischer Systeme* (CPS) wie jener des *CPST-Hyperspace* insgesamt begründen lässt. Wenn das *Frame Problem* im Kern in der internen Repräsentation einer sich wandelnden Welt besteht, dann spielt jeder einzelne der oben beispielhaft genannten zehn Gegensätze wie eine Reihe weiterer metaphysischer Aspekte für seine Konstitution und seine Lösung eine elementare Rolle. Mit anderen Worten gibt es metaphysische Konstellationen, in denen das *Frame Problem* gegeben bleibt, und solche, in denen es grundsätzlich eliminiert ist. Universal ist das *Frame Problem* dabei allein auf Basis der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik lösbar. Indem das durch McCarthy/Hayes (1969) in die AI-Debatte eingebrachte *Frame Problem* namentlich auf McCarthy zurückgeht,¹²³ ist damit McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" in dieser exemplarischen Sache beantwortet.

Mit den zehn beispielhaft genannten metaphysischen Gegensätzen wird deutlich, dass jede Entwicklung von AI-Technologien mit der Bestimmung der metaphysischen Dispositionen beginnen muss. Im Hinblick auf den für die AI-Disziplin entscheidenden Wandel der realen Welt kann ihre Basis nur in einer *Metaphysik des Wandels* bestehen. In Bezug auf McCarthys (1995) Frage der Weltauffassung wäre für die interne Repräsentation alles andere verfehlt. Wenn es in der Cyber-Physik um Multiagentensysteme (MAS) und *Complex Adaptive Systems* (CAS) geht, wenn ihr Wandel mit Mainzer (2007a) im Sinne der Emergenz, emergenten Ordnungsmustern, und schließlich auch im Sinne emergenter Entitäten zu verstehen ist, muss auch die interne Repräsentation damit umzugehen verstehen. Ansonsten handelt es sich um eine CPS-inadäquate Ontologie. Die Informatik ist eine technologische Disziplin Leibniz-Whiteheadscher Digitalmetaphysik und als solche steht sie unabdingbar unter dem Regime der Cyber-Physik. Daraus folgt, dass alle Ontologie der Informatik allein CPS-adäquate Ontologie sein kann. Indessen wird heute kein einziger Ontologieansatz dieser Ontologieanforderung im Kern gerecht; mit anderen Worten gibt es keine einzige Ontologiekonzeption, die dezidiert auf die Cyber-Physik ausgerichtet ist, also auf das, was die Informatik unmissverständlich charakterisiert. Dabei resultieren aus der Cyber-Physik erst jene Anforderungen, deren Spezifikation jeder CPST- bzw. IoX-konforme TLO-Theorieanwärter zu entsprechen hat. In der im siebten Teil entwickelten Anforderungsspezifikation besteht nicht zuletzt deshalb ein neuer Ansatz eines *Requirements Engineering*, als alle Ontologien der Informatik bisher an der cyber-physischen Basis der Digitalmetaphysik vorbei entwickelt worden sind. Mit Cyber-physischen Systemen (CPS) ist die Cyber-Physik jedoch konsensuell vorauszusetzen, und dann eröffnet sich für die Informatik jene Grundlegung, die ihr bisher gefehlt hat: die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik als Cyber-Physik.

¹²³ Vgl. Hayes (1987).

Konkret ist dabei vom CPST-Hyperspace auszugehen, der in Form des IoX-Hyperspace zu konkretisieren ist, indem es um konkrete IoX-Internettechnologien wie das Complex Event Processing (CEP), ED-SOA oder um das konkrete Zusammenspiel von Edge Computing und Cloud Computing geht. In diesem technischen Sinne ist die Anforderungsspezifikation entsprechend auf den IoX-Hyperspace zu beziehen, und nur auf diese Weise lässt sie sich universal wie systematisch bestimmen. Mit anderen Worten gibt es dazu keine Alternative; und wenn darin der einzige Weg zur Lösung der Ontologieproblematik der Informatik besteht, dann müssen sich folglich auch alle Ontologieverständnisse, alle Ontologiekonzeptionen bzw. alle TLO-Theorieanwärter einem darauf gründenden Evaluierungs- und Selektionsprozess stellen. Wenn es um die Frage der universalen Grundlagen der Informatik geht, gibt es kein einziges Argument, mit dem sich ein Ontologieansatz diesem *Procedere* entziehen könnte. Vor dem Hintergrund des Automatenuniversums der Digitalmetaphysik wie konkret vor dem Hintergrund des MAS/CAS-Aspekts der agentenbasierten Cyber-Physik ist etwa eine *Relationenontologie* im Whiteheadschen Sinne voranzusetzen. Alle Welten der Informatik bilden an sich vernetzte Welten; es handelt sich um Strukturuniversen, die bei Voraussetzung des metaphysischen Realismus, der mit der Cyber-Physik bzw. der CPS-Gestaltbarkeit gesetzt ist, in einem Strukturenrealismus mündet. Die Strukturen existieren dabei in dem Sinne genauso real, wie es jeweils für das *Prinzip kausaler Wirksamkeit* gilt. Im Grunde geht jedoch die ganze Ontologie der Informatik an ihrer eigentlichen Charakteristik komplett vorbei. Denn im Grunde setzen alle Ontologieansätze der Informatik entweder eine veraltete, eine falsche oder eine naive Weltauffassung voraus. In vielen Ansätzen geht es in Nachwirkung der alten Substanztradition dabei um letztlich isoliert gedachte Objekte, die sich entsprechend der linguistischen bzw. sprachphilosophischen Grammatik bzw. vor dem Hintergrund des Cartesischen Dualismus konkret abgrenzen lassen. Doch diese einfache Beschreibbarkeit geht an der eigentlichen Beschaffenheit jener Welten, mit denen es die Informatik zu tun hat, letztlich komplett vorbei. In den Worten Poppers (1963a: 137) liegt dieser Ansatz die verfehlte Auffassung zugrunde, »that one should study the problems of the theory of knowledge in connection with our knowledge of an orange rather than our knowledge of the cosmos«.

Für die AI-Disziplin kann darin insofern keine Alternative bestehen, als mit Blick auf McCarthy (1963a: 66) Superintelligenzargument außer Zweifel steht, dass die AI-Grundlagen und damit gerade auch die Ontologien so exakt wie möglich zu fassen sind. Vor diesem Hintergrund bringt McCarthy (2007: 1176) das Problem im Grunde selbst auf den Punkt, wenn er einräumt: »Common sense facts and common sense reasoning are necessarily imprecise«. – Wie soll es um superintelligentes Problemlösungsvermögen gehen können, wenn die Realitätsauffassung der Agenten jener des naiven Alltagsverstands entspricht? *Cyber-physische Systeme* (CPS) können in allen Bereichen, ob im *Internet of Vehicles* (IoV), dem *Internet of Medical Things* (IoMT) oder der *Smart Factory* weder auf einer naiven Realitätsauffassung gründen noch auf unpräziser Basis operieren; jede Ände-

rung einer Verkehrssituation, jede Auswirkung einer chemischen Reaktion und jede präzise Maschinensteuerung oder prädiktive Maschinenwartung erfordern vielmehr eine Wissensbasis, die so exakt wie möglich ist. Sie muss daher auf *Scientific Ontologies* als *primären* Ontologietypus und damit unmittelbar korrespondierende technologische und praktische Ontologien hinauslaufen, also auf das, was erst noch zu entwickeln ist. Wenngleich der zentrale Treiber dieser Entwicklung im IoT-Subsystem gegeben ist, sind die anderen vier Subsysteme davon selbstverständlich unmittelbar betroffen. Denn die ontologische Interdependenz ist direkte Konsequenz der Systemintegration bzw. der semantischen Interoperabilität aller IoX-Prozesse bzw. –Services. Entsprechend müssen Daten (IoD), Services (IoS) wie das Verhalten maschineller Agenten (IoA) genauso exakt sein, indem sie die IoT-Infrastruktur maßgeblich mitbegründen. Und auch IoP-Interaktionen gehören dazu, mindestens im Sinne der *Human-Computer Interaction* (HCI), letztlich jedoch in der direkten Verschmelzung aller vier Welttypen des CPST- bzw. IoX-Hyperspace. Dabei lässt sich zwar die Inexaktheit der Alltagssprache bei IoT-bezogenen IoP-Voice-Befehlen mit Prüfroutinen abfangen und im Allgemeinen semantisch ausmerzen. Dennoch ist eine Inkompatibilität des *Common Sense* im IoP-Bereich mit *Scientific Ontologies* insbesondere in Bezug auf den "*general world view*" zu vermeiden; in jedem Fall kann dieser in einer integrierten Ontologiearchitektur immer nur nachgeordnet sein.

Für die Informatik ist cyber-physisches "*Reality Computing*" konstituierend, und dieses kann allein an einem kosmologischen Realitätsverständnis im Leibniz-Whitehead-Popperschen Sinne festmachen. Natürlich ist die AI-Realität eine cyber-physische Realität bzw. jene des *CPST-Hyperspace* insgesamt; sie kann in kausaler Hinsicht gar keine andere sein. Dann aber beginnen die fundamentalen AI-Ontologieprobleme damit, dass eine cyber-physische Realität weder auf sprachphilosophischer Basis noch auf jener einer *Common Sense Reality* sachgerecht denkbar ist. Dabei kommt noch hinzu, dass erste auf der falschen *Harmonie-These*, und zweite auf der unhaltbaren Idee *metaphysischer ad hoc Annahmen* aufsetzt. Darüber hinaus kann natürlich auch kein materialistisches Ontologieverständnis eine cyber-physische Realität begründen. Denn das realitätskonstituierende Prinzip ist bei allen genannten Ansätzen, die heute in der Informatik gängig sind, ein anderes. Es stellt nämlich auf die Frage der *materiellen Existenz von Objekten* ab. Demgegenüber ist das realitätskonstituierende Prinzip der Cyber-Physik im *Prinzip kausaler Wirksamkeit* gegeben. Damit ist indes keinesfalls ausgesagt, dass die *materielle Existenz* unbedeutend ist; natürlich handelt es sich dabei um ein wesentliches physisches Merkmal; nur kann es nicht das kosmologische *Universalprinzip* bilden. Doch genau darum geht es bei der Ontologie, sofern sie sachgerecht als *metaphysica generalis* verstanden wird. Insofern liegt Poppers (1963a) Kritik richtig; denn die ontologische Frage realer Existenz kann weder am Hylemorphismus noch anhand der Cartesischen *res extensa* als Universalprinzip festgemacht werden, wenn eine cyber-physische AI-Realität vorauszusetzen ist. Wenn vielmehr das *Prinzip kausaler Wirksamkeit* für den Realitätsaspekt konstituierend ist, dann geht es

essentiell im relationalen Sinne um die Verknüpfung von Entitäten und damit um das, was bei Whitehead (1929a: 20) als *Nexus* bezeichnet wird. Wenn dabei jede Entität in einem situativ-kontextuellen Gefüge steht, dann muss die Realität insgesamt im Zeichen *komplexer Systeme* verstanden werden. Mit Pkt. 4.2 zeigt sich, dass dies durchaus im Sinne eines prozessualen Strukturenrealismus gilt, indem der metaphysische Realismus bereits als technologische Disposition des CPST- bzw. IoX-Hyperspace vorauszusetzen ist. Es gibt also keine guten Gründe, die dafür sprechen, sich auf eine methodologische Position zurückzuziehen. Ohne diese grundlegendste aller Hypothesen lässt sich eine cyber-physische Systemgestaltbarkeit genauso wenig rechtfertigen wie der Umstand, dass alle Agenten faktisch den identischen Möglichkeiten und Restriktionen der Cyber-Physik unterliegen.

Während die *Commonsense Metaphysics* einerseits und die Cartesische Metaphysik andererseits erst das *Frame Problem I* induzieren, sind es andere Metaphysiken, die sich speziell im Kontext des *Frame Problem II* als ungeeignet erweisen. Natürlich trifft dies auf alle Metaphysiken zu, die nicht *Metaphysik des Wandels* sind. Doch selbst jene Ansätze, in denen es um Prozesse, um Emergenz und Komplexität geht, sind nicht automatisch zur Lösung des *Frame Problem II* prädestiniert. Bunges (1977a) emergentistische Metaphysik veranschaulicht diese Nichtentsprechung in direkter Weise; sie entspricht zwar vielen Aspekten, die zur Lösung des *Frame Problem II* von Relevanz sind, gewiss aber vielen anderen nicht. Sie ist Metaphysik auf Basis der Physik, jedoch weder auf Basis einer modernen "New Physics" noch vor allem der Cyber-Physik. Vielmehr besteht in dieser Sache geradezu ein Konflikt. Vor allem aber handelt es sich nicht um einen agentenbasierten Metaphysikansatz, was ihn bereits für eine metaphysische AI-Fundierung disqualifiziert. Warum die Bungesche Metaphysik insbesondere im Zuge der konzeptuellen Modellierung einen großen Stellenwert in der Informatik besitzt, erschließt sich bei neutraler Analyse nicht: Es ist vor allem der Bungesche Systemismus mitsamt des Technologiegedankens, der für eine Reihe von Informatikern ausschlaggebend ist. Allerdings übersehen sie, dass es dabei weder um Cyber-physische Systeme (CPS) noch um 4D-Event Streams der Cyber-Physik geht. Vielmehr geht es darum bei Bunge gerade explizit nicht. Wenn die Bungesche Metaphysik durchaus richtige Momente wie den Ratio-Empirismus besitzt, zeigt sich, wie schwierig es ist, den umfassenden metaphysischen Anforderungen der Informatik zu genügen. Sie ist zwar wissenschaftliche Metaphysik mit einer Durchgängigkeit zur Physik, kann als Klasse-3-Metaphysik jedoch nicht der erforderlichen Realitätsauffassung entsprechen. Dabei liegt ihr Problem im Zusammenhang mit ihrem emergentistischen Materialismus nicht zuletzt darin, dass sie nicht mit den modernen Erfahrungswissenschaften konform geht. Obschon es auch bei Bunge um Komplexität und Selbstorganisation geht, ist sie weder mit Prigogines *Theorie dissipativer Strukturen* noch mit sonstigen Ansätzen der Komplexitätsforschung kompatibel.

Demgegenüber korrespondiert die ganze moderne emergentistische Wissenschaftspraxis mit der Prozessmetaphysik Whiteheads. Insofern gilt: Wird die Informatik systematisch

auf die Grundlage der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik gestellt, dann ist sie auch mit den modernen Wissenschaften und Technologien kompatibel. Umgekehrt lässt sich argumentieren, dass diese Kompatibilität, auf die es in vielerlei Hinsicht mit der Schlüsselstellung der Informatik ankommt, ohne das Voraussetzen der gleichen metaphysischen Dispositionen unrealisierbar ist. Auch insofern liegt es nahe, mit der ganzen gegenwärtigen Ontologie der Informatik zu brechen, die an den Momenten *komplexer Systeme*, an der Selbstorganisation, der Emergenzproblematik sowie dem Grund- bzw. Urstoff der Information mitsamt des Realitätsprinzips kausaler Wirksamkeit im Grunde vollständig vorbeigeht. Denn all diese Momente laufen in einer kategorialen Struktur zusammen, die im Allgemeinen eine andere ist als jene, die durch die bisherigen Top-level Ontologien zugrundegelegt wird. Zudem stehen die meisten AI-Ontologien mindestens in einem phänomenologisch-subjektivistischen kognitiven Schema oder sind gar im Ganzen konstruktivistisch veranlagt. Natürlich ist der subjektivistische Agentenstandpunkt im Sinne der GOFAI-Kritik in die Natur zu reintegrieren, jedoch mit Pkt. 5.6 gewiss nicht im Sinne der Phänomenologie. Denn diese hat mit revisionärer Metaphysik als Cyber-Physik genauso wenig zu tun wie mit Kosmologie oder dem metaphysischen Realismus. Auf Basis der Phänomenologie wäre die Informatik bzw. die AI-Disziplin jenseits einer oberflächlichen Verbindung zu den Kognitionswissenschaften von der eigentlichen Wissenschafts- und Technologiepraxis isoliert. Denn die moderne Wissenschaftspraxis hat weder ein Problem mit dem metaphysischen Realismus noch mit Metaphysik überhaupt; sie ist vielmehr auf Grundlage der Whiteheadschen Weltauffassung kosmologisch orientiert und bedarf einer ratio-empirischen Metaphysik, indem ihre Emergenz-, Selbstorganisations- und Komplexitätsprinzipien disziplinär durchgängig sind. Dabei lässt sich dieses Transdisziplinaritätsmoment als realistisches Moment allein über die Metaphysik gewährleisten. Die Ontologen der Informatik unterliegen immer noch jener »'Angst vor der Metaphysik'«, die für Physiker wie Einstein nicht nachvollziehbar ist.¹²⁴ Diese Angst ist, wie Einstein feststellt, tatsächlich "verhängnisvoll", indem den Ontologen der Informatik damit jede Orientierung entzogen ist, wie es mit dem *Frame Problem* offensichtlich wird. Zwar eröffnen McCarthy/Hayes (1969) diese Debatte explizit im Kontext der Frage *metaphysisch* adäquater Repräsentationen, doch wagen sich die meisten Ontologen bzw. Informatiker nicht auf metaphysisches Terrain vor. In dieser unbegründeten Angst vor der Metaphysik besteht der Kardinalfehler, an dem die erfolgreiche Weiterentwicklung der ganzen Disziplin hängt.

Mit dem Superintelligenzargument muss die Losung "*AI is metaphysics*" die Devise der Informatik sein, weil ihre Prosperität zur Normalwissenschaft die Fundamente der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik einfordert. Die meisten Informatiker verkennen jedoch die Grundlagen ihrer Disziplin bei Leibniz insofern, als sie bisher die Einsicht der Notwendigkeit zur digitalmetaphysischen Verankerung ihrer Disziplin nicht teilen. Mit ihrer verhängnisvollen »'Angst vor der Metaphysik'« sind sie noch im Gestern; nicht selten als

¹²⁴ Vgl. dazu im Einzelnen Pkt. 4.1.

Gefangene des sozialen Regimes der positivistischen Denktradition, die nicht weniger Unheil angerichtet hat als schlechte Metaphysik. Das ist das, was sie gerade zumeist als deskriptive Metaphysik selbst betreiben, bzw. alles, was mit Pkt. 4.1 unterhalb der *Klasse-4-Metaphysik* als strukturalistische Cyber-Physik liegt. Aus »'Angst vor der Metaphysik'« betreiben die Ontologen der Informatik im Sinne Janlerts (1987) keine explizite, sondern implizite Metaphysik, wobei sie regelmäßig auf *metaphysische ad hoc Annahmen* zurückgreifen. Sie setzen mitunter auf die naive *Commonsense Metaphysics*, um sich nicht dem – allerdings antiquierten – positivistischen Vorwurf auszusetzen, sie betrieben explizit Metaphysik. Indem sich in solch naiven Metaphysiken etwa das Emergenzmoment nicht findet, suchen sie diese Defizite dadurch zu heilen, dass sie solche und andere Grundlagen der Informatik etwa in den Tiefen der biologischen Disziplin oder den Neurowissenschaften suchen. Analog dazu ist es ein Trugschluss, dass sich das AI-Moment der Kognition allein mit Mitteln der Kognitionswissenschaften begründen lässt. Wie das *Frame Problem* zeigt, laufen sie dabei regelmäßig Gefahr, die eigentlichen Momente der Informatik aus den Augen zu verlieren. Solche metaphysischen Alternativstrategien sind regelmäßig falsch; doch im Fall der Informatik wiegt dieser Fehler besonders schwer, indem sie mit dem Grundstoff der Information strukturwissenschaftliche Schlüsseldisziplin ist. Als solche können ihre Grundlagen nur transdisziplinäre sein. Entsprechend lassen sich ihre Fragen natürlich keinesfalls hinreichend mit Mitteln der einen oder anderen isolierten Einzelwissenschaft multidisziplinär, sondern nur im kosmologischen Ganzen *transdisziplinär* klären. Metaphysik ist aus dem Grunde unverzichtbar, als es um eine Diskursebene geht, die es in den Einzelwissenschaften gar nicht gibt, indem für die AI-Disziplin wie für die Informatik die *Cyber-Physik* entscheidend ist, bei der nicht einzelne Weltausschnitte, sondern das kosmologische Weltganze, die fundamentalen Strukturen der Realität, im Fokus stehen. Vor diesem Hintergrund liegt der Physiker Born (1956: 94) richtig, wenn er feststellt, dass *Metaphysik* nicht mehr und nicht weniger als »an investigation into the general features of the *structure* of the world and our methods to deal with this *structure*« verkörpert.¹²⁵

In diesem strukturalistischen Sinne ist jede Frage nach den Entitäten eines Diskursuniversums bereits Metaphysik, und genau so und nicht anders sollte beides verstanden werden. Und dann geht es entsprechend bei der Ontologie von vornherein um Metaphysik, auch wenn selbst Verfechter eines philosophischen wie betont realitätsgerichteten Ontologieverständnisses wie Smith/Ceusters (2010) darauf insistieren, dass sie keine Metaphysik, sondern lediglich *Methodologie* betrieben. Es gibt aber keine Methodologie ohne fundamentale Annahmen; bei B. Smith etwa verbergen sich diese allein schon im neo-aristotelischen Substanzkern, in der Auswahl der Top-level Kategorien, in seiner phänomenologischen Position, in den grammatikalischen Kategorien der Normalsprache usw. Bei allen anderen ontologischen Positionen, AI-Ansätzen oder konzeptuellen Methoden ist es natürlich nicht anders. Immer ist eine fundamentale Weltauffassung vorhanden, was zumindest

¹²⁵ Hvh. des Verf.

McCarthy (1995) klar ist, wenn er die Frage nach dem "*general world view*" stellt. Die Sache der fundamentalen Weltauffassung ist aus dem Grunde in besonderer Weise herauszustellen, als jede Synthese, jede Konsolidierung der AI-Disziplin unmöglich ist, wenn nicht zuvor Klarheit über die fundamentalen Strukturen der Welten besteht, wenn nicht die oftmals versteckten Annahmen, die jeder AI-Ansatz besitzt, freigelegt sind. Aus dieser Feststellung resultiert eine weitere, nämlich der Umstand, dass sich damit das AI-Problem einschließlich der AI-Ontologiefrage auf eine andere Ebene verschiebt, nämlich auf jene der Metaphysik. Wie bereits herausgestellt, wäre es verfehlt, AI-Ansätze zu entwickeln, ohne zuvor das Problem der Metaphysik geklärt zu haben. Konkret geht es dabei um die Frage der für die AI-Disziplin bzw. die Informatik insgesamt adäquaten Metaphysik.

Wenn es um die Frage der für die Informatik bzw. AI-Disziplin adäquaten Metaphysik geht, ist es unsinnig wie Vernon/Furlong (2007) von vornherein zu erklären, dass die philosophischen AI-Grundlagen der *phänomenologischen* Position entsprächen bzw. auf diese einzuschränken seien. Sie können damit McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" kaum verstanden haben, indem diese gleichzusetzen ist mit jener nach den philosophischen AI-Grundlagen bzw. der für sie adäquaten Metaphysik. Was McCarthy (1995) vorschwebt ist gerade die unvoreingenommene *Reflexion* aller denkbaren Philosophien und kein Bekenntnis. Das umso mehr, als von einer ganzen Reihe höchst heterogener philosophischer bzw. metaphysischer Ansätze mindestens implizit behauptet wird, dass es sich dabei um die für die Informatik adäquate philosophische Begründung handele. Allerdings wird dafür niemals ein tatsächlicher Nachweis erbracht, und letztlich liegen all diese Fälle genauso falsch wie Vernon/Furlong (2007) mit ihrer unbedachten These. Diese Kritik ist umso mehr zu bekräftigen, als bisher nie versucht wurde, die Frage der adäquaten metaphysischen Fundierung in neutraler Weise systematisch zu untersuchen. Wenn im Zuge unserer zehn Kernthesen ausgeführt wurde, dass in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik die eigentliche Metaphysik der Informatik verborgen liegt, dann handelt es sich dabei nicht um eine vorschnelle Hypothese, sondern vielmehr um ein zentrales Ergebnis der vorliegenden Abhandlung. Dabei wird dieser Schluss auf Grundlage verschiedenster Diskurse und in komparativer Analyse alternativer Ansätze im Einzelnen begründet.

Indem die Position, wonach alles *Computing* als *Ontological Computing* zu erachten ist, kaum einem gängigen AI-Paradigma entspricht, ist an dieser Stelle zunächst eine genauere Standortbestimmung vorzunehmen. In der Tat stimmt diese Position auf den ersten Blick weder unmittelbar mit der ersten noch mit der zweiten AI-Generation überein, wobei die erste die klassische AI-Position der erwähnten GOFAI-Ansätze verkörpert, während die zweite im Konnektionismus besteht. Dabei wird im Allgemeinen ein Gegensatz dieser beiden AI-Generationen konstatiert, womit es um GOFAI vs. Konnektionismus oder alternativ um symbolische vs. emergentisch-kognitive AI-Ansätze, oder profaner um "old AI" vs. "new AI" geht. Das hat zur Konsequenz, dass der Term "*Artifizielle Intelligenz*" bei Pfeifer/Iida (2004) auch mit zwei unterschiedlichen Bedeutungen konnotiert wird, was ein ty-

pisches Merkmal für den protowissenschaftlichen Stand einer Disziplin ist. Indem sie noch in einer grundsätzlichen Entwicklungsphase begriffen ist, erscheint es zielführend, von einer ersten und zweiten AI-Generation zu sprechen, wobei beide Generationen in mehr oder weniger isolierter Weise koexistieren. Insofern ist der Generationsgedanke inhaltlich betrachtet eigentlich kaum angezeigt, insbesondere wenn davon auszugehen ist, dass beide AI-Paradigmen in dieser inhaltlichen Hinsicht dauerhaft von Relevanz bleiben. Dennoch steht er hier im Mittelpunkt, indem ohne Zweifel davon auszugehen ist, dass es nicht bei diesen beiden AI-Generationen bleiben wird. Tatsächlich kann keine von ihnen überzeugen, wenn es um die Frage einer allgemeinen AI-Grundlegung geht. Dazu wird vielmehr eine Synthese einschließlich konsolidierender Korrektur erforderlich, in deren Zuge eine dritte AI-Generation zu konstatieren sein wird. Die Symbiose von erster und zweiter AI-Generation ist samt konsolidierender Korrektur aus dem Grunde unabdingbar, als keine der damit verbundenen AI-Technologien verzichtbar ist und sie an sich komplementärer Natur sind. Zudem kann in einer reifen Disziplin unter der Bezeichnung *Artifizielle Intelligenz* inhaltlich nicht etwas jeweils Andersartiges verstanden sein. Dabei geht es weniger um die Zulässigkeit paradigmatischer Vielfalt als vielmehr darum, die fundamentalen Fragen der Disziplin auf ein dauerhaft tragfähiges Gerüst zu stellen. Widersprüche in fundamentalen Fragen sind im theoretischen Bereich temporär hinnehmbar; in praktischer Hinsicht ist dies jedoch immer weniger möglich, indem in komplexen Systemen neue Varianten von GOFAI-Ansätzen zunehmend parallel zu konnektionistischen Ansätzen eingesetzt werden. Entsprechend sind bei autonomen AI-Systemen widersprüchliche Fundamente zu vermeiden. Indem beide AI-Generationen zudem noch in sich heterogen ausdifferenziert sind, variiert die Frage, wie widersprüchlich beide AI-Strömungen jeweils zueinander sind.

Bei GOFAI-Ansätzen als erster AI-Generation gründet *Artifizielle Intelligenz* auf der symbolischen Repräsentation auf Basis formaler Logik. Intelligenz beruht in diesem Ansatz dabei grundsätzlich auf symbolischer Manipulation mit Mitteln mathematischer Logik. GOFAI-Ansätze werden daher teils auch als *Logical AI* bezeichnet. In den ursprünglichen GOFAI-Ansätzen, auf die sich die Kritik bei H.L. Dreyfus (1965, 1972) bezieht, wird darüber hinaus das menschliche Problemlösungsvermögen mit Newell/Simon (1963) als physisches Symbolsystem verstanden. Während die Arbeiten von Newell/Shaw/Simon (1963) sich insbesondere auf Schachautomaten beziehen, geht es etwa bei Fikes/Nilsson (1971) mit STRIPS um nichtsituative Planungsalgorithmen,¹²⁶ die sich im Bereich der Robotik auf verschiedene Weltmodelle beziehen. Dabei sind mit "Welten" *Mikrowelten* gemeint, in die das jeweilige AI-System eingebunden ist. Jenseits von Fikes/Nilsson (1971) wird dabei etwa bei Pednault (1989) auch auf den Situationskalkül (SC) McCarthy's (1963b) bzw. McCarthy/Hayes' (1969) abgestellt. Auf SC-Basis werden dann die Aktionen beschrieben, die für einen Agenten bzw. Automaten in einer bestimmten Sequenz von Situationen gelten. GOFAI-Ansätze entsprechen vor diesem Hintergrund insofern dem

¹²⁶ Vgl. dazu auch Fn. 2169.

Paradigma des *Programmable Computing*, als das Verhalten des Agenten *ex ante* vorbestimmt wird; es geht also um geplantes bzw. programmiertes Verhalten. Die Verhaltensregeln sind entsprechend determiniert. Ein GOFAI-System kann sich also nicht durch situatives Lernen auf unvorhergesehene Situationen einrichten, wie es hingegen mit der zweiten AI-Generation möglich wird. Während es im GOFAI-Kern etwa mit Newell/Simon (1956) um einfache logische Programmierung geht, kommen in anderen Ansätzen, etwa bei Quillian (1966) semantische Netze bzw. mit McCarthy/Hayes (1969) der bereits durch Mealy (1967) in die Datenmodellierung eingeführte Ontologiegedanke hinzu. Im Grunde geht es von Anfang an um die *interne Repräsentation* von Welten, was schließlich das *Frame Problem* konstituiert. Dabei steht die maßgebliche AI-Auffassung McCarthys immer schon in epistemologischen bzw. ontologischen Kategorien. So gesehen kann die symbolische Repräsentation auch generell mit der *Knowledge Representation* (KR) gleichgesetzt werden, während Newell (1982) erst später einen gesonderten *Knowledge Level* differenziert.

Analog zu anderen AI-Technologien besitzen GOFAI-Ansätze in einer Reihe von Hinsichten spezifische metaphysische Positionen. Das beginnt bei ihren epistemologischen und ontologischen Annahmen, auf die H.L. Dreyfus (1972) abstellt; von diesen lässt sich letztlich ein metaphysischer wie epistemologischer Realismus ableiten: es wird eine objektive, externe Realität vorausgesetzt, die erkennbar und damit programmierbar ist. Nicht zuletzt auf Basis der gültigen Gesamtfakten von Mathematik und Physik geht auch McCarthy (1999: 73) explizit von der Existenz einer *objektiven Welt* aus. Wenn er gleichermaßen die Korrespondenztheorie der Wahrheit explizit voraussetzt, gilt für ihn der metaphysische wie epistemologische Realismus. GOFAI-Systeme können tatsächlich allein unter dieser Voraussetzung einwandfrei funktionieren, während der Konnektionismus mit seiner Prämisse der Emergenz in dieser Sache im Allgemeinen ganz disparate Auffassungen vertritt. Wenn die GOFAI-Tradition explizit mit der Cartesischen Metaphysik assoziiert wird,¹²⁷ lässt sich in der Tat ein Dualismus zwischen dem internen Modell und der externen Welt konstatieren. Im Sinne der externen Programmierung besteht hier auch die klassische Subjekt-Objekt-Dichotomie fort. – Den Protagonisten des *Semantic Web* (SW) wird bisweilen vorgehalten, dass sie die GOFAI-Tradition fortsetzen,¹²⁸ dies wird jedoch zurückgewiesen mit dem Argument,¹²⁹ dass es hier im Gegensatz zum Cyc-Ansatz nicht um ein ontologisches Totalmodell gehe, in dem alles vordefiniert ist.¹³⁰ Umgekehrt wird auch von anderer Seite der Cyc-Ansatz in der GOFAI-Tradition gesehen.¹³¹ AI-Ontologien stehen dabei immer in der KR-Sphäre, jedoch keineswegs prinzipiell zwingend in der GOFAI-Tradition. Zwar geht die Entwicklung dahin, SW-Technologien mit dem *Cognitive Computing* (CC) zu kombinieren. Doch besteht im Kern eine GOFAI-

¹²⁷ Vgl. M.L. Anderson (2003).

¹²⁸ Vgl. etwa Wilks/Brewster (2006).

¹²⁹ Vgl. etwa Berners-Lee/Hall et al. (2006a: 73-75).

¹³⁰ Vgl. O'Hara/Hall (2012: 336 f.).

¹³¹ Vgl. D. McDermott (1987a) sowie M.L. Anderson (2003).

Verwandtschaft insofern, als beide Ontologieansätze zum einen der Idee der deskriptiven Metaphysik und ihrer Harmonie-These entsprechen, zum anderen im Gruberschen (1993, 1995) Ontologieverständnis stehen. Der ältere Cyc-Ansatz entspricht diesem im linguistischen Sinne des *Common Sense* implizit,¹³² während die SW-Ontologien explizit auf Gruber aufsetzen.¹³³ Beide Ansätze haben je nach Grad der GOFAI-Verwandtschaft Probleme mit kognitiven Agenten, die unmittelbar in die cyber-physische Realität eingebunden sind.

Bei Cyc sind die Probleme darin zu sehen, dass die externe Welt im Zuge der internen Repräsentation vorbeschrieben ist; die Ontologiearchitektur ist also nicht auf die situative, subjektivistische wie cyber-physische Agenten-Umwelt-Interaktion ausgelegt. Vielmehr besteht die Cyc-Idee lediglich in einer Art allgemein akzeptierten Hintergrundwissens des Alltagsverstands, das ein Agent abrufen kann. Insofern liegen die Dinge bei Cyc tatsächlich analog zu den GOFAI-Ansätzen und im Grunde ist Cyc als Ergänzung zu diesen gedacht. Denn die GOFAI-Ansätze beziehen sich subjektiv auf die Programmierung des Agenten, während Cyc das objektivierte Hintergrundwissen bereithält. Demgegenüber liegen die Probleme im SW-Fall ganz anders, sind jedoch nicht weniger elementar. Sie bestehen zum einen darin, dass die SW-Architektur im Wesentlichen auf rein digitale Objekte fixiert ist,¹³⁴ ihre Idee zielt allein auf die semantische Erweiterung des WWW-Cyberspace, also auf das, was hier als IoP-Sphäre behandelt wird. Ungeachtet von nachträglichen Entwicklungen wie der SSN Sensorontologie zeigt sich die SW-Architektur nicht vor dem Hintergrund der physischen IoT-Realitätsanforderungen entwickelt. Zum anderen gilt hier die Harmonie-These genauso wie bei Cyc; im Grunde gar noch stärker, als das *RDF Triple* allein an der Grammatik der Alltagssprache festmacht, während mit Cyc UCO zumindest die Frage nach den *Top-level Kategorien* gestellt wird.

Während das Cyc-Problem also in einer vorbestimmten ontologischen Repräsentation zu sehen ist, das sich jedoch in Kombination mit einer subjektivistischen Agentenrepräsentation relativiert, liegt das SW-Problem in einer grammatikalisch vorbestimmten Semantik, die im Sinne der deskriptiven Metaphysik bar jeder techno-wissenschaftlichen Realitätsreflexion für alle Zeit gültig sein soll. Auch das kann dem physischen Realitätsgedanken der zweiten AI-Generation kaum gerecht werden, zumal die SW-Semantik der ersten AI-Generation mit der Metaphysik der zweiten AI-Generation inkompatibel ist. Denn das *RDF Triple* widerspricht im Kern der raumzeitlichen, situativen Agenteneinbettung in 4D-ereigniszentrische komplexe Systeme; es steht vielmehr auf der überholten 3D-objektzentrischen Cartesischen Metaphysik wie auf der klassischen Subjekt-Objekt-Dichotomie. Mit Pkt. 3.2.3 wird deutlich, dass man die cyber-physische IoT-Problematik später partiell erkannt hat; RDF wie OWL wurden entsprechend im Nachhinein in Richtung der situativen, kontextbezogenen 4D-Perspektive der zweiten AI-Generation im Zuge einer Reihe von Maßnahmen modifiziert bzw. erweitert. Doch diese Modifikationen, die als

¹³² Ein Unterschied besteht in der TLO-Referenz von Cyc UCO.

¹³³ Vgl. etwa Hendler (2001).

¹³⁴ Vgl. dazu etwa Monnin/Halpin (2014: 12).

falsch identifizierte *metaphysische ad hoc Annahmen* im Sinne Janlerts (1987) genauso *ad hoc* durch andere Annahmen ersetzen, zeigen nur, dass der ontologische Kern an sich nicht stimmt. Dabei geht dieser Defekt unzweifelhaft darauf zurück, dass eine systematisch für die Zwecke der Informatik entwickelte Meta-Ontologie fehlt. Solche Maßnahmen sind also nur Kosmetik, um die Ontologie auf den Stand der zweiten AI-Generation zu bringen; sie kann natürlich die eigentliche Operation nicht ersetzen, die für die Realisierung einer echten Synthese im Sinne der dritten AI-Generation unumgänglich ist. Insgesamt betrachtet besteht die GOFAI-Grundproblematik der jüngeren KR-Ansätze offenbar in ihrer Fixierung auf die *deskriptive* Metaphysik, die gerade nicht auf eine *revisionäre* Realitätsreflexion zielt. Auf Basis einer solchen Praxis bleiben die Semantikstrukturen gegenüber der cyber-physischen Realitätsauffassung notwendig inkompatibel.

Vor diesem Hintergrund ist die fundamentale Kritik, die durch AI-Forscher der zweiten AI-Generation gegenüber den GOFAI-Ansätzen vorgebracht worden ist, zu sehen, wobei hier drei wesentliche Kritikpunkte hervorgehoben sein sollen: (i) der erste bezieht sich darauf, dass menschliches Problemlösungsvermögen an sich nicht nur durch explizites Wissen gegeben ist, sondern dass auch implizites Wissen, etwa erlernte Routinen, dazu wesentlich sind.¹³⁵ (ii) Schwerwiegender ist ein zweiter Kritikpunkt, nämlich jener, dass GOFAI-Ansätze nicht sachgerecht mit "*real-life situations*" umgehen können, weil weder die spezifisch lokale *de facto* Signifikanz der Entitäten berücksichtigt wird noch darauf gründende Computer überhaupt in die jeweilige realfaktische Situation involviert sind.¹³⁶ (iii) Der dritte Kritikpunkt besteht damit zusammenhängend im Cartesischen Dualismus bzw. der Subjekt-Objekt-Dichotomie und damit in einer metaphysischen bzw. epistemologischen GOFAI-Generalkritik. H.L. Dreyfus (1972) stützt sich dabei auf die Heideggerische Position, wonach die externe Welt kontextbezogen ist. Was dieses Argument betrifft, ist klar zwischen alten GOFAI-Ansätzen und jüngeren SCEP/KR-Ansätzen zu differenzieren, die in ihrer Kombination mit der Sensorik und Aktorik, der dynamischen Adaption von Regeln, speziellen Kontext- und Situationsontologien und einem realistischen OE-Ansatzpunkt dezidiert auf emergentistischen Wandel der externen Welt ausgelegt sind.

Die Kritik an der symbolischen Repräsentation der ersten AI-Generation bei H.L. Dreyfus (1972, 1979), der GOFAI-Terminus seines Schülers Haugeland (1985) sowie R.A. Brooks' (1986, 1990, 1991b) "*real sensing and real action*" eröffnen die zweite AI-Generation. Ihr Wesensmerkmal besteht mit Steels (1995: 77) in der unmittelbaren Einbettung in die physische Welt: »The goal is to build artifacts that are "really" intelligent, that is, intelligent in the physical world, not just intelligent in a virtual world«. Mit der Kognition geht es um Cyber-physische Systeme (CPS), die in der Embodied-Variante (EAI) wie bei der in Pkt. 1.5.1 behandelten Claytronics als *synthetische Realität* physisch realisiert sind. Die zweite AI-Generation versteht sich auch gegenwärtig noch explizit als "new AI", was

¹³⁵ Vgl. dazu Balke/Mainzer (2005).

¹³⁶ Vgl. H.L. Dreyfus (1972: 113).

mit Blick auf den weiteren Entwicklungsverlauf der AI-Disziplin keine geeignete Bezeichnung markiert, zumal seit längerem etwa mit Balke/Mainzer (2005), M. Wheeler (2005a) oder Steels (2006, 2007) absehbar ist, dass es nicht bei dieser zweiten AI-Generation bleiben wird. Die einzelnen Ansätze dieser zweiten AI-Generation sind ähnlich heterogen wie jene der ersten; sie treffend zu bezeichnen ist aus mehreren Gründen schwierig: verschiedentlich wird von kognitiver AI gesprochen, doch das ist insofern nicht trennscharf, als es darum in jüngeren Ansätzen auch bei GOFAI-Verfechtern geht, etwa bei Newells (1990) *Unified Theories of Cognition*,¹³⁷ was mit H.A. Simons (1995a) Gedanken der AI-Disziplin als *empirischer* Disziplin konform geht. Entsprechend ist hier zwischen einer *orthodoxen* und einer "*embodied-embedded*" Variante der Kognitionswissenschaft zu differenzieren,¹³⁸ wobei in der AI-Debatte erste nach wie vor mit dem Cartesischen metaphysischen Dualismus, zweite mit der Heideggerschen Metaphysik assoziiert wird.¹³⁹ Vor diesem Hintergrund zeigen sich bereits die Unstimmigkeiten des gegenwärtigen *Cognitive Computing* (CC), wenn es an sich zur zweiten AI-Generation gehört, jedoch in vielen CC-Varianten genauso SW-Ontologien nutzt. Denn diese gehören zu jenen KR-Ansätzen, die wiederum als symbolische Repräsentation zu werten sind, und in ihrem Realitätsbezug im Sinne der deskriptiven Metaphysik mindestens vom Grundsatz her in eine ähnliche Richtung gehen wie die alten GOFAI-Ansätze. Im Unterschied zur revisionären Metaphysik, die durch ihren *Ratio-Empirismus* strikt mit der realen Welt verkoppelt ist, weisen die Ansätze deskriptiver Metaphysik diese Verbindung nicht oder nur sehr bedingt auf. Insofern die CC-Ontologien dem Gruberschen Ontologieverständnis regelmäßig entsprechen, ist also das Grundproblem kein anderes als bei Fikes/Nilsson (1971) mit STRIPS. Wie dargelegt, entspricht es im Kern der alten GOFAI-Problematik.¹⁴⁰

Um die Differenz zur orthodoxen Kognition deutlich zu machen, versteht die zweite AI-Generation sich oftmals als *Embodied AI* (EAI); Agenten sind hier "*embodied-embedded*", also physisch verkörpert und dabei unmittelbar kausal in ihren Umweltkontext sensorisch wie aktorisch eingebettet. Indem jedoch umgekehrt klar ist, dass die physische Realisierung nur für bestimmte Agentenklassen gelten kann, differenziert die zweite AI-Generation selbst zwischen *Embodied Cognition* (EC) und *Situated Cognition* (SC).¹⁴¹ Tatsächlich weist das EAI-Paradigma in seiner Grundlegung als "*embodied-embedded cognitive science*" eine besondere Qualität auf, indem AI-Systeme im Zuge des "*physical grounding*" in der Agent-Umwelt-Interaktion unmittelbar in den jeweils spezifisch lokalen situativen Kontext eingebettet sind. Dabei wird diese physische Verkörperung für das situative Wahrnehmen, das praktische Handlungswissen wie für den praktischen Handlungsvollzug

¹³⁷ Damit verbunden ist Newells Hybrid-Architektur SOAR zu sehen, vgl. dazu Pkt. 6.3.

¹³⁸ Vgl. zu den Varianten auch M. Wheeler (2005b: 6 ff.).

¹³⁹ Vgl. M.L. Anderson (2003), M. Wheeler (2005b) sowie H.L. Dreyfus (2007).

¹⁴⁰ Vgl. dazu auch Karp/Myers/Gruber (1995).

¹⁴¹ Vgl. dazu Clancey (1997); vgl. dazu ferner M.L. Anderson (2003).

gerade als konstitutiv erachtet.¹⁴² Das EAI-Paradigma ist mit diesen Besonderheiten gewiss wichtig; umgekehrt darf jedoch nicht übersehen werden, dass es sich allein auf ganz spezifische Agentenklassen erstreckt und die AI-Forschung auch virtuelle Agenten und andere Agentenklassen zu berücksichtigen hat, die auf anderen Voraussetzungen basieren. Insgesamt betrachtet ist das EAI-Paradigma zwar überaus aufschlussreich, allerdings zu speziell, als dass es für die Informatik bzw. die AI-Disziplin insgesamt zur *universalen* Grundlegung herangezogen werden könnte. Vielmehr markiert es eine Art Endpunkt eines ganzen Spektrums von Agentenklassen, AI-Problemen, AI-Situationen bzw. AI-Kontexten, das es gerade insgesamt zu adressieren gilt.

Die Möglichkeiten und Grenzen des EAI-Paradigmas deuten sich schon direkt im CC-Paradigma an, wenn dieses zunehmend als *Cognition as a Service* (CaaS) konzipiert wird. Denn dieses wird dreifach verstanden, nämlich sowohl als *Local Cognition* eines lokalen Agenten, regional als *Edge Cognition* im Sinne des Fog Computing, was zusammen im Zeichen der *Distributed Cognition* zu verstehen sind, als demgegenüber auch im Sinne der *Centralized Cognition* des Cloud Computing. Dabei werden diese drei Fälle teils kombiniert, teils isoliert behandelt, wobei sich die AI-Forschung in den allgemeinen Fragen im Sinne der Superintelligenz an der kombinierten Konstellation orientieren sollte. Denn mit dieser wird deutlich, dass es um die Interaktion ganz unterschiedlicher Agentenklassen geht, worauf die AI-Grundlagen entsprechend abzustellen haben. Dabei zeigt sich, dass im Fall der *lokalen* Agenten die EAI-Aspekte relevant sind, indem sie unmittelbar situativ in den lokalen Kontext eingebunden sind. Damit verkörpern sie eine besondere CaaS-Funktionalität; regional sind diese EAI-Aspekte dann im Zuge der *Edge Cognition* ebenso von Relevanz. Insbesondere im Zuge der globalen *Centralized Cognition* kommen im Cloud Computing jedoch auch eine ganze Reihe anderer Agentenklassen ins Spiel, für die das EAI-Paradigma an sich nicht zutreffend ist. Analog gilt, dass bei rein globalen CaaS-Services im Cloud Computing, die es ebenfalls gibt, das EAI-Paradigma mit dem CaaS-Gedanken im Ganzen allenfalls bedingt kompatibel, zumeist inkompatibel ist. Es geht dann auch um Agentenklassen, die dem Gedanken des "*physical grounding*" nicht entsprechen.

Offensichtlich wird ein verallgemeinernder AI-Anspruch, der mit der teilweisen Gleichsetzung von "new AI" und *Embodied AI* (EAI) mindestens implizit gestellt wird, dem breiten AI-Spektrum im Ganzen kaum gerecht. Entsprechend erscheint es treffender, den verallgemeinernden Anspruch der zweiten AI-Generation im Zeichen des *Konnektionismus* zu sehen und sie insgesamt unter dieser Bezeichnung zu fassen. Auch hier ist zwar eine Heterogenität der Ansätze zu konstatieren, doch geht es im Kern um *neuronale Netze*, die in AI-Anwendung auf *Artificial Neural Networks* (ANN) hinauslaufen. Für diese Verortung spricht auch zum einen, dass bereits die Kritik der ersten AI-Generation bei H.L. Dreyfus (1972, 1979) auf *neuronale Netze* als Lösung verweist, und zum anderen,

¹⁴² Vgl. etwa E. Thompson/Varela (2001), Noë (2004), Gallagher (2005), Gibbs (2005) sowie Pfeifer/Bongard (2007).

dass ANN-Systeme alternativ auch als "*connectionist systems*" bezeichnet werden. Wie in Pkt. 6.3 näher ausgeführt, ist *Intelligenz* mit Brooks dann als emergente Eigenschaft komplexer Systeme (ANN) zu verstehen. Sie ist also nicht wie bei der ersten AI-Generation vordefiniert bzw. programmiert, sondern als emergentes Resultat beständiger Lernprozesse konzipiert, die in einer unmittelbaren Umweltinteraktion stehen. Analog zu Brooks gilt für H.L. Dreyfus (1998: 208): »intelligence is not based on reasoning at all«, doch ist der Ansatz bei Brooks für H.L. Dreyfus (2007) keinesfalls ausreichend: »Brooks's approach is an important advance, but Brooks's robots respond only to *fixed isolable features* of the environment, not to context or changing significance. Moreover, they do not learn«. ¹⁴³ H.L. Dreyfus (2007, 2009) favorisiert vor diesem Hintergrund im unmittelbarem Zusammenhang mit dem *Frame Problem* die *Neurodynamik* W.J. Freemans, ^{144, 145} was unter drei Aspekten naheliegend ist: (i) ihre phänomenologische Basis setzt auf Merleau-Ponty (1962) auf, ¹⁴⁶ und ist somit identisch mit jener bei H.L. Dreyfus (1972); (ii) H.L. Dreyfus (1972, 1979) sieht *neuronale Netze* an sich als Lösung für das *Frame Problem* bzw. die GOFAI-Problematik als solcher; (iii) W.J. Freeman (1992) erachtet das *Frame Problem* selbst als dynamischen Prozess, was der obigen Kritik an Brooks entspricht.

Die Kritik der zweiten AI-Generation an den ursprünglichen GOFAI-Ansätzen ist berechtigt, indem auch diese zweifelsohne nicht als universeller AI-Standpunkt erachtet werden können. Das betrifft insbesondere den Wandel der Realität oder das Vordringen von Agenten auf unbekanntes Terrain, also alles, was nicht planbar, nicht programmierbar bzw. *ex ante* überhaupt nur bedingt reflektierbar ist. So gesehen bestehen für die AI-Disziplin die größten Herausforderungen in mobilen Robotern und der *Embodied AI* (EAI), und die zweite AI-Generation ist entsprechend als unabdingbarer Teil der AI-Forschung zu werten. ¹⁴⁷ Die GOFAI-Ansätze scheitern also tatsächlich am Cartesischen Dualismus, indem die Kognition nicht unmittelbar in das reale Geschehen inkorporiert ist, sondern vielmehr im Sinne der klassischen Subjekt-Objekt-Dichotomie vollzogen wird. Geht es jedoch in diesem realen Geschehen um emergenten Wandel, der zu unbekanntem Situationen bzw. Kontexten führt oder bewegen sich Agenten auf neues, unbekanntes Terrain, dann lassen sich in solchen Fällen natürlich auch nicht sämtliche Situationen im Sinne symbolischer Repräsentation vorwegnehmen. Der GOFAI-Ansatz scheitert mit M. Wheeler (2005b) also insgesamt am Problem der internen Entsprechung einer sich emergentistisch verändernden externen Welt. Die Problematik besteht dabei zweifach, nämlich zum einen darin, dass es sich nicht bloß um dynamischen, sondern um *emergentistischen* Wandel mit der Entstehung neuer, unbekannter Situationen und Kontexte handelt. Es geht also nicht wie bei

¹⁴³ H.L. Dreyfus (2007: 1140), Hvh. des Orig.

¹⁴⁴ Vgl. dazu W.J. Freeman (1997, 2000).

¹⁴⁵ Ausgehend von H.L. Dreyfus (2007) rekurren auch Dritte im Zuge des *Frame Problem* auf die *Neurodynamik* W.J. Freemans, vgl. Shanahan (2010), E. Rietveld (2012) sowie Bruineberg/Rietveld (2014).

¹⁴⁶ Merleau-Ponty setzt sich kritisch mit der Phänomenologie Husserls und seines Schülers Heideggers auseinander und bezieht gegenüber diesen eine gesonderte phänomenologische Position.

¹⁴⁷ Vgl. dazu Mainzer (2016c).

McCarthys Situationskalkül um eine *situationsbezogene Verarbeitung* im Kontext *dynamischer* Systeme, bei denen sich vorbestimmbare Situationen dynamisch wandeln, sondern es geht um *komplexe* Systeme, bei denen es beständig zu nicht vorbestimmbaren Situationen kommt; also zu unbekanntem Situationen bzw. Situationskontexten, die im Sinne der Emergenz plötzlich auftauchen. Zum anderen besteht die Problematik in der Überwindung des Cartesischen Dualismus bzw. der Subjekt-Objekt-Dichotomie, wobei letztere die Reintegration des Agenten in die physische Welt bzw. cyber-physische Realität impliziert; erste jedoch ein einheitliches Prinzip, das eine kausale Wechselwirkung im Sinne Cyber-physischer Systeme zulässt. Wenn sich die zweite AI-Generation in weiten Teilen auf Heidegger stützt, wird dabei übersehen, dass Heidegger zwar in Opposition zum Cartesischen Dualismus steht, jedoch mit seiner Metaphysik nur die Überwindung der Subjekt-Objekt-Dichotomie leisten kann, nicht aber jene nicht minder erforderliche des Cartesischen Dualismus. Denn Heideggers Metaphysik ist mit Verweis auf Pkt. 5.6 keine Cyber-Physik.

H.L. Dreyfus (2007) und andere Verfechter einer "Heideggerian AI" liegen vor diesem Hintergrund doppelt falsch: zum einen damit, dass sie meinen, dass die Heideggersche Metaphysik die beste Wahl für die erforderliche AI-Metaphysik bzw. zur Lösung von McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" ist. Zum anderen, dass man aus dem an sich richtigen Emergenzparadigma den Schluss ziehen kann, dass sich damit für die AI-Disziplin eine grundsätzliche Irrelevanz interner Weltmodelle bzw. der symbolischen AI im Ganzen ableiten lässt. Die AI-Praxis legt diesen Schluss im Gegenteil gerade nicht nahe; nehmen wir etwa die *Smart Factory* als gängiges AI-Szenario, geht es gewiss um Selbstorganisation, komplexe Systeme und auch um Emergenz. Dennoch sind die Fälle, in denen völlig neuartige Situationen auftreten, für die gänzlich neue Problemlösungen gefunden werden müssen, selten. Vielmehr lässt sich ungeachtet der Selbstorganisation der Agenten und der Emergenz neuer Ablaufmuster in der Maschineninteraktion das aktuelle wie mögliche Agentenverhalten sehr wohl *ex ante* vorbestimmen. Es kann sich also um hochkomplexe Fertigungsprozesse handeln, bei denen Agenten selbst dem Paradigma der "*embodied-embedded cognitive science*" entsprechen, ohne dass damit gleichzeitig die Aufgabe der symbolischen Repräsentation verbunden wäre.¹⁴⁸ Richtig ist vielmehr, dass ein universaler AI-Ansatz die emergentistische Spielart *Artifizieller Intelligenz* beherrschen können muss, womit es insgesamt gilt, eine AI-Metaphysik zu identifizieren, die für alle AI-Spielarten die fundamentale Referenzbasis stellen kann. Auf die Heideggersche Metaphysik trifft dies sicher nicht zu; sie ist also bezüglich der zweiten AI-Generation defekt.¹⁴⁹

Ein wichtiger Punkt der AI-Forschung besteht in der Einsicht, dass es völlig unterschiedliche AI-Anwendungsszenarien gibt, die das Erfordernis einer umfassenden Differenzierung von Problemklassen, Agentenklassen, Situations- und Systemklassen einfordern. Die AI-Metaphysik besitzt nicht zuletzt die Funktion, diese *Vielheit in der Einheit* in

¹⁴⁸ Vgl. dazu auch grundsätzlich Salay (2009).

¹⁴⁹ Vgl. Pkt. 5.6.

eine einheitliche Weltauffassung zu gießen. Ein AI-Paradigma ist nur insofern universal, wie es universaler AI-Metaphysik entspricht. Die Metaphysik gibt also bei der Entwicklung der AI-Ansätze die notwendige allgemeine Orientierung vor, die bei vielen bisherigen Ansätzen samt ihrer unerfüllbaren Allgemeingültigkeitsansprüche fehlt. Mit Blick auf die Superintelligenz bemisst sich das Problemlösungsvermögen von Agenten an der Lösung aller Probleme in allen Situationen; von bekannten über emergentistische Kontexte bis hin zu gänzlich unbekanntem Welten als Spezialfälle. Der Streit um die AI-Paradigmen kann sich aber nicht ausschließlich auf Spezialfälle beziehen, sondern muss sich der Realität im Ganzen stellen, also dem "*Universe of Discourse of Anything*". Die AI-Forschung muss sich im Sinne komplexer Systeme an der Interaktion der Agenten orientieren genauso wie an ihrer lokalen, regionalen wie globalen Vernetzung. Entsprechend besteht im *Internet of Everything (IoX)* als *Real World Internet (RWI)* das wegweisende "*Universe of Discourse of Anything*", indem hier alle Agentenklassen, alle Situationen und alle Kontexte miteinander vernetzt sind und entsprechend zusammenspielen. Im IoX-Totalmodell sind geschlossene, programmierbare Systeme als Inseln genauso zu berücksichtigen wie die offene, unvorhersehbare emergentistische Entwicklung im IoX-Ganzen.

Das ganze AI-Spektrum wird oftmals nicht gesehen, wohl aber allgemeine AI-Perspektiven formuliert; so ist es im AI-Ganzen und so ist es im Bereich etwa der AI-Ontologien auch im Speziellen. Vor diesem Hintergrund erscheint eine universale IoX-Orientierung als "*Universe of Discourse of Anything*" umso erforderlicher. Tatsächlich geht es in der AI-Forschung um höchst divergente Umwelten bzw. Situationen, etwa um *ex ante* nicht spezifizierbare *unbekannte* Situationen einerseits, um völlig *bekannte* Situationen andererseits. Wenn sich jedoch die "new AI" einseitig am Unbekannten orientiert, muss sie sich dem Vorwurf stellen, nicht unbedingt effizient mit *bekanntem* Situationen umgehen zu können, womit neben aktuellen auch mögliche Situationen gemeint sein können. Denn auch diese lassen sich *ex ante* inklusive bestimmter Wechselwirkungen im Detail definieren. Zu den genannten Herausforderungen des situativen Emergenzparadigmas kommt noch eine weitere hinzu, nämlich die Echtzeitinteraktion: Maschinelles Lernen vollzieht sich zwar schnell, dennoch ist das Lernen als prozeduraler Prozess zu verstehen, der je nach Lerntiefe und Verständnis Zeit erfordert. Komplexe Situationen, in denen Problemlösungen oftmals viel Hintergrundwissen erfordern, sind in Echtzeit zu meistern, womit es zweifelhaft ist, das AI-Paradigma wie bei der zweiten AI-Generation ausschließlich auf dem Konnektionismus begründen zu können. In vielen Fällen ist dieser in praxi auch nicht erste Wahl; in *Cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS)* liegt der AI-Kern beispielsweise keineswegs zwingend in ANN-Technologien; meistens, etwa bei ADACOR, wird die Lösung der Kombination von MAS-Ansätzen und Ontologien gesucht, die dabei auf eine *Top-level Ontologie* referenzieren. Hier und in anderen Fällen geht es also um hochkomplexe AI-Szenarien, bei denen Agenten auf Basis symbolischer Repräsentation operieren. Das heißt wiederum nicht, dass konnektionistische Ansätze nicht flankierend hinzukommen können.

Darüber hinaus besteht etwa im *Complex Event Processing* (CEP) ein moderner AI-Ansatz, der auf Basis der Sensorik ereignis- bzw. situationsbezogen ist, und dabei auf eine umfassende Ontologiestützung hinausläuft. CEP-Ansätze können durchaus auf Grundlage physischer Sensorik dem "*embodied-embedded*" der zweiten AI-Generation entsprechen; ferner sind sie gerade auch auf Adaption angelegt. Sie fallen grundsätzlich sowohl in das Paradigma des *Cognitive Computing* wie in jenes des *Programmable Computing* und bilden auf Grundlage der ihnen inhärenten Automatentheorien bzw. mathematischen Ansätze im Sinne einer Verallgemeinerung ereigniszentrischer Ansätze mit Pkt. 6.2.1 eine im Ganzen überzeugende Basis für ein allgemeines AI-Paradigma. Das gilt auch insofern, als der CEP-Ansatz gleichzeitig auch so auszulegen ist, dass er sich auf Basis virtueller Sensorik ausschließlich auf virtuelle Welten bezieht. Moderne CEP-Ansätze bilden insofern die Grundlage für eine allgemeine AI-Theorie,¹⁵⁰ als sie sich umfassend mit Ontologien koppeln lassen und dabei gleichzeitig den cyber-physischen Anspruch der fundamentalen Ontologie stellen. Sie verlangen damit also letztlich nach einer omnipotenten *Top-level Ontologie*. Denn in komplexen Situationen ist im SCEP/OCEP-Sinne vielfältiges Hintergrundwissen erforderlich, um spezifische Services bzw. Prozesse situativ vollautomatisch auszulösen und auf ED-SOA-Basis individuell abzuwickeln.

Mit Pkt. 6.3 wird entsprechend insgesamt deutlich, dass die AI-Disziplin zur Realisierung von *Superintelligenz* stärker nach Problem- bzw. Situationsklassen einerseits und dem Intelligenzvermögen distinkter Agentenklassen andererseits differenzieren muss. Dazu bedarf sie eines fundamentalen Weltmodells bzw. einer geschlossenen Programmatik, die in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik auszumachen ist. Das gilt umso mehr, als die eigentlichen fundamentalen AI-Probleme metaphysische Probleme darstellen, während oftmals versucht wird, diese aufwändigen Debatten einfach dadurch zu umgehen, indem auch bzgl. der fundamentalen Fragen auf Ersatzdisziplinen wie im Fall der Ontologien auf die Linguistik, oder aber im EAI-Fall auf die Biologie bzw. Neurowissenschaften ausgewichen wird. Indessen wird man letztlich nicht umhinkommen, diese metaphysischen Debatten als solche zu führen und zu lösen, wenn es gelten muss, die AI-Disziplin wie die Informatik mit ihren heterogenen und sich widersprechenden Ansätzen zu konsolidieren: Gewiss kann die Informatik nur dann den Status der Normalwissenschaft erreichen, wenn ihre Grundfragen hinreichend geklärt sind. Wie gezeigt, ist das nicht annähernd der Fall.

Analog zur ersten AI-Generation lässt sich auch beim Konnektionismus als zweiter AI-Generation eine Reihe von Problemen konstatieren, wobei sich ein Basisproblem identifizieren lässt, das in Verbindung mit verschiedenen Detailproblemen steht. Dieses Basis-

¹⁵⁰ Typischerweise ist das Verhalten von *Event Processing Agents* (EPA) im Vergleich zu dynamischen agentenbasierten Ansätzen relativ fix; jüngere CEP-Ansätze ermöglichen es jedoch, Regeln push-basiert bzw. ereignisbezogen auf Basis adaptiver *Rule Engines runtime* zu modifizieren, vgl. hierzu Pkt. 6.2.1. Vor diesem Hintergrund lassen sich CEP-Agenten als *universale* Agenten entwickeln, die metaphysisch in Whiteheadschen *Event Streams* zellulärer Automaten stehen. Folgerichtig sind Multiagentensysteme (MAS) dann im Zeichen von *Event Processing Networks* (EPN) aufzufassen, die sich aus vernetzten CEP-Agenten (EPA) konstituieren.

problem ist darin zu sehen, dass die zweite AI-Generation – wie schon in Bezug auf H.L. Dreyfus (2007) festgestellt – aus den unterschiedlichen Standpunkten gegenüber der ersten AI-Generation unüberbrückbare Gegensätze und einen Ausschließlichkeitsanspruch folgert, die weder in praktischer noch in theoretischer Hinsicht gerechtfertigt erscheinen können.¹⁵¹ Es werden im Kontext *spezifischer* AI-Szenarien also Gegensätze betont,¹⁵² statt nach Verbindungsmöglichkeiten bzw. nach einer Komplementarität und schließlich nach einer Synthese in Bezug auf das *gesamte* AI-Spektrum zu suchen. Auf diesen Synthesegedanken kommen wir im Folgenden im Zuge der erforderlich werdenden dritten AI-Generation zurück. Wenden wir uns zunächst den Detailproblemen des Konnektionismus zu, wobei in Korrespondenz zur Kritik der ersten AI-Generation hier ebenfalls drei elementare Kritikpunkte hervorzuheben sind:

(i) *Ereignisse vs. Aktivitäten*: Indem AI im Kern Philosophie bzw. Metaphysik ist, und ihr Gegenstand wesentlich in Prozessen in verschiedenen Welten zu sehen ist, in die Agenten kausal eingebunden sind, stellt sich zunächst die metaphysische Frage nach der Basiskategorie dieser Prozesse. Wie in Pkt. 5.7 deutlich wird, lassen sich Prozesse sehr unterschiedlich fassen, bspw. als Sequenz von *Ereignissen* oder von *Aktivitäten*. Mit dem GOFAI-Ansatz setzt man bei dieser prinzipiellen Wahl auf letzteres; es geht also um eine symbolische Repräsentation, die AI-Systeme etwa auf Basis von Planungsalgorithmen im Zeichen von *Aktivitäten* (bzw. Handlungen) von Robotern, Automaten bzw. Agenten programmiert.¹⁵³ Auch der *Situationskalkül* (SC) bei McCarthy (1963b) bzw. McCarthy/Hayes (1969) stellt auf diese Aktivitäten ab, und setzt sie in den Kontext einer *situationsbezogenen Verarbeitung* dynamischer Systeme. Dabei geht es um die Beschreibung *globaler Situationen*, wobei entsprechend bei jeder Aktivität in einer Situation die Auswirkungen auf alle verknüpften Entitäten für die Folgesituation zu definieren sind, selbst wenn diese nicht betroffen sind. In metaphysischer Hinsicht korrespondiert das aktivistische GOFAI-Paradigma dabei insofern mit der in Pkt. 5.7 behandelten Prozessphilosophie Seibts (2003b), als auch diese *Aktivitäten* als primäre Kategorie auffasst. Demgegenüber geht es in der Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) um *Ereignisse*. Auf den ersten Blick macht es keinen Unterschied, ob Ereignisse oder Aktivitäten für Prozesse konstituierend sind; doch *de facto* ist gerade auch dieser Aspekt für das *Frame Problem* entscheidend. Tatsächlich ist der *Ereigniskalkül* (EC) im Wesentlichen deshalb entwickelt worden, um als SC-Gegensatz das *Frame Problem* zu vermeiden.¹⁵⁴ Entsprechend versteht er sich als unmittelbare SC-Alternative, als er gerade nicht auf eine vollständige Beschreibung eines *globalen* Weltmodells zielt, sondern genau umgekehrt an *lokalen* Ereignissen und Zeitperioden fest-

¹⁵¹ Vgl. auch Salay (2009).

¹⁵² Vgl. etwa V.C. Müller (2007).

¹⁵³ Vgl. dazu etwa Hayes (1971) sowie H.A. Simon (1972c).

¹⁵⁴ Vgl. Kowalski/Sergot (1986: 74).

macht.¹⁵⁵ In der Tat ist das aktivistische Paradigma aufgrund des Erfordernisses zur globalen Situationsbeschreibung "computationally inefficient".¹⁵⁶

Mit dem cyber-physischen "*Reality Computing*" kommt noch ein zweiter Aspekt hinzu, der entsprechend ebenfalls für das *Frame Problem* wesentlich ist, nämlich das Realitätsprinzip *kausaler Wirksamkeit*. Unter *Kausalität* wird im Allgemeinen verstanden, dass ein Ereignis durch ein vorausgehendes Ereignis hervorgerufen bzw. ausgelöst wird. Eine Kausalkette besteht dann, wenn ein solches Folgeereignis selbst wieder Ursache eines neuen Ereignisses ist. Demnach kann auch in dieser Sache zwischen "*input events*" und "*output events*" differenziert werden. So gesehen markiert die Realität eine Sequenz von *Ereignissen*; und in die Realität eingebettete Agenten stehen entsprechend in *Event Streams*. Dabei ist das Prinzip kausaler Wirksamkeit insofern kosmologisches Universalprinzip, als es in einem universalen Sinne von *Information Processing* für alle Welten gilt. Sowohl mit dem Effizienzargument des Ereigniskalküls als mit dem cyber-physischen Prinzip kausaler Wirksamkeit wird deutlich, dass das Informatikparadigma insgesamt prinzipiell ereignis-, und nicht aktivitätszentrisch verankert ist. Die Philosophie Seibts (2003b), die durchaus als formale Computerphilosophie gedacht war, ist also genau umzukehren; richtig liegt demnach die Digitalmetaphysik Whiteheads, die das Informatikparadigma mit ihren ereigniszentrischen zellulären Automaten, dem auf dem Informationsgedanken gründenden Prinzip kausaler Wirksamkeit samt ihrem metaphysischen Logizismus in Leibnizscher Tradition fundamental begründet. Auch der IoX-Hyperspace ist ereigniszentrisch konditioniert, indem er auf ereigniszentrischen Architekturen (EDA bzw. ED-SOA) aufsetzt. Der Ereigniskalkül findet sich heute in einer Reihe von Ansätzen wieder. Hierzu zählt das grundlegende Regelschema *Event-Condition-Action* (ECA), das auch im IoX-Hyperspace Relevanz besitzt,¹⁵⁷ wie schließlich auch das *Complex Event Processing* (CEP), für das gleiches gilt.¹⁵⁸

Sicher wäre eine Agentenprogrammierung prinzipiell auch auf Basis der Prozessphilosophie Seibts (2003b) möglich, doch liefere sie im Grundsatz auf jene Probleme hinaus, die sich mit den nichtsituativen Planungsalgorithmen bei STRIPS gezeigt haben:¹⁵⁹ Es ist im Allgemeinen keine geeignete Strategie, alle *Aktivitäten* Schritt für Schritt zu explizieren, in Bezug auf Ziele bzw. Pläne aufwändig zu spezifizieren, und somit *isoliertes* Agentenverhalten auf eine vorbestimmte Welt zu fixieren. Auf dieser Basis bliebe auch das KR-Paradigma zur zweiten AI-Generation inkompatibel. Demgegenüber ist der ereigniszentrische Ansatz sowohl mit den Voraussetzungen der ersten wie der zweiten AI-Generation kompatibel, womit er sich als eigentliche Basis der notwendigen Synthese der dritten AI-Generation qualifiziert. Wenn die AI-Disziplin insgesamt auf Whiteheadscher Basis in der Weise zu sehen ist, dass Agenten durch Ereignisse konstituiert und in Ereignisströmen si-

¹⁵⁵ Vgl. Kowalski/Sergot (1986: 68).

¹⁵⁶ Vgl. Kowalski/Sergot (1986: 74).

¹⁵⁷ Vgl. etwa Bhandari/Bergmann (2013).

¹⁵⁸ Vgl. dazu Pkt. 6.2.1.

¹⁵⁹ Vgl. dazu Fikes/Nilsson (1971).

tiert sind, eröffnet dies unter dem Kausalitätsaspekt im Whiteheadschen Sinne genauso das *aktive* Universum. Ereigniszentrische Agenten vermögen auf ECA- oder CEP-Basis genauso dem eigentlichen Moment des Agens zu entsprechen. Indem Multiagentensysteme (MAS) auf einfacher Regelausführung der Agenten basieren können, kann damit das AI-Spektrum gleichzeitig bei einfachsten ECA-Agenten beginnen und bei ereigniszentrischer MAS-Superintelligenz enden. Entsprechend lassen sich auf dieser Basis in der AI-Disziplin disparate Umwelten, Situationen und Kontexte berücksichtigen. Auch ist evident, dass sich die Agentenprogrammierung im Sinne global vs. lokal orientierter Kalküle elementar andersartig darstellen kann, was über das Auftreten des *Frame Problem* entscheidet.

Wenn Verfechter des Konnektionismus auch jüngere KR-Varianten, namentlich Ontologien im Gruberschen linguistischen Verständnis einschließlich der SW-Ontologien ablehnen, ist dies im GOFAI-Sinne einer fehlenden Realitätsentsprechung sicher statthaft. Zweifellos sind auf Basis der deskriptiven Metaphysik AI-Systeme mindestens insofern nicht vollständig in die Realität inkorporiert, als ihre Kategorien keine realistischen sind. Somit lässt sich auch ein strikter Gegensatz zur ersten Generation postulieren. Allerdings verhält sich dies dann völlig anders, wenn der KR-Ansatz auf SCEP/OCEP-Basis über die Sensorik und ggf. Aktorik unmittelbar mit der Realität in Interaktion treten kann, und die KR-Semantik selbst eine ereigniszentrische bzw. realistische ist. Dementsprechend ist der zweiten AI-Generation vorzuhalten, dass sie ihre KR-Kritik unzulässig pauschalisiert; denn *de facto* baut das ereigniszentrische sensorische CEP- bzw. SCEP/OCEP-Paradigma in metaphysischer Hinsicht auf genau den gleichen Voraussetzungen wie die zweite AI-Generation auf. Indessen wird mit ihrer pauschalen KR-Kritik eine Synthese der AI-Disziplin im Zeichen einer dritten AI-Generation unnötig verhindert bzw. blockiert. Dabei steht außer Frage, dass die Synthese der dritten AI-Generation im Kern auf eine metaphysische Synthese hinausläuft: Im ereigniszentrischen Sinne wie zur Lösung des *Frame Problem* kann diese allein in der Whiteheadschen organismischen Weltauffassung gründen.

Somit liegt die Lösung des *Frame Problem*, in dem sowohl das Kernproblem der ersten AI-Generation als auch die eigentliche Inkompatibilitätsursache gegenüber der zweiten AI-Generation zu sehen ist, konsequenterweise *in toto* in der dritten AI-Generation. Mit ihr wird der KR-Aspekt unmittelbar in sensorisch-kognitive Agenten inkorporiert, die situativ-kontextuell in Bezug auf ihre Umweltinteraktion im Sinne virtueller Sensorik mindestens "*embedded*" oder im Zuge physischer Sensorik gar "*embodied-embedded*" sind. Mit der Lösung des *Frame Problem* entfallen gleichzeitig alle bisherigen Probleme symbolischer Repräsentation. Eine fundamentale KR-Kritik kann dann allein noch an einem Punkt ansetzen: am vermeintlichen Gegensatz von *explizitem vs. implizitem* Wissen. Dabei müsste eine solche Kritik in AI-Hinsicht unmittelbar an ihrem Stellenwert für das Problemlösungsvermögen einzelner Agentenklassen bzw. ihrer Intelligenzfrage festmachen. Indes ist in Bezug auf die Intelligenz menschlicher Agenten evident, dass diese sowohl auf *implizitem* wie auf *explizitem* Wissen basiert; entsprechend müsste *Superintelligenz*, die darüber

maßgeblich hinausgehen will, auch beides abdecken können. Insofern steht außer Frage, dass echte AI-Intelligenz erst dann erreicht ist, wenn sie auf explizites *wie* implizites Wissen gründet. Diese dualistische Position findet sich jedoch selbst in der zweiten AI-Generation kaum. Führende AI-Forscher wie Balke/Mainzer (2005) nehmen demgegenüber die dritte AI-Generation bereits vorweg, indem sie diese Kombination genau im Leibnizschen Sinne denken und dies im Kontext des "*ubiquitous Internet*" bzw. "*Web service paradigm*" auch bereits im Grunde vor dem Hintergrund des IoX-Hyperspace vollziehen. Damit wird deutlich, dass *Superintelligenz* auf all jenen AI-Technologien basieren muss, die der AI-Repräsentation expliziten wie impliziten Wissens entsprechen. Das läuft auf eine Kombination der jeweils zu modifizierenden AI-Technologien hinaus, die bisher in der ersten bzw. zweiten AI-Generation bemüht werden. Tatsächlich ist dieser vermeintliche Gegensatz in theoretischer wie – mit Verweis etwa auf die *Smart Factory* – gerade auch in praktischer Hinsicht im *komplementären* Sinne zu entscheiden; in der AI-Anwendung gibt es ihn also genauso wenig wie bei menschlichen Agenten. Vielmehr gilt, dass in einigen situativen Fällen KR-Ansätze die richtige Wahl bilden, in anderen solche maschinellen Lernens, in wieder anderen die Kombination von beidem. In aller Regel ist jedoch der KR-Aspekt immer im Spiel, nämlich sowohl bei planbaren Situationen, die sich dann bereits auf dieser Basis behandeln lassen, als auch bei unplanbaren, komplexen und emergenten Situationen. Denn gerade dann ist umfassendes *explizites* Problemlösungswissen von Relevanz, um das Handeln der Agenten abzusichern, zu stützen oder auf eine andere Möglichkeitsebene zu heben. Wie das *U-PLM-Referenzszenario* zeigt, resultiert das Erfordernis zur umfassenden Explikation in Industrien wie der Medizintechnik, Aviation oder chemischen Prozessindustrie gerade aus einzuhaltenden regulatorischen Vorgaben oder technisch zwingenden Sicherheitsstandards. Bei *technisch komplexen* Systemen spielt das implizite Wissen oftmals eher im handwerklichen Detail eine Rolle; auf Systemebene geht es jedoch gerade aufgrund der komplexen Systemeffekte unter dem Aspekt *kausaler Wirksamkeit* um eine Explikation, auch wenn dieser naturgemäß Grenzen gesetzt sind. So gesehen spielen gerade in komplexen Umfeldern explizite *Problem-Solving Methods* (PSMs), die zunehmend in Methodenontologien repräsentiert sind, eine überaus wesentliche Rolle. Dabei lassen sich diese mit sämtlichen der in Pkt. 3.3.1 abgegrenzten Ontologiearten verbinden.

Im Unterschied zur *Information* besitzt *Wissen* und damit die *KR-Ontologie* jene Handlungsrelevanz, die für tatsächlich *intelligente* Agenten gerade in schwierigen Problemsituationen unverzichtbar ist. Indem das Agens des Agenten in einer direkten Beziehung zum Wissen steht, und für AI-Agenten der Rationalitätsgesichtspunkt im Sinne H.A. Simons gilt, ist die primäre Stellung des expliziten Wissens verbrieft: Im Grunde gilt für alle AI-Szenarien das Rationalitätsargument; alles andere wäre problematisch. Rationalität hat jedoch immer etwas mit Wissen zu tun, das entweder explizit oder unmittelbar explizierbar ist. Rationalität bedeutet, dass Alternativen durchgespielt, situative Aspekte oder Folgewirkungen berücksichtigt werden usf. In Bezug auf Superintelligenz muss es um *intelli-*

gente Agenten gehen, die auf diesem expliziten Level operieren, was wiederum den exorbitanten Stellenwert der AI-Ontologie begründet. Dabei besteht in dieser Explikation gleichzeitig eine Grundsatzfrage, die für den Umgang mit Künstlicher Intelligenz entscheidend ist. Mit anderen Worten sind Ontologien kontrollierbar bzw. können die Kontrolle über das Agentenverhalten sichern, während autonome ANN-Ansätze in dieser Hinsicht nicht unproblematisch sind. So gesehen ist die KR-Tradition in keiner Weise überholt, sondern sie eröffnet gerade mit Blick auf die *Natur des Wissens* eine Vielzahl von Fragen, die in der zweiten AI-Generation bisher selten in der eigentlich erforderlichen Weise berücksichtigt werden. Indem explizites Wissen, und hier gerade das geprüfte objektive Wissen mit dem Problemlösungsvermögen von Agenten positiv korreliert ist, muss *Superintelligenz* neu verstanden werden. Sie kann nicht mehr lediglich durch die zweite AI-Generation für sich reklamiert werden. Vielmehr ist sie im übergreifenden AI-Paradigma der dritten AI-Generation zu verstehen: Es geht also nicht allein um Aspekte wie *Deep Learning*, sondern in erster Linie um die *ad hoc* Kombination transdisziplinärer Ontologien, die erst ein Tiefenverständnis der jeweiligen Situation eröffnen. Im emergentistischen Paradigma müssen sich individuelle wie kollektive Ontologien dabei im Sinne des *Ontology Learning* dem stetigen Wechselspiel des Lernens und Entlernens stellen.

(ii) *Realismus vs. Konstruktivismus; objektives vs. subjektives Wissen*: Der zweite fundamentale Kritikpunkt lässt sich am besten am Gesamtwerk Poppers festmachen. Wenn Verfechter des Konnektionismus gleichzeitig die symbolische Repräsentation in grundsätzlicher Hinsicht ablehnen, dann handelt es sich um eine metaphysische Disposition, die so oder aber auch anders entschieden werden kann. Der Gegensatz zwischen erster und zweiter AI-Generation liegt dann mit Pkt. 6.2.6 im metaphysischen Unterschied zwischen *Realismus vs. Konstruktivismus* einerseits und *objektivem vs. subjektivem Wissen* andererseits. Festzustellen ist hier, dass das situative Moment der Robotik keinesfalls den Realismus und objektives Wissen ausschließt. Mit dem *Learning from Scratch* (LfS) ist der Konnektionismus naturgemäß unmittelbar an Spielarten des *Konstruktivismus* und *subjektives Wissen* gekoppelt. Indem die AI-Forschung sich gerade auch bei den ANN-Ansätzen an menschlichen Agenten orientiert, besteht in dieser Perspektive jedoch allenfalls die halbe Wahrheit: Wie schon im Rahmen unserer ersten Kernthese festgestellt, ist etwa das Erfordernis, Entitäten vierdimensional zu erfassen, für kognitive Roboter gewiss nicht im Hinterhof *ad hoc* erlernbar, geschweige denn verstehbar, also im Kontext einer ganzen Reihe fundamentaler Sachverhalte reflektierbar. Das gilt analog für menschliche Agenten; wesentlich für den Wissensfortschritt bei letzteren ist dabei Poppers *objektives Wissen*, d.h. methodologisch gewonnenes Wissen, das durch einzelne Agenten geschaffen, durch andere genutzt wird, während eine Gemeinschaft von Agenten stetig bemüht ist, es zu falsifizieren. Dieser Prozess der Akkumulation objektiven Wissens läuft bekanntlich über Jahrzehnte, wobei wesentlich ist, dass das Wissen im Popperschen W3-Sinne von den Subjekten abgelöst ist. Mit anderen Worten machen menschliche Agenten bei ihrer Problemlö-

sung sich das zunutze, worum es im Bereich der *Knowledge Representation* (KR) insbesondere mit AI-Ontologien im Kern geht. AI-Ontologien bilden also nicht mehr und nicht weniger als prinzipiell universal zugängliche *Repositories*, also Wissensspeicher, die jenseits des *Belief System* (W2) im Popperschen Sinne von den Agenten abgelöst sind. Die Potentiale, die diese Wissensspeicher in IoX-Kontexten an sich besitzen, sind heute nicht einmal im Ansatz erschlossen. Worum es gehen muss ist eine Ontologiearchitektur, die zwischen verschiedenen Wissensarten differenziert, diese jedoch transdisziplinär organisiert und *ad hoc* kombinierbar macht. Es geht um eine Architektur, die diverse Ontologietypen automatisch in allen CPST-Dimensionen miteinander abgleicht, die Cyber-Physik wie Multiagentensysteme in sich inkorporiert, und die fünf IoX-Subsysteme auf Basis einer einheitlichen Referenz über eine omnipotente *Top-level Ontologie* in der erforderlichen Weise ontologisch vereinigt. Darauf zielt CYPO/IMKO als hybride Agenten- bzw. Ontologiearchitektur, um über die Verkopplung von Metaphysik und Wissensontologie eine dritte AI-Generation der Superintelligenz im IoX-Hyperspace begründen zu können.

Selbst wenn neuronale Netze sich im ANN-Sinne miteinander verschalten lassen, sind sie jedoch im Gegensatz zu Poppers *objektiven Wissen* immer an den Agenten als Subjekt gebunden. Dabei ist der einzelne Agent in diesem Ansatz situiert, erschließt also die Welt konstruktivistisch von seiner lokalen Geoposition. Es geht hier also um subjektives Wissen, das selbst in seiner Verschaltung nicht zu objektivem Wissen wird, sondern lediglich intersubjektiven Status erreichen kann. Metaphysisch gesehen geht es dabei im Grunde um das, was im neunzehnten Jahrhundert als *induktive Metaphysik* versucht wurde – und wissenschaftstheoretisch allgemein als gescheitert gilt. Die Frage, ob Agenten *objektives Wissen* benötigen, lässt sich schnell beantworten: Natürlich erfordern sie es, indem Agenten in Cyber-physischen Systemen (CPS) gar nicht anders als auf seiner Basis operieren können. Gewiss besitzt jeder Agent sein *Belief System*; was jedoch im *Internet of Vehicles* (IoV) und in anderen IoX-Szenarien *faktisch* zählt sind die *objektiven* Sachverhalte, insbesondere das naturwissenschaftliche Wissen: Auch bei einem Roboterfahrzeug mit SAE Level 5 gelten nach wie vor alle physikalischen Gesetzmäßigkeiten, womit außer Zweifel steht, dass alle beteiligten IoV-Agenten nicht nur bei der Berechnung der Bremswege oder etwa Aspekten der Informationsübertragung genau die gleiche fundamentale cyber-physische Weltauffassung voraussetzen haben. Es geht um eine *synthetische Realität*, die auch für andere IoX-Szenarien in gleicher Weise objektiv gilt, von "*Healthcare IoT*" bis zu den chemischen Eigenschaften intelligenter Materie im 4D-Printing usw. Mit dem *Internet of Things* (IoT) sind IoX-Strukturen immer auch *physische Strukturen*, die indessen in kausaler Hinsicht cyber-physisch zu erschließen sind. Das kann nicht multidisziplinär, sondern allein transdisziplinär auf dem einigenden Paradigma IoX-konformer Metaphysik gelingen.

Zweifellos sind in der *sozialen Realität* alle Ereignisse ebenso faktisch; prinzipiell gesehen wird auch hier im Sinne des *Social Sensing* raumzeitlich vieles exakt messbar und auf statistischer Basis auswertbar. Dabei geht es sowohl um physische Sensoren (Analyse von

Verkehrsströmen usf.) als auch um virtuelle Sensoren (*Social Web Analytics* usf.). Indem eine wissenschaftliche Hypothesenbildung auf exakten Daten aufbauen kann, wird methodologisch gewonnenes objektives Wissen auch in Bezug auf die soziale Welt möglich, wie es der *Kritische Rationalismus* immer schon unterstrichen hat. Demgegenüber markiert die Agentenwelt, die als solche konstruktivistische Merkmale besitzt, einen anderen Welttypus, und gleichzeitig geht es um eine andere Art des Wissens, nämlich um subjektives Wissen: Sowohl die erste wie die zweite AI-Generation übersehen im Allgemeinen, dass die Agentenwelt nicht mit dem Weltganzen (et v.v.) identisch ist, sondern dass es sich dabei im Sinne Reschers (2003a) um substantiell verschiedene Welttypen handelt, wie es metaphysisch sowohl bei Whitehead als auch bei Popper berücksichtigt ist.¹⁶⁰ Diese beiden Weltmodi sind gerade in der Robotik unverzichtbar, indem ihre Weltmodelle natürlich einerseits auf der metaphysischen Annahme basieren müssen, dass es eine objektive Welt gibt, während ihre subjektive Agentenwelt andererseits gerade nicht diese als solche, sondern vielmehr ein konstruktivistisch veranlagtes *Belief System* verkörpert. Im Sinne des *kritischen Realismus* repräsentiert dieses nicht mehr als hypothetische Annäherungen an die Realität. Im Kontext Cyber-physischer Systeme (CPS) und in diese eingebettete Agenten wird damit eine entsprechend ausdifferenzierte Agenten- bzw. Ontologiearchitektur erforderlich. Diese Differenzierung ist indessen bis heute unüblich, was wiederum unmittelbar einer defekten metaphysischen Disposition geschuldet ist: Nahezu alle AI-Forscher und Ontologen gehen bisher von einem strikten Gegensatz von Realismus und Konstruktivismus aus, den es jedoch so gar nicht gibt. Das unterstreicht wiederum die primäre Relevanz von McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" auch in dieser Sache. Darüber hinaus zeigt sich erst in diesem metaphysischen Zusammenhang, was es mit der unabdingbaren Voraussetzung des *CPST*- bzw. *IoX-Hyperspace* tatsächlich auf sich hat, indem es dieser ist, der die vier Welttypen zum einen im Popperschen Sinne sachgerecht differenziert, zum anderen aber kausal vereint. Indem es gerade auf ihr Wechselspiel ankommt, kann es keine eigentliche Superintelligenz geben, ohne eine ausdifferenzierte Agenten- bzw. Ontologiearchitektur, wie sie mit *CYPO/IMKO* umrissen wird.

Vor diesem Hintergrund wird insgesamt deutlich, dass es letztlich keinen Gegensatz zwischen ANN-Ansätzen und AI-Ontologien gibt – wie es die gängige Auffassung in der zweiten AI-Generation ist. Vielmehr stehen beide AI-Technologien in einem komplementären Verhältnis. Sie sind beide unabdingbar, wobei das eigentliche Potential ihrer Kombination erst auf Basis der *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) als *Ontological Computing Framework* (OCF) erschließbar ist. Die *emergentistische Metaphysik*, um die es bei der zweiten AI-Generation im Sinne der "Heideggerian AI" und vergleichbarer Ansätze geht, ist entsprechend parallel zur Wissensontologie der ersten AI-Generation auf Basis des *IMKO OCF* einer korrigierenden Konsolidierung zu unterziehen. Anschließend sind beide in einer Symbiose zur dritten AI-Generation zu verschmelzen. Dieser Ver-

¹⁶⁰ Vgl. dazu im Einzelnen Pkt. 6.2.6.

einigungsprozess setzt somit das IMKO *OCF* voraus. Dabei erfordert diese Vereinigung entsprechende Transformationen: im Kern zum einen die metaphysische Substitution der "Heideggerian AI" durch eine "Whiteheadian AI",¹⁶¹ und zum anderen damit korrespondierend die Substitution des Gruberschen GOFAI-Ontologieverständnisses bzw. des linguistischen OE-Ansatzpunkts durch den realistischen OE-Ansatzpunkt.¹⁶² Indem dabei das Scharnier zwischen metaphysischer Ontologie und Wissensontologie in der *Top-level Ontologie* besteht, bildet diese auch den Kernaspekt der Transformation zur dritten AI-Generation. Demgegenüber läuft die dritte AI-Generation an sich auf die hybride Agenten- bzw. Ontologiearchitektur der *Cyber-Physical Ontology (CYPO)* als *Four-worlds Ontology for Everything (FOX)* hinaus.¹⁶³ Denn die Symbiose von erster und zweiter AI-Generation kann nur dann gelingen, wenn der Agent als *Subjekt-Superjekt (W2)* unmittelbar in die *physische* Realität (W1) wie in die *soziale* Realität (W4) eingebunden ist. Dabei muss dieser gleichzeitig auf Basis von Regeln, genetischen Algorithmen usw. programmierbar sein und zugleich auf Wissensartefakte zurückgreifen können (W3). Ferner müssen diese vier Welten vor dem Hintergrund der Symbiose beider AI-Generationen – analog zu Popper – dualistisch verstanden werden; konkret im Sinne einer emergentistischen *metaphysischen Ontologie* wie in jenem einer *Knowledge Ontology* multipler Wissensarten.

In Bezug auf das IoX-Totalmodell wie in Bezug auf die hybride Agenten- bzw. Ontologiearchitektur stehen CYPO FOX und IMKO *OCF* dabei nicht nur im Zeichen des Superintelligenzarguments McCarthys (1963a). Vielmehr geht es um die *Einheit des Wissens* bzw. die *Einheit der Erkenntnis* selbst. Ohne eine Dreiteilung in *Scientific Ontologies*, technologische Ontologien und praktische Ontologien ist beides im Rahmen *Artifizieller Intelligenz* nicht zu realisieren. Dann jedoch müssen die vier auf Popper zurückgehenden Welten auch in Poppers methodologischen Zusammenhang des *Kritischen Rationalismus* gestellt werden. Damit ist erstens der *metaphysische Realismus* impliziert, der in Bezug auf die Welt 1 bei Popper für Falsifikationszwecke vorausgesetzt wird. Zweitens der *epistemologische Realismus* in Bezug auf die Welt 2. Drittens betrifft dies seine W2/W3-Transformation, d.h. die Transformation subjektiven Wissens in Artefakte. Alle drei Aspekte sind für die korrigierende Konsolidierung der ersten und zweiten AI-Generation überaus wesentlich. Dabei folgt aus der W2/W3-Transformation der Grundsatz, dass die W2-Repräsentation keine andere sein kann als die der symbolischen W3-Repräsentation. Damit ist evident, dass die Akzeptanz von Wissensontologien im Kontext von *Scientific Ontologies* es immer erfordert, das explizierbare *Belief System* des Agenten (W2) im Sinne von P.M.S. Hackers (2004a) *Ontology of Belief* selbst wissensontologisch, d.h. symbolisch zu repräsentieren. Das schließt einen gleichzeitigen ANN-Einsatz keinesfalls aus; im Gegenteil liegt dieser in einer etwas differenzierteren Betrachtung gerade nahe. Denn auch bei der W2/W3-Transformation geht es um beides, d.h. um implizites wie explizites Wissen,

¹⁶¹ Vgl. zu Whitehead Pkt. 4.2; zur Kritik Heideggers vgl. Pkt. 5.6.

¹⁶² Vgl. zu den OE-Ansatzpunkten Pkt. 3.3.2; zur Kritik Grubers vgl. Pkt. 3.4.

¹⁶³ Vgl. zu CYPO FOX Pkt. 3.5; zum IMKO *OCF* vgl. Pkt. 3.4.

das auch bei menschlichen Agenten regelmäßig in dieser Parallelität zur Problemlösung eingesetzt wird. Mit CYPO FOX ist also auch das methodologische *Procedere Poppers* in die AI-Disziplin zu übernehmen, indem nur dann im Sinne Langley/Simons et al. (1987) eine echte AI-basierte *Scientific Discovery* möglich wird, die methodologischen Gesichtspunkten bei der Generierung von *Scientific Ontologies* wirklich standhält. Insofern muss die Ontologiearchitektur in der dritten AI-Generation auch eine gänzlich andere sein als sie in der ersten AI-Generation zugrundegelegt wird. Dabei macht das IMKO OCF deutlich, dass das naive Grubersche GOFAI-Ontologieverständnis in eine Wissensontologie zu transformieren ist, die sich als *metaphysische* Ontologie auszeichnet. Die KR-Idee der ersten AI-Generation ist dabei in die emergentistisch-metaphysische Idee der zweiten AI-Generation zu inkorporieren. Mit anderen Worten muss der Cartesische Dualismus wie die Subjekt-Objekt-Dichotomie überwunden werden, bevor die *Knowledge Representation* der dritten AI-Generation realisierbar wird. Demnach ist die berechtigte Kritik der AI-Forscher der zweiten AI-Generation in ein Kernpostulat der dritten AI-Generation zu überführen.

Zweifellos kann erst die dritte AI-Generation den Gedanken der *Superintelligenz* auf Dauer tatsächlich einlösen: Solange Computer nicht selbst in der Lage sind, in einem methodologisch einwandfreiem *Procedere wissenschaftliches Wissen* zu schaffen bzw. zu interpretieren, werden sie es in techno-wissenschaftlichen Domänen kaum mit menschlichen Agenten aufnehmen können. In dem gerade entscheidenden Bereich wäre *Superintelligenz* dann also für sie nur bedingt realisierbar bzw. allenfalls bei isolierten Aufgaben vollziehbar, jedoch nicht im Ganzen. Faktisch wird sie auch erst dann vollständig realisiert sein, wenn es bei der *Superintelligenz* nicht nur um Lernen, sondern um echtes Verständnis geht. Ohne eine transdisziplinäre ontologische Basis muss dies indessen für AI-Systeme aussichtslos erscheinen. Wirkliche Intelligenz umfasst sämtliche Bereiche, was die metaphysische Reflexion inkludiert. Indessen müsste diese Stufe erreicht werden, wenn es um das kosmologische Ganze geht. AI-Systeme müssten dann selbst verstehen, was den qualitativen Unterschied zwischen Transdisziplinarität vs. Multidisziplinarität ausmacht. Sie müssten letztlich auch McCarthys (1995) Frage nach der für die AI-Disziplin adäquaten fundamentalen Weltauffassung selbst beantworten und die sachgerechte Digitalmetaphysik im ratio-empirischen Kontext wie im Spektrum aller philosophischen Ansätze selbst bestimmen können. Entsprechend ist der in Pkt. 6.3 im Detail aufgegriffene Superintelligenzgedanke der zweiten AI-Generation, den sie für sich reklamiert, unzweifelhaft zu einseitig, in Punkto Problemklassen zu undifferenziert und letztlich in dieser Form unhaltbar.

Der ausschließliche Konnektionismus der zweiten AI-Generation ist auch in anderer Hinsicht als kritisch zu erachten: zwar gibt es, um Lernen im AI-Kontext zu verstehen, in forschungsstrategischer Hinsicht gute Gründe für das *Learning from Scratch* (LfS), während es durch die zweite AI-Generation zumeist insgesamt propagiert wird. D.h. man geht davon aus, dass alles Agentenwissen durch einen einzelnen Agenten isoliert erlernt werden kann. Auch diese Forschungsrichtung ist wichtig, nur kann sie nicht im Sinne eines LfS-

Paradigmas generalisiert werden. Denn in den meisten praktischen AI-Szenarien sind die Lernprozesse gänzlich anders strukturiert, indem einerseits soziale Aspekte und andererseits die Verbindung mit explizitem Wissen, das durch andere Agenten generiert bzw. zur Verfügung gestellt wird, eine elementare Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund liegen Hayes et al. (1994) mit ihrer LfS-Kritik im Grundsatz keineswegs falsch. Sie betrifft zum einen die *Lernprozesse* selbst: Menschliche Agenten lernen in der Tat anders als isolierte Roboter, indem bereits der Frühphase-Lernprozess sozial determiniert und damit extern mitbestimmt ist, während in späteren Phasen Lernen regelmäßig im Verstehen mündet. Verstehen meint dabei die Inkontextsetzung des Erlernten, und diese vollzieht sich nicht nur in Wissenschaft und Technologie, sondern auch im Alltag ganz wesentlich auf Basis des Wissens der anderen. Menschliche Agenten lernen und verstehen also sehr effizient auf Basis dessen, was in der Informatik die AI-Ontologien ausmacht. Und auf dieser Basis vollziehen sich auch jene kollektiven Lernprozesse, die expliziter Natur sind. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass es spezifische AI-Szenarien gibt, die etwa bei unbekanntem Terrain das LfS-Paradigma als elementar voraussetzen; in kaum einem Fall erscheint dies jedoch in jener Ausschließlichkeit statthaft, die üblicherweise gegenüber der KR-Tradition betont wird. Damit zusammenhängend betrifft die berechtigte Kritik von Hayes et al. (1994) zum anderen die *Natur des Wissens*: Sowohl Effizienzargumente wie die Maßgeblichkeit expliziten Wissens sprechen deutlich gegen die unmittelbar aus dem LfS-Paradigma resultierende subjektivistisch-konstruktivistische Position, die für weite Teile der zweiten AI-Generation methodologisch kennzeichnend ist.¹⁶⁴ Richtig erscheint vielmehr eine Kombination von maschinellem Lernen und KR-Ansätzen, wobei sich diese sachgerecht nur in der geschilderten Weise als dritter AI-Generation realisieren lässt. Denn über Hayes et al. (1994) hinausgehend kommt es zumindest beim Tiefenverständnis von Sachverhalten vor allem auf objektives Wissen an, also auf solches, das entgegen Hayes/Ford (1993b) unmittelbar am techno-wissenschaftlichen Prinzip kausaler Wirksamkeit ansetzt.

Vor diesem Hintergrund ist zu betonen, dass die vermeintlich konstatierten Gegensätze zwischen dem EAI-Paradigma einerseits und dem Realismus bzw. objektivem Wissen andererseits im Kontext eines aussagekräftigen AI-Anwendungsszenarios reflektiert werden sollten. Ein solches besteht mindestens in cyber-physischen IoT-Szenarien wie dem *Internet of Vehicles* (IoV); aussagekräftiger ist jedoch das Totalmodell des *Internet of Everything* (IoX), indem dieses alle Aspekte abdeckt und ihre umfassende Vernetzung verdeutlicht. Als illegitim in Bezug auf die Artikulierung allgemeiner AI-Positionen sind indessen jene *Mikrowelten* zu werten, auf die sich gerade auch die GOFAI-Kritik bezieht. Mit Heideggers Metaphysik und ähnlich akzentuierten Ansätzen nimmt die zweite AI-Generation zwar eine "metaphysische" Perspektive ein, doch handelt es sich dabei gerade nicht um Kosmologie. Analog dazu geht es im Kontext von AI-Technologien und Agententheorien

¹⁶⁴ Vereinzelt gibt es hier andere Positionen, indem universale AI-Forscher wie Mainzer/Chua (2012) oder Bringsjord/Govindarajulu (2016) in fundamentalen Fragen auf der Metaphysik Leibnizens aufbauen.

nicht um einen wirklich universalen Standpunkt: Das gilt insbesondere dann, wenn die AI-Technologie etwa bei der mobilen Robotik im Kontext einfacher Welten erforscht wird, also beim Maschinenlernen das LfS-Paradigma anhand der Überwindung lokaler Hindernisse usf. erprobt wird. Anhand solch spezieller Probleme lässt sich natürlich kein Allgemeingültigkeitsanspruch der ANN-Position in dem Sinne postulieren, dass die AI-Tradition keiner anderen Ansätze mehr bedürfe. In der Tat können solche *Mikrowelten* genauso wenig bei der zweiten AI-Generation jenes Diskursuniversum stellen, auf dessen Grundlage allgemeingültige AI-Positionen ableitbar sind. Vielmehr bedarf es dazu eines "*Universe of Discourse of Anything*", das mit dem breiten Spektrum zu berücksichtigender AI-Szenarien erst im *Internet of Everything* (IoX) faktisch gegeben sein kann.

Mit seinem IoT-Kern, der *physisch* ist, läuft das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) in seiner *technischen Umsetzung* notwendig auf einen metaphysischen wie epistemologischen Realismus hinaus. Berners-Lees Gedanke des "*Philosophical Engineering*", mit dem wir uns in Pkt. 3.2.3 ausführlicher auseinandersetzen, ist zwar an sich wegweisend, doch ist dieser dazu im AI-Kontext dabei ganz speziell auszulegen. Nämlich insofern, als die AI-Metaphysik nicht nur im ratio-empirischen Entdeckungszusammenhang, sondern damit verbunden genauso im technopraktischen Gestaltungszusammenhang steht. Indem es um technische Umsetzung und damit um ein "*Philosophical Engineering*" bzw. primär um ein "*Metaphysical Engineering*" geht, das die objektiven Wahrheiten der Cyber-Physik auf das Design des *CPST-* bzw. *IoX-Hyperspace* projiziert, lässt sich der metaphysische Realismus weder durch einen Empirismus noch durch Methodologie substituieren. Gleichzeitig wird die Metaphysik herausgefordert, indem es mit Pkt. 4.1 nicht mehr um inferiore Metaphysikklassen gehen kann, sondern die Metaphysik der Informatik auch Berners-Lees Gedanke des "*Philosophical Engineering*" an sich zulassen muss. Dabei hebt das Erfordernis des "*Metaphysical Engineering*" die Metaphysik notwendig auf eine neue Ebene, indem die techno-wissenschaftliche *Klasse-4-Metaphysik* nicht nur zu den Wissenschaften durchgängig ist, sondern genauso zu Technologie und Praxis. Whitehead (1929a: 13) geht es konkret um die Anwendung der Metaphysik auf alle Details der Praxis, was vor dem Hintergrund seiner universalen Systemontologie in der Weise zu verstehen ist, dass sie den fundamentalen Anforderungen jeden *Systems Engineering* genügt. Demgegenüber ist festzustellen, dass gerade bei jenen Philosophien, um die es mit Pkt. 3.2.3 in Berners-Lees "*Philosophical Engineering*" geht, nie hinterfragt wird, inwiefern sie dem Gedanken des "*Engineering*" tatsächlich Rechnung tragen. Das erscheint nicht zuletzt insofern erforderlich, weil die wenigsten Philosophien überhaupt auf ein "*Engineering*" angelegt sind. Das gilt erst recht dann, wenn es jenseits von Berners-Lee nicht allein um die IoP-Aspekte von W3C-Technologien gehen kann, indem diese letztlich immer aufgrund der ontologischen Interdependenz im "*Universe of Discourse of Anything*", konkret vor dem Hintergrund des *IoX-Hyperspace* zu evaluieren sind. Im Ergebnis zeigt sich, dass mit Blick auf Aspekte wie der techno-wissenschaftlichen Relevanz des

Ratio-Empirismus, Technologien als Gestaltungslehren oder den Systemismus als Leitprinzip der Gedanke des "*Engineering*" allein durch *Klasse-3-* bzw. *Klasse-4-Metaphysiken* eingelöst wird. Allerdings sind diese Metaphysikklassen in der bisherigen AI-Debatte regelmäßig außen vor; die AI-Disziplin kommt bis dato nicht über das Niveau von *Klasse-2-Metaphysiken* hinaus, während es bei Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* gerade um die Analyse der fundamentalen Strukturen der Realität gehen muss.

Während Berners-Lees Gedanke des "*Philosophical Engineering*" sich allein auf den WWW- bzw. IoP-Aspekt bezieht, wird mit Pkt. 3.2.3 deutlich, dass er im Sinne von Glymour/Ford/Hayes (2000: 113) auf den *IoX-Hyperspace* im Ganzen anzuwenden ist. Somit besteht im "*Metaphysical Engineering*" dann auch *de facto* die genauere Bezeichnung. Das gilt nicht zuletzt in der Hinsicht, als erst mit dem cyber-physischen *IoT-Kern* des *IoX-Hyperspace*, der für Berners-Lee indes gerade keine nennenswerte Rolle spielt, zwangsläufig die alte metaphysische Frage des metaphysischen und epistemologischen Realismus neu zu stellen ist. Das gilt dabei für beide Seiten des "*Philosophical Engineering*", indem nicht nur das *Engineering* durch die speziellen metaphysischen System- bzw. Struktur Aspekte herausgefordert ist, sondern letztlich auch die Philosophie selbst entscheidend umdenken muss. Denn sie kann die reale Existenz des *IoX-Hyperspace* wie seine kausale Interaktion kaum negieren, und dann muss sie entsprechend ihre bisherigen Realitätsauffassungen im Zeichen der synthetischen Realität einschließlich ihrer technischen Gestaltbarkeit grundsätzlich in Frage stellen. Das gilt umso mehr, als insbesondere im fünften Teil deutlich wird, dass im Grunde nur eine Strömung mit den Herausforderungen dieser *Mixed Reality* korrespondiert. Diese ist nicht nur gleichzeitig physisch, cyber-physisch oder synthetisch, sondern lässt auch *Virtuelle Realität* zu. Letzte ist als Sonderform insofern mit zum Realen zu rechnen, als sie als Vorstufe zur synthetischen Realität oder in ihrer potentiellen *ad hoc* Einbindbarkeit in Cyber-physische Systeme zu berücksichtigen ist.

Allein die in platonistischer Tradition stehende Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik kann in Bezug auf ihre universale Anwendbarkeit überzeugen. Indem es Aufgabe der Metaphysik bzw. Ersten Philosophie ist, die fundamentalen Strukturen der Realität in *universaler* Hinsicht, und nicht nur unter dem speziellen Gedanken des Materiellen zu klären, sollten daraus die notwendigen Konsequenzen gezogen werden. Mit anderen Worten gibt es kein Argument für die gängige Praxis, völlig veraltete Metaphysiken und überholte Philosophien, die dem *CPST-Hyperspace* in keiner Weise im Kern gerecht werden, auf genau diesen bzw. Teile davon zu beziehen. So richtig Berners-Lees Gedanke des "*Philosophical Engineering*" an sich ist, kann er letztlich nur dann überzeugen, wenn er dem *IoX-Engineering* auch tatsächlich die erforderliche Orientierung verschafft. Mit McCarthy (1995) geht es dabei um eine *universale* Orientierung, womit jede Philosophie, die diese nicht bietet, als Basisparadigma der Informatik wie als praktischer Orientierungsrahmen abzulehnen ist. In universaler Hinsicht vermögen die bisher bemühten Philosophien nicht zu überzeugen, während ihre Details für die Informatik nicht minder irritierend sind.

Im *Smart Web* des *IoX-Hyperspace* kreuzen sich die Positionen von McCarthy und Berners-Lee insofern, als der AI-Aspekt mit der Web-Technologie kombiniert wird. Dabei bedarf es eines "*Metaphysical Engineering*", das Intelligenz mit der Agenteninteraktion in komplexen Netzen verzahnt, womit entsprechende digitalmetaphysische Grundlagen unabdingbar werden. Wie in diesem Fall verhält es sich allgemein: die Informatik kommt als metaphysisch veranlagte Strukturwissenschaft bzw. Technologie generell bei keinem fundamentalen Gesichtspunkt um "*Metaphysical Engineering*" als cyber-physisches *Systems Engineering* umhin. Das lässt sich anhand des CPST-Hyperspace an jeder einzelnen ihrer Fragestellungen illustrieren, ob es um konzeptuelle Modelle oder den Grundstoff der Information, um die Struktur der Datenmodelle oder die Natur des Wissens geht. Analoges gilt für sämtliche Belange der Agententheorie. So lässt sich die Vielzahl an Agententheorien in der Informatik nicht sachgerecht hinterfragen, ohne zuvor die Realismusfrage geklärt zu haben: Dabei ist gerade an jener Debatte anzusetzen, die aufgrund der verhängnisvollen »'Angst vor der Metaphysik'« zumeist tunlichst vermieden wird, nämlich beim Streit um den metaphysischen und epistemologischen Realismus. Indessen kann man diesem Streit gar nicht aus dem Wege gehen; er ist aus einer ganzen Reihe von Gründen zu klären: etwa hinsichtlich der Frage, inwiefern AI-Agenten tatsächlich "*embodied-embedded*" sind, wie es die zweite AI-Generation behauptet. In dieser Kombination ist bereits auf den ersten Blick evident, dass es um mehr geht als um das Eingebundensein in soziale Interaktionen; vielmehr betrifft diese Eingebundenheit die Realität als Ganzes. Aber es geht genauso um den epistemologischen Realismus, nicht zuletzt mit der Frage, wie es sich realiter genau mit dem Wissen der Agenten verhält: was *können* Agenten wissen, und was *sollten* sie bei cyber-physischer Interaktion im CPST- bzw. IoX-Hyperspace wissen?

Nicht nur in IoV-Kontexten, sondern letztlich in allen AI-Szenarien des *IoX-Hyperspace* ist mit Blick auf die umfassende Vernetztheit von MAS-Agenten die Frage entscheidend, inwiefern sie nicht nur lokal bzw. regional, sondern auch global das gleiche Wissen teilen bzw. teilen können. Ferner ist entscheidend, ob es sich auf Konsensbasis um intersubjektiv *objektiviertes* oder auf methodologischer Basis um *objektives* Wissen handelt, womit sich entsprechend die in Pkt. 6.2.8 behandelte Frage der Wahrmacher (Truthmaker) stellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Agenteninteraktion genauso in den Tiefen der sozialen Alltagspraxis zu denken ist wie etwa in organisationaler Hinsicht, wobei wiederum speziellere Kontexte wie CPPS-Agenten einerseits oder solche im Kontext der *exakten Semantic E-Sciences* zu berücksichtigen sind. Ontologisch ist das deshalb unabdingbar, als ontologische Standards wie bspw. OWL auch in sämtlichen IoX-Subsystemen eingesetzt werden. Die Ontologiefrage ist also genauso unter dem Netzwerkgedanken zu denken wie die Agenten, die die verschiedensten Ontologiearten und -typen für ihre unterschiedlichsten Zwecke bemühen. Indem *IoT-Kontexte* als IoX-Subsystem in *techno-wissenschaftlicher* Hinsicht die gleiche fundamentale Weltansicht und damit die Möglichkeit objektiven Wissens erfordern, muss diese Voraussetzung auch für den IoX-Hyperspace insgesamt

gelten. Damit ist konkret etwa der Zuschnitt von IoP-Ontologien berührt, indem sich das Inkommensurabilitätsproblem auf den IoX-Hyperspace im Ganzen bezieht.

Offensichtlich ist R.A. Brooks' (1986, 1990, 1991b) "*real sensing and real action*" etwas differenzierter zu betrachten. Denn es lässt sich gewiss nicht auf den einzelnen Roboter beziehen, sondern ist vielmehr etwa vor dem Hintergrund des IoV-Szenarios in den MAS-Kontext zu stellen. Die überwiegende Zahl der AI-Forscher der ersten wie insbesondere zweiten AI-Generation gehen inzwischen auch explizit von vernetzten Agenten bzw. vom MAS-Gedanken aus; sie beziehen diesen auch explizit auf verschiedenste Sphären des Internet. Nur übersehen sie dabei zumeist das Interdependenzargument des *IoX-Hyperspace*; dieses besagt, dass sich die Ontologiefrage nicht für jedes IoX-Subsystem im Einzelnen lösen lässt, sondern aufgrund der Wechselwirkungen nur für den *IoX-Hyperspace* insgesamt. Vor allem aber übersehen sie damit, dass mit der IoT-Wechselwirkung die Beantwortung der Frage des metaphysischen und epistemologischen Realismus unvermeidbar wird. Bisher wird diese Frage kaum in diesem Zusammenhang gestellt, obschon sie für alles andere entscheidend ist. Insgesamt zeigt sich, dass es in beiden AI-Generationen, gerade auch in der zweiten des Konnektionismus im ersten Schritt um McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" gehen muss. Dabei sind zwei Aspekte zu berücksichtigen: erstens, dass es eine cyber-physische Realität im Ganzen gibt, die es möglich macht, Cyber-physische Systeme (CPS) unter den Aspekten kausaler Wirksamkeit zu gestalten. Zweifellos unterliegen diese Systeme cyber-physischen, insbesondere physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Zweitens, dass der Systemgedanke neben diesem cyber-physischen Aspekt auch gerade so zu verstehen ist, dass verschiedene Agenten im Sinne adaptiver Intelligenz systemisch miteinander vernetzt sind.

Genau in dieser Weise stellt sich das IoV-Szenario dar; und bei anderen IoT-basierten Szenarien ist dies regelmäßig nicht anders. Die Ontologiefrage der Informatik ist entsprechend genau vor diesem Hintergrund des CPST-Hyperspace, insbesondere in Bezug auf das Inkommensurabilitätsproblem zu stellen. Konkret folgt daraus, dass die Agenten in letzter Konsequenz weder unterschiedliche physikalische Gesetzmäßigkeiten voraussetzen können noch insgesamt heterogene Annahmen bzgl. der cyber-physischen Beschaffenheit der Realität. Davon abweichende *Belief Systems* sind entsprechend einer *Belief Revision* zu unterziehen. Mit den vernetzten Agenten ist gleichzeitig immer die ontologische Interdependenzproblematik gegeben. Im Sinne von CYPO/IMKO kann es für den *IoX-Hyperspace* nur eine fundamentale Ontologie geben, auf der die ganze Agenten- bzw. Ontologiearchitektur gründen muss. Wenn es mit McCarthy/Hayes (1969) um *metaphysisch und epistemologisch* adäquate Repräsentationen geht, stehen diese in Cyber-physischen Systemen (CPS) also zwingend auf der Grundlage eines metaphysischen und epistemologischen Realismus. Indem bisher die wenigsten Ontologen in der Informatik diese Sichtweise teilen, da sie konstruktivistischen Sichtweisen nachhängen oder rein empiristische bzw.

positivistische Positionen favorisieren, besteht gerade in der CPS-Hinsicht in ontologischen Kernfragen offenbar ein fundamentaler Revisionsbedarf.

(iii) *Cognitive vs. Programmable Computing*: Die Position von Kelly/Hamm (2013) bzw. IBM (2015a), wonach in beidem ein Gegensatz zu sehen ist und ersteres letzteres vollkommen ablösen wird, teilen wir nicht.¹⁶⁵ Selbst superintelligente "*embodied-embedded Agents*" werden noch insofern programmieren, als *Programmable Computing* im Allgemeinen nichts anderes bedeutet, als für *repetitive Situationen* etwa in Form optimierter Algorithmen bewährte Problemlösungen zu schaffen. Darin besteht unter einer Reihe von Gesichtspunkten wie Effizienz, Stabilität, Sicherheit usf. die geeignete Strategie. Das gilt zumal Programmierung heute nicht in Form *klassischer* Programmierung zwingend statisch ist, sondern im Sinne *agenten- bzw. ontologiebasierter* Programmierung eine umfassende dynamische Adaptabilität eröffnet. Dabei zeigen sich unter dem gängigen Einbezug der Sensorik die Grenzen zwischen dem *Cognitive Computing* und dem *Programmable Computing* als durchaus fließend. Im Sinne der Systemgestaltung ist anzunehmen, dass es ungeachtet zunehmend vernetzter Umwelten immer *repetitive Situationen* bzw. *Routinen* geben wird: Hochmoderne Bahn-Verkehrsnetze etwa bilden Systeme von großer AI-Dichte, wobei hier die AI-Technologien primär nicht dem *Cognitive Computing*, sondern als *agenten- bzw. ontologiebasierter* Programmierung dem *Programmable Computing* entsprechen. Dabei gründet letzteres auf Sensoren, Agenten sowie KR-Technologien, insbesondere auf AI-Ontologien.¹⁶⁶ Das schließt wiederum keinesfalls aus, dass ergänzend nicht auch maschinelle Lernverfahren eingesetzt werden. Als gängiges IIoT-Szenario stellt sich die Sachlage in der *Smart Factory* nicht anders dar.¹⁶⁷ Natürlich muss eine universale AI-Theorie in dieser Sache genauso Antworten bieten, zumal es auch in diesen Fällen um überaus komplexe AI-Systeme geht. Zusammen mit den beiden erstgenannten Kritikpunkten ist daraus zu schließen, dass beide Computing-Varianten als *komplementär*, nicht als substitutiv zu erachten sind. Welche primär ist, hängt von der Art der Umwelt, der Art der Systeme wie der Art der Interaktionen, Situationen, Ereignisse bzw. Problemklassen ab.

Tatsächlich gibt es von der *Smart Factory* über die Brandmeldeanlage im *Smart Home* bis hin zum *Internet of Vehicles* (IoV) zahlreiche bekannte Situationen, die sich nicht nur *ex ante* exakt definieren lassen, sondern die in vielen Fällen auch *ad hoc* bzw. in Echtzeit ein umfassenderes, etwa physikalisches Hintergrundwissen sowie fundamentale Kategorien erfordern. Indem es auch in künftigen AI-Anwendungsfällen *repetitive vs. emergente* Probleme, *bekannte vs. unbekannte* Situationen wie *geschlossene vs. offene* Systeme usf. geben wird, ist auch von einer Koexistenz des *Cognitive Computing* und des *Programmable Computing* mitsamt seiner klassischen und agentenbasierten Varianten auszugehen. Artifizielle Intelligenz ist im Kontext insbesondere Cyber-physischer Systeme (CPS) zu

¹⁶⁵ Auch bei *programmierbarer Materie* ist stets von Varianten auszugehen, die *ex ante* programmiert bzw. simuliert werden, womit auch hier das *Programmable Computing* bleibt.

¹⁶⁶ Vgl. etwa J.-G. Fischer et al. (2009).

¹⁶⁷ Vgl. etwa Lamparter et al. (2011).

sehen, womit es mit der Systemsteuerung um verschiedene Arten von Systemen, der Komplexität dieser Systeme, verschiedene Arten von Kybernetik und verschiedene Formen der Steuerbarkeit solcher Systeme geht.¹⁶⁸ Die alte Kybernetik Wieners ist in dieser Sache gewiss anders zu sehen als etwa die Biokybernetik, die mit Blick auf komplexe Systeme weitaus skeptischer in Bezug auf die Steuerbarkeit ist. Ferner macht es einen Unterschied, ob es um Intelligenz bezogen auf das Auftreten einer ganz bestimmten Situation, etwa eines einzelnen Ereignisses und eine darauf bezogene Problemlösung geht, oder aber um Problemlösen bei nicht zu antizipierenden Situationen: Ein AI-Szenario einer *Smart Factory* als weitgehend geschlossenem, *a priori* optimierbarem System ist natürlich anders gelagert als ein mobiler Roboter, der zur Erforschung eines gänzlich unbekanntem Planeten eingesetzt wird. Es muss also nicht zwingend immer alles neu erlernt werden, während es eine ganze Reihe von Systemen gibt, bei denen die Artifizielle Intelligenz allein in genau der vorgegebenen einschränkenden Weise von Adaptionmöglichkeiten funktionieren soll und eine autonome Änderung der Routinen bzw. Regeln etwa aus Sicherheitsgründen oder unter strategischem Aspekt gerade explizit ausgeschlossen werden muss. Gleichzeitig gibt es keine Gründe, die dagegen sprechen, in spezifischen AI-Szenarien verschiedene AI-Technologien für bestimmte Aufgaben zu kombinieren; und in genau diese Richtung gehen auch die Entwicklungen in der Praxis.

Im Ganzen betrachtet zeigt sich, dass es weder zielführend noch opportun ist, einen Gegensatz zwischen den AI-Ansätzen zu postulieren, wie es im Sinne der Rede von "old AI" vs. "new AI",^{169, 170} oder ähnlich von GOFAI vs. EAI geschieht.¹⁷¹ Das gilt umso mehr, als im Gegenteil schon gegenwärtig erste Schritte zur Konvergenz beider AI-Generationen festzustellen sind, die durchaus von beiden Seiten ausgehen. Diese Annäherung stellt sich etwa in der Weise dar, dass konnektionistische AI-Ansätze nicht selten mit linguistischen Ontologien bzw. mit SW-Technologien kombiniert,¹⁷² als Lösung für einen strukturalistischen, bildhaften KR-Ansatz gesehen,¹⁷³ oder im SW-Bereich zunehmend kognitive Aspekte berücksichtigt werden.¹⁷⁴ Noch wesentlicher erscheint der erörterte Umstand, dass die KR-Ansätze mehr und mehr mit physischer Sensorik und Aktorik verkoppelt werden. Inzwischen wird diese Intelligenz durch umfassendere situations- bzw. kontextbezogene Ontologien (SAW- bzw. CAW-Ontologies) sowie Sensorontologien unterstützt. Das Erfordernis einer Symbiose wird auch ähnlich durch Steels (2007) gesehen, indem er analog unserer Argumentation postuliert, dass die AI-Zukunft in Richtung MAS/CAS-basierter Ontologien laufen muss. Implizit sollte es damit um eine *Ontologie komplexer Systeme*

¹⁶⁸ Vgl. dazu etwa M. Wheeler (2005a).

¹⁶⁹ Vgl. etwa V.C. Müller (2007).

¹⁷⁰ Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass dieser Gegensatz auch von Seiten der *klassischen AI* konstatiert wird, vgl. etwa O. Etzioni (1993).

¹⁷¹ Vgl. etwa Chrisley (2003).

¹⁷² Vgl. etwa Petrucci et al. (2016) sowie Phan et al. (2017).

¹⁷³ Vgl. Janlert (1996).

¹⁷⁴ Vgl. dazu H. Halpin (2008), M. Wheeler (2008b) sowie H. Halpin/Clark/Wheeler (2014).

gehen,¹⁷⁵ die im Zeichen der Interaktion der Agenten in konstantem Fluss begriffen ist. Die Lösung, die Steels (2006) als *Semiotic Dynamics for Embodied Agents* anbietet, geht allein im Grundsatz des MAS/CAS-Ontologiegedankens in die richtige Richtung. Eine cyber-physisch adäquate Semantik lässt sich auf Basis seines Ansatzes indessen kaum realisieren.

Ungeachtet dessen ist es bemerkenswert, dass mit Steels (1995), der etwa mit Steels/Brooks (1995) zu einem der maßgeblichen AI-Forscher der zweiten AI-Generation gehört, die *Zukunft der AI-Disziplin* implizit in einer *Ontologie komplexer Systeme* gesehen wird. Dabei überrascht nicht nur die ontologische Stoßrichtung, also der Pendelschlag zurück in Richtung symbolischer Repräsentation, indem Ontologien und Semantik in Sachen der Superintelligenz bisher für die zweite AI-Generation im Grunde kaum eine Rolle spielen.¹⁷⁶ Indem sich der MAS-Gedanke bei Steels (2006) auf Basis des Internet bewegt, läuft das AI-Szenario unter der plausiblen Annahme heterogener Agentenklassen auch bei ihm genauso implizit auf ein AI-Totalszenario hinaus, das konsequenterweise auch hier im *Internet of Everything (IoX)* als "*Universe of Discourse of Anything*" münden muss. Was vor allem überrascht ist indes die Kehrseite dieses Pendelschlags zurück, indem die Überlegungen Steels' (2006, 2007) insofern als zu radikal zu werten sind, als sie gerade von wesentlichen Errungenschaften der zweiten AI-Generation abstrahieren. Damit ist primär die direkte *cyber-physische* Realitätseinbettung der Agenten gemeint. Wenn indessen der Grundgedanke einer emergenten Semantik allein im kollaborativen Tagging auf Basis eines linguistischen Ontologieverständnisses bestehen soll,¹⁷⁷ dann steht außer Zweifel, dass darin kaum die Zukunft der AI-Disziplin liegen wird. Dennoch ist der Grundgedanke MAS/CAS-zentrischer Ontologien an sich richtig; wegweisend ist er jedoch nur dann, wenn er mit dem kombiniert wird, wofür die zweite AI-Generation neben ihrem einseitigen ANN-Ansatz eigentlich steht: Es geht um ihre Metaphysik, die Agenten nicht nur cyber-physische Strukturimmanenz zuweist, sondern die mit ihrer universalen kognitiven Umweltinteraktion geradewegs auf das hinauslaufen, was in der angezeigten kausalen Differenziertheit und Systemabgrenzung einer Mehrweltenontologie hier als *CPST-* bzw. *IoX-Hyperspace* behandelt wird.

Während Steels (2007) Pendelbewegungen registriert, die mal in die eine Richtung, mal in die andere ausschlagen, und er vor diesem Hintergrund eine ausbalanciertere Perspektive für notwendig erachtet, die wieder in Richtung symbolischer Repräsentation zurückweist, basiert unsere Sichtweise auf einer geradezu umgekehrten, nämlich fundamentalen Argumentation: die Pendelschläge sind nicht maßgeblich; das Pendel an sich ist das Problem. Denn solche Pendelbewegungen sind nicht nur typische Symptome des protowissenschaftlichen Status einer Disziplin, sondern damit verbunden ein deutliches Anzeichen dafür, dass die programmatischen Grundfragen der betreffenden Disziplin nicht in der hin-

¹⁷⁵ Steels (1994, 1997) baut dabei auf den Arbeiten von Komplexitätsforschern wie Holland, Kauffman oder Prigogine auf, deren Ansätze in Pkt. 4.3 behandelt werden.

¹⁷⁶ Vgl. etwa V.C. Müller/Bostrom (2016).

¹⁷⁷ Vgl. dazu bereits Steels (1997).

reichenden Tiefe fundamental hinterfragt werden. Wie in der Informatik insgesamt, geht es auch für die AI-Disziplin als deren Kern damit um genau das, was in der abschließenden zehnten Kernthese erörtert worden ist. Wenn es somit gilt, sich den eigentlichen Problemursachen der ständigen Pendelausschläge zuzuwenden, kommen wir mit unserem Lösungsansatz zum Anfang dieses ersten Teils zurück. Indem die Devise gilt: "*AI is metaphysics*", muss es auch im ersten Schritt um eine *emergentistische Metaphysik* und einer dadurch vorbestimmten Semantik gehen, und nicht um Steels' (2006) Idee einer emergenten Semantik, die auf einem bloßen *Social Tagging* aufbaut. Die Metaphysik kommt zu Beginn, die Semantik zum Schluss. Wenn gerade insofern die Losung gilt: "*AI is metaphysics*", dann liegen die Probleme der Informatik bzw. der AI-Disziplin als ihrem Kern tiefer, nämlich in einer fehlenden Programmatik bzw. genauer: in der fehlenden Metaphysik. Denn das, was als Programmatik dauerhaft bestehen kann, ist "ewige Programmatik", und das kann naturgemäß nicht über die Digitalmetaphysik hinausgehen.

Für die Informatik kann "ewige Programmatik" letztlich nur das sein, was McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" unmissverständlich wie zeitlos beantwortet. Es ist das, was ihre *Meta-Ontologie* in dem seit Whitehead (1929a) gültigen *CPST-Hyperspace* spezifiziert, der mit interagierenden Agenten mit dem Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversum strukturidentisch ist. In technischer Realisation, die genauso elementar zu berücksichtigen ist, geht es also um das, was den *IoX-Hyperspace* ausmacht. Wie die Pendelbewegungen offenbaren, lässt sich die AI-Disziplin wie insgesamt die Informatik nicht konsolidieren, solange ihre Metaphysik ungeklärt ist und ihre Ansätze entsprechend nicht auf den erforderlichen digitalmetaphysischen Fundamenten stehen. Die Crux dieser Konsolidierung wie ihr Stellenwert ist dabei ganz einfach zu fassen: Ohne Konsolidierung ist nichts aufeinander abgestimmt, bleiben Potentiale ungenutzt, was zur Folge hat, dass das Argument McCarthys (1963a) nicht gelten kann: AI-Systeme können sich dann nicht so intelligent verhalten wie *möglich* und – bei erforderlicher Superintelligenz in komplexen Systemen – auch *notig*. Superintelligenz setzt vielmehr eine umfassende Systemintegration einerseits und die Klärung der Metaphysikfrage andererseits voraus. Solange beides nicht realisiert ist, sind AI-Systeme zwangsläufig inferior, inkonsistent, inkommensurabel oder gar insgesamt inkompatibel. Je mehr das Pendel in der unkonsolidierten Disziplin ausschlägt, desto weiter rückt die Superintelligenz in die Ferne, wengleich sie aus guten Gründen explizit im Fokus der zweiten AI-Generation steht.¹⁷⁸

Das elementarste Konsolidierungserfordernis besteht in der Überwindung des tiefen Grabens zwischen erster und zweiter AI-Generation; überhaupt sind die Fachgebiete zu zersplittert, etwa mit Blick auf die oft mangelhafte Integration von konzeptuellen Modellen und AI-Ontologien oder mit jenem auf die mehr oder weniger isoliert behandelten IoX-Subsysteme, die tatsächlich jedoch gerade stark interdependent sind. Das Problem ist dabei letztlich immer das gleiche; es ist die Metaphysik, nämlich die entweder ungeklärten oder

¹⁷⁸ Vgl. etwa V.C. Müller/Bostrom (2016).

aber nicht zueinander passenden fundamentalen Annahmen bezüglich der Realität, in der alles gründet. Erst insofern besteht ein zweites Problem, nämlich das der Semantik, um die es in der Informatik in noch elementarerer Weise geht, indem ihr Grundstoff, also Daten, Information und Wissen, immer semantischer Natur ist. Jedoch ist das *Problem der Semantik* insofern immer nur nachgelagert, als es universal – und damit in welcher Variante auch immer – im *Problem der Metaphysik* gründet. Denn auch etwa die linguistische Semantik der Alltagssprache vollzieht genauso umfassende metaphysische Dispositionen bezüglich der fundamentalen Strukturen der Realität im Sinne deskriptiver Metaphysik. Das Problem der Semantik führt also immer über die Metaphysik. Anders gewendet liegt in der Lösung des Problems der Metaphysik der Schlüssel zu allem; von der Agententheorie über die Semantik oder die praktische Systemgestaltung bis hin zur Superintelligenz. Eine grundsätzliche Lösung des Status quo ist auch insofern erforderlich, als weder die erste noch die zweite AI-Generation den eigentlichen Zwecken der Informatik gerecht werden kann, wie es für Steels (2007) und andere ebenfalls evident ist.

Wenn AI-Systeme sich im Sinne von McCarthy (1963a: 66) *Superintelligenzargument* tatsächlich so intelligent wie möglich verhalten sollen, und *Intelligenz* mit Pkt. 6.3 als *Problemlösungsvermögen* zu verstehen ist, dann sind alle verfügbaren AI-Technologien pragmatisch in genau der Weise zu kombinieren, in der die Realisierung von Superintelligenz überhaupt sachgerecht möglich ist. Natürlich muss es dabei zunächst um einen metaphysischen Streit gehen, den die zweite AI-Generation mit dem erkannten Erfordernis zur Überwindung des Cartesischen Dualismus wie der Subjekt-Objekt-Dichotomie für sich entschieden hat. Nur lässt sich daraus nicht grundsätzlich die Ausschließlichkeit einer bestimmten AI-Technologie folgern. Es kann also nicht um ideologisch verfochtene AI-Standpunkte gehen, die die Gegensätzlichkeiten der Ansätze etwa im Sinne von "old AI" vs. "new AI" festigen. Vielmehr ist genau umgekehrt eine pragmatisch zu verfolgende Konvergenz der Ansätze anzuvisieren. Dazu besteht deshalb keine Alternative, weil auch *in praxi* verschiedenste AI-Ansätze in denselben Cyber-physischen Systemen (CPS) Einsatz finden. Und das ist im *Internet of Everything* (IoX) regelmäßig zu konstatieren, im *Internet of Vehicles* (IoV) genauso wie in der *Smart Factory*. Letztere basiert etwa auf den in Pkt. 2.6 behandelten *Holonic Manufacturing Systems* (HMS), auf Multiagentensystemen (MAS) und Ontologien einschließlich TLO-Referenz, während maschinelle Lernverfahren parallel dazu eingesetzt werden, um etwa Optimierungspotentiale zu identifizieren.

Eine Konsolidierung der AI-Disziplin ist vor diesem Hintergrund nicht nur in theoretischer, sondern vielmehr gerade in praktischer Hinsicht unabdingbar. Insgesamt ist bezüglich des defizitären Stands der AI-Forschung zu konstatieren, dass vielfach die Einsicht fehlt, dass es nicht nur das eine AI-Anwendungsszenario gibt, an dem dann oftmals diese oder jene AI-Position festgemacht wird. Vielmehr existiert ein sehr breites Spektrum von AI-Szenarien, das im *Internet of Everything* (IoX) in allen Schattierungen umfassende Berücksichtigung finden kann. Dieses Spektrum beginnt bei minimaler Intelligenz etwa mit

einfachsten ECA-Agenten und endet bei der Realisierung echter Superintelligenz in der maximalen Auffassung, wie sie hier verstanden wird. Bei der AI-Frage muss mit Steels (2007) vor allem der Integrationsgedanke im Vordergrund stehen. Auch Steels (2006, 2007) unterstreicht jenseits isolierter Agenten gerade die herausragende Bedeutung jenes CAS/MAS-Zusammenhangs, dem durch den *IoX-Hyperspace* am umfassendsten Rechnung getragen wird. Steels (2006, 2007) wird indes der zweiten AI-Generation auch insofern nicht gerecht, als sich ein universaler AI-Ansatz gewiss nicht auf homogene Agentenklassen beschränken kann, sondern vielmehr zu berücksichtigen hat, dass die MAS-Interaktion sich genauso auf die Interaktion höchst divergenter Agentenklassen beziehen kann. Dabei unterscheidet sich nicht nur das Intelligenz- bzw. Problemlösungsvermögen maßgeblich; vielmehr geht es im *IoX-Hyperspace* generell sowohl um *maschinelle* wie *natürliche* Agenten, um *physische* wie *virtuelle* Agenten, um *kognitive* wie *perzeptive* Agenten usf.: Die AI-Frage lässt sich also genauso wenig am ECA-Ansatz wie am EAI-Paradigma festmachen; sie ist vielmehr in den universalen Kategorien der Metaphysik zu denken.

Indem der Diskurs um die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* allein im Wechselspiel mit dem "*Metaphysical Engineering*" des *IoX-Hyperspace* möglich ist, muss auch in dieser Sache selbst der Streit um die AI-Paradigmen zunächst mit dem Streit um die richtige Metaphysik beginnen. Damit kommen wir zu der hier verfochtenen grundsätzlichen AI-Position, die allein zum besseren Nachvollzug unserer Argumentation und Forderungen bereits an dieser Stelle konkretisiert sein soll, während ein Kernargument eigentlich gegen diese Praxis spricht: Denn was die für die Informatik adäquate Metaphysik ist, kann an sich niemals bereits am Anfang feststehen, sondern muss das Ergebnis eines umfassenden Diskurses sein, an dessen Ende sie auf Basis eines universalen wie systematischen *Requirements Engineering* in neutraler Weise bestimmt wird. Entsprechend argumentieren wir hier allein vom Ende her mit dem Ziel, einzelne Debatten schärfer akzentuieren zu können. Unter dieser Prämisse lässt sich unsere grundsätzliche AI-Position konkretisieren, nach der gilt: Alles, was die AI-Disziplin bzw. die Informatik im Ganzen in fundamentaler Hinsicht beansprucht, alles, was sie zur Begründung ihres "*general world view*" und damit zur Beantwortung von McCarthys (1995) AI-Grundsatzfrage für den Zugang zum *CPST-Hyperspace* verlangt, alles was sie für ein "*Metaphysical Engineering*" benötigt, und alles, was sie für die grundsätzliche Lösung des Semantikproblems erfordert, findet sich in kohärenter Weise in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik.¹⁷⁹ Sie ist die *Metaphysik der Informatik*, und stellt dabei als Cyber-Physik ihre "ewige" Programmatik dar, die für die

¹⁷⁹ Die Integrationsfähigkeit der Whiteheadschen Metaphysik zeigt sich etwa bereits in Bezug auf die Arbeiten von McCulloch/Pitts (1943) bzw. J. von Neumann (1958), indem McCullochs (1954) metaphysische Position explizit auf Whitehead aufbaut. McCulloch/Pitts (1943) "*neural events*" finden sich später auch bei Minsky/Paperts (1969) *Perceptrons* in Form von "*neuronal events*" bzw. "*chemical events*" wieder, vgl. hierzu etwa Minsky/Papert (1969: 221, 297). Tatsächlich geht es bei Whitehead einerseits um komplexe Systeme, andererseits um den Gedanken der symbolischen Repräsentation; in beiden Bereichen stammen wesentliche Grundlagen der Informatik von Whitehead. Entsprechend wird deutlich, dass sich die erste und zweite AI-Generation letztlich auch nur auf Basis der Metaphysik Whiteheads (1929a) als einheitlichem Fundament vereinigen lassen.

erforderlichen Integrationszwecke der Disziplin einheitlich angewendet werden sollte, oder alternativ mit einem ggf. besseren Totalentwurf herauszufordern wäre. Dabei lässt sich alles, was sich im Bereich von Semantik und Wissensontologie bewegt, durch die in gleicher Tradition stehende Poppersche *Drei-Welten-Lehre* auf einer abstrakten Ebene ergänzen, während bezüglich komplexer Systeme, die den metaphysischen Strukturaspekt konstituieren, unmittelbar mit der Komplexitätsforschung angeschlossen werden kann.

Somit lässt sich an dieser Stelle auch die Bewandnis der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* genauer umreißen: ihr Ziel besteht in der Schaffung jener ontologischen Fundamente, die Grundvoraussetzung für die Realisierung der dritten AI-Generation sind. Denn allein mit einer neuen, dritten Generation lässt sich der defizitäre Stand der AI-Forschung, insbesondere der tiefe Graben zwischen erster und zweiter AI-Generation überwinden. Somit ist auch nur auf Basis der dritten AI-Generation der Status der Informatik als Normalwissenschaft einlösbar. Wenn mit der Losung "*AI is metaphysics*" der erste sachgerechte Schritt zur dritten AI-Generation notwendig in der metaphysischen Debatte besteht, ist damit eine unvermeidliche Herausforderung impliziert: Man kann in dieser Debatte nur dann zu einem Ende kommen, wenn sie auch in der ganzen Breite und Tiefe geführt wird. D.h. bei diesem Problemaufriss, der mit der hier beschriebenen Sachlage allein zielführend sein kann, kommt man nicht umhin, die Konsequenzen zu tragen: "alles muss auf den Tisch"; es muss dann zum einen um alle Philosophien bzw. Metaphysiken gehen, die im unmittelbaren Kontext der beiden bisherigen AI-Generationen wie ihrer Synthese stehen. Indem das eigentliche Problem jedoch in der Metaphysik besteht und diese in ihrer meta-ontologischen Verankerung durch die *Top-level Ontologie* verkörpert wird, verschiebt sich das Problem: es muss dann zum anderen um alle Metaphysik gehen, die als Metaphysik der Informatik ins Feld geführt wird; und es muss um alle Philosophien gehen, auf die das breite Spektrum konkurrierender Top-level Ontologien rekurriert. Kurzum: Im Grunde geht es um nahezu die ganze Bandbreite der Philosophie, denn es gibt tatsächlich kaum eine Position, die in Sachen der fundamentalen Begründung der Informatik bzw. der AI-Disziplin ausgelassen worden wäre. Welche der sich oftmals widersprechenden vielzähligen Positionen jedoch die richtige ist, konnte bis dato nicht geklärt werden. Nicht wenige Philosophen wie auch Informatiker vertreten dabei die These, dass diese Frage gar nicht klärbar sei. Doch ist diese Auffassung insofern falsch, als sehr wohl die fundamentalen Anforderungen der Disziplin ganz genau in universaler Weise spezifizierbar sind. Indem sich diese bestimmen lassen, lässt sich auch ihre Metaphysikfrage klären. Das eigentliche Problem ist vielmehr darin zu sehen, dass es bisher noch nie von der *de facto* entscheidenden Seite, nämlich von den universalen Anforderungen der Disziplin angegangen worden ist. Die Debatte beginnt also bis heute regelmäßig am falschen Ende.

Der Kern des defizitären Stands ist jedoch darin zu sehen, dass alle metaphysischen Fragen, sofern sie überhaupt im Fokus stehen, zumeist nur implizit gestellt werden. Denn eine explizite Debatte um die Metaphysik wird gar nicht geführt, indem viele Ontologen

bzw. Informatiker in Nachwirkung des Positivismus skeptisch gegen metaphysische Debatten eingestellt sind. Dabei ist die »verhängnisvolle 'Angst vor der Metaphysik'«, die Einstein (1934) allgemein konstatiert, für keine Disziplin "verhängnisvoller" als für die Informatik: Mit ihrem AI-Kern ist sie gerade als unmittelbar metaphysisch veranlagte Strukturwissenschaft und Technologie zu verstehen, deren Systemgestaltung prinzipiell immer vom ontologischen Grundsatz transdisziplinärer Gestaltungsprinzipien auszugehen hat. Denn ihre Systeme sind immer auf Integration bzw. Integrierbarkeit anzulegen, indem sie sich grundsätzlich im CPST-Hyperspace bewegen und damit prinzipiell ontologische Interdependenz besitzen. Entsprechend gibt es für diese fast pathologische »'Angst vor der Metaphysik'« keinen faktischen Grund; zumindest, wenn man die Metaphysikkritik Kants richtig verstanden hat. Allerdings kann das für den Großteil der Informatik mit ihrer Fixierung auf die deskriptive Metaphysik kaum gelten. Für Kant ist Metaphysik gänzlich unabdingbar, nur sei »das bisherige Verfahren der Metaphysik umzuändern«.¹⁸⁰ Das betrifft ironischerweise heute gerade jene Ontologen, die vorgeben, *explizit* keine Metaphysik zu betreiben. Das ist auch richtig; sie betreiben sie *implizit*, und genau darin besteht das Problem. Denn mit ihrer deskriptiven Metaphysik vollziehen sie gerade jenes Verfahren, das für Kant völlig inakzeptabel ist. Indem die Kantische Metaphysikkritik die Disziplin im Kern betrifft, gilt die Devise "*AI is metaphysics*" umso mehr: Denn der erste Schritt zu einer sachgerecht betriebenen Informatik besteht darin, die für sie *adäquate* Metaphysik zu bestimmen. Wäre die Kantische Metaphysikkritik verstanden, wäre klar, dass es sich bei dieser zwingend um eine *ratio-empirische* Metaphysik handeln muss. Damit muss sie von vornherein oberhalb jener *Klasse-2-Metaphysiken* liegen, die heute die ontologische Perspektive der Informatik weitestgehend bestimmt. Währenddessen geht auch die gerade für Zwecke der konzeptuellen Modellierung bemühte Bungesche *Klasse-3-Metaphysik* elementar an den eigentlichen Erfordernissen der Informatik vorbei.¹⁸¹ Tatsächlich liegt die eigentliche Aufgabe gerade in dem, was bei Bunge keine Rolle spielt, nämlich in der Grundlegung der Cyber-Physik der Informatik, die *Klasse-4-Metaphysiken* vorbehalten ist.

Die Fundamente der Informatik lassen sich entsprechend nur dann richtig legen, wenn die Philosophien der größten Metaphysiker, insbesondere jene von Leibniz und Kant kombiniert werden, wie es bei Whitehead unter Einbezug einer Vielzahl weiterer Ansätze in kritischer Weise geschieht. Diese sind um die Metaphysik, Epistemologie und Methodologie Poppers zu ergänzen und entsprechend auf die AI-Zwecke anzupassen. Im Ergebnis besitzt man dann jene philosophischen Grundlagen, um den CPST-Hyperspace mit seinem kausal interdependenten und somit kosmologisch zu fassenden "*cyber-physical space*", "*thinking space*" und "*social spaces*" fundamental zu bestimmen. Aus der Popperschen *Drei-Welten-Lehre* resultiert somit jene *Vier-Welten-Ontologie*, die zum integrativen Verständnis der Ontologieproblematik der Informatik wie zur eigentlichen Realisierung ihrer

¹⁸⁰ Vgl. Pkt. 4.1.

¹⁸¹ Vgl. *ibid.* bzgl. der Metaphysikklassen; vgl. Pkt. 5.3 zur Kritik der Bungeschen Metaphysik.

Superintelligenz unerlässlich ist. Es geht in der Informatik also immer um Metaphysik, ob nun explizit oder implizit. Dabei ist es direkte Folge der lediglich impliziten Debatten wie damit zusammenhängend des unverstandenen cyber-physischen Charakters der Informatik, dass die Frage ihrer Metaphysik auch in anderen Hinsichten bisher falsch gestellt wird. So ist sie zumeist nur auf die externe Welt bezogen, und oftmals auch noch auf eine eingeschränkte Realität, wie sie etwa im aristotelischen oder Cartesischen Sinne als *physische* Realität verstanden wird. Für eine universale Perspektive der Informatik ist das jedoch vollkommen fehlleitend. Wenn Ontologen die interne Welt meinen, dann geht es ihnen allein um die Repräsentation, die sie dann wiederum lediglich als semantisches Problem sehen, das in der Linguistik, in etwas anspruchsvolleren Ansätzen auch in den Kognitionswissenschaften mündet. Es steht zwar außer Zweifel, dass auch diese Aspekte eine Rolle spielen, allerdings nur am Rande. Was die interne Welt – und etwa im cyber-physischen Sinne Zuses (1982) – schließlich auch die externe Welt betrifft, geht es bei der *Metaphysik der Informatik* vielmehr um etwas gänzlich anderes. Es geht um das, was im Kontext der philosophischen Debatte nur selten Erörterung findet; um die Frage, was *Computing* ist.

In der ontologischen Debatte der Informatik wurde bisher weder jemals die Frage der cyber-physischen Beschaffenheit der Welten noch jene der Cyber-Physik als solcher systematisch, d.h. metaphysisch herausgearbeitet. Genauso wurde die Ontologie bis heute nie mit dem Computing als solchem in Verbindung gebracht.¹⁸² Obwohl es um die Ontologie der Informatik geht, nimmt man entweder Rückgriff auf das Ontologieverständnis der Linguistik oder aber auf jenes der Sprachphilosophie bzw. einer antiquierten materialistischen Philosophie. Indessen besteht in der Hinwendung zum *Computing* in Cyber-physischen Systemen (CPS) gewiss der Schlüssel zur *Metaphysik der Informatik*. Mit Murdock et al. (2012) wird die ganze philosophische Debatte zwar seit Jahrzehnten im Zeichen von "ontology wars" geführt.¹⁸³ Doch überrascht es vor diesem Hintergrund nicht, dass dabei bis heute letztlich kein richtiges Ergebnis erzielt werden konnte, das zur Klärung des Sachverhalts hätte beitragen können. Vielmehr wird nach wie vor im Grunde das ganze Spektrum an philosophischen Ansätzen bemüht. Dabei sind die bisherigen Debatten zumindest insofern aufschlussreich, als sie bereits eine große Bandbreite bestehender Probleme offengelegt haben. Allerdings gehen sie im Kern an den eigentlichen Problemen der Informatik komplett vorbei. Das lässt sich aus dem Grunde in dieser Entschiedenheit behaupten, weil die Kernprobleme der Disziplin allesamt im Grundsatz *cyber-physisch* sind, während die Ontologien heute kaum wirklich grundsätzlich cyber-physisch orientiert sind. Das beginnt damit, dass ihr Grundstoff nicht hinterfragt wird und schließlich falsch, nämlich rein linguistisch und damit vom falschen Ende her behandelt wird. Der Grundstoff der Informa-

¹⁸² Auch das durch R.E. Kent (2006) für ontologische Zwecke aufgegriffene Paradigma des *Information Flow* von Barwise/Seligman (1997) geht an dieser Sache vollständig vorbei.

¹⁸³ Dabei sollte diese Metapher insofern nicht falsch interpretiert werden, dass es dabei tatsächlich um eine systematische Kritik einzelner Ansätze vor dem Hintergrund der universalen Anforderungen der Informatik ginge. Vielmehr handelt es sich um ein Aufeinandertreffen mehr oder weniger dogmatisch verfochtener Positionen, ohne die Anforderungen der Disziplin je in neutraler Weise hinterfragt zu haben.

tik ist indes keineswegs linguistischer, sondern cyber-physischer Natur; es ist von physischen Ereignissen bzw. von Bits und Bytes auszugehen, während die Semantik erst zum Schluss kommt. In dieser cyber-physischen Natur liegt die Verbindung von Metaphysik und Semantik, was für die Informatik konstituierend ist, aber kaum berücksichtigt wird. Mit der Analyse der fundamentalen Strukturen aller Welttypen, mit denen es die Informatik zu tun hat, liegen die eigentlichen Probleme im *CPST-Hyperspace*, indem Agenten nicht nur in den "*cyber-physical space*" eingebettet sind und dabei jeweils einen "*thinking space*" besitzen, sondern mit ihren MAS-Interaktionen genauso in "*social spaces*" stehen.

Bei allen Welttypen handelt es sich durchweg um *komplexe Systeme*, während auch diese bisher keine wirkliche Rolle in der Ontologiedebatte spielen. Vor allem aber zählt die Vernetztheit der einzelnen "*spaces*"; sie ist für die Informatik elementar, während viele Ontologen in der Substanztradition bzw. mit der *Subjekt-Prädikat-Objekt-Struktur* der Normalsprache eher einzelne Objekte im Sinn haben. Mit der internen Welt zählt jedoch vor allem ein Aspekt, nämlich jener des *Information Processing*; ontologisch sind alle Entitäten der Cyberwelt gewiss genauso von elementarer Relevanz wie jene der physischen Welt; bei *Cyber-physischen Systemen* muss es indessen um *eine* Metaphysik gehen, die beide einheitlich zu adressieren versteht. Eigentlich im Fokus steht also das *Computing* als *CPST-Information Processing* in Verbindung mit der kausalen Einheit als *CPST-Realität*, deren fundamentale Strukturen zu klären sind. Aber auch darum geht es in der Ontologie der Informatik bisher kaum. Schließlich ist ein weiteres maßgebliches Problem darin zu konstatieren, dass viele Debatten entweder an Detailfällen festmachen oder gar überhaupt jenseits konkreter Anwendungen geführt werden. Mit Pkt. 1.5 besteht demgegenüber eine sinnvollere Strategie darin, ein Referenzszenario zugrunde zu legen, das so universal ist, dass es auch in Bezug auf die technischen Anforderungen unmittelbar aussagekräftig ist.

Wenn die Lösung der AI-Frage mit Steels (2006, 2007) zwar partiell in die richtige Richtung geht, jedoch weder die eigentlichen Potentiale der zweiten noch der ersten AI-Generation ausschöpft, sei an dieser Stelle mit Blick auf die bessere Nachvollziehbarkeit der Argumente die Lösung grob skizziert: Im Grunde liegt sie mit Steels (2006, 2007) schon auf der Hand; es gilt nämlich die erste und zweite AI-Generation auf eine Synthese zu stellen, wobei es sich um die metaphysische Synthese der dritten AI-Generation handeln muss, mit der sich die Semantik aus einer *revisionären* Metaphysik erschließt. Damit ist sie unmittelbar an der techno-wissenschaftlichen wie techno-praktischen Realität des *CPST-Hyperspace* orientiert. Metaphysisch determiniert ist die Semantik dabei insofern, als ihre fundamentalen Kategorien, d.h. die *Top-level Kategorien* der *Top-level Ontologie* über den Ratio-Empirismus der *revisionären* Metaphysik universal bestimmt werden. Allein auf diesem Wege ist gewährleistet, dass sie den fundamentalen Strukturen der faktischen Realität tatsächlich entsprechen und damit zusammenhängend auch eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation zulassen. Zweifelsohne sollte die Semantik in emergentischen, selbstorganisatorischen Systemen auch in dieser Weise aufgefasst werden; dennoch gibt es mit der Cy-

ber-Physik notwendig eine objektive Realität. Zudem ist die Semantik als System zu verstehen, das genauso ausdifferenzieren ist, wie es die Unterscheidung von *Scientific Ontologies*, *technologischen Ontologien* und *praktischen Ontologien* erfordert. Und doch ist die Semantik dabei genauso interdependent, wie es diese Ontologietypen sind. Aussagekräftige Referenzszenarien, wie sie mit Pkt. 1.5 im *U-PLM-Referenzszenario* bestehen, offenbaren diesen Interdependenzzusammenhang in unmittelbarer Weise.

Vor diesem Hintergrund wird nachvollziehbar, dass im Ganzen betrachtet ein vollständig anderer Weg angetreten werden muss. Denn dauerhaft haltbare Lösungen lassen sich nur dann realisieren, wenn strikt zwischen Ontologietypen differenziert wird, während umgekehrt gerade ihre Integration zu suchen und ihre Interdependenz zu beachten ist. Realiter gibt es nicht den "einen" Semantiktypus, indem der Bedeutungsgehalt in einem wissenschaftlichen Erkenntniszusammenhang, in einem technologischen Gestaltungszusammenhang oder aber in einem praktischen Interaktionszusammenhang stehen kann. Die erste AI-Generation ist im KR-Kontext im Allgemeinen allein auf den letzten Typus beschränkt, zu dem nicht zuletzt der *Common Sense* zu zählen ist. Indem jedoch der Superintelligenzgedanke der zweiten AI-Generation auf Basis des gesunden Menschenverstands der ersten AI-Generation nicht einlösbar ist, kann die Semantik auch kaum universal in diesem einfachen Modus verstanden werden. Autonome AI-Systeme kommen nicht nur gerade auch im wissenschaftlich-technologischen Zusammenhang zum Zuge, sondern bedürfen insgesamt der besten Art des Wissens, die möglich ist. Superintelligente AI-Systeme müssen die drei genannten Modi parallel beherrschen, wie es auch bei menschlichen Agenten der Fall ist. Dabei ist schon allein der Bezug zur Realität ein jeweils spezifischer, was mit Pkt. 6.2.8 durch unterschiedliche Wahrmacher (Truthmaker) zu berücksichtigen ist, die somit ebenfalls nicht ausschließlich, sondern vielmehr parallel einzusetzen sind.

Aus den Kritikpunkten an der bisherigen Ontologieforschung, die im Folgenden noch etwas detaillierter darzustellen sind, ist zu schließen, dass ein radikaler ontologischer Neuanfang erforderlich ist: Es muss um ein *Ontological Computing* im Leibniz-Whiteheadschen Sinne gehen, in dessen Kontext Metaphysik und Semantik eine tatsächliche Einheit bilden. Entsprechend zielt die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* mit CYPO/IMKO auf eine Kombination von *hybrider Agentenarchitektur* und *hybrider Ontologiearchitektur*. Dabei ist erste in zweite inkorporiert, indem die Poppersche Welt 2 die Agentenwelt ausmacht, die im hybriden bzw. dualistischen Sinne von *symbolischer Repräsentation* und *emergenter Kognition* zu sehen ist, wie es auch bei Popper selbst der Fall ist. Dabei gründet der Dualismus, der diesen hybriden Architekturen inhärent ist, im Leibniz-Whitehead-Popperschen Sinne mit Pkt. 3.4 auf der *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) als *Ontological Computing Framework* (OCF). Mit dem IMKO OCF geht es also um die beiden Aspekte der Ontologie, die eine metaphysisch bestimmte Semantik immer mit sich bringt: es geht um die *metaphysische* Ontologie, die im Sinne McCarthys (1995) auf die generelle Weltauffassung zielt. Indem sich das Wissen der Agenten auf diese

Strukturen bezieht, muss auch die fundamentale Struktur seiner Repräsentation den fundamentalen Weltstrukturen entsprechen. Ist also etwa die reale Welt als prozessualer *Event Stream* zu begreifen, dann kann die darauf bezogene Semantik nicht von genau gegensätzlichen Dispositionen ausgehen. Wenn die Metaphysik deutlich macht, dass es unterschiedliche Welttypen gibt, dann ist auch bei der Semantik entsprechend zu differenzieren. Um diese und damit verbundene Zusammenhänge geht es bei der metaphysischen Bestimmung der Semantik; um nicht mehr, und um nicht weniger. Die bisher in der ersten AI-Generation bemühte linguistische Semantikauffassung ist mit dieser Position fundamental inkompatibel. Sie setzt jedoch etwa mit RDF bzw. OWL letztlich nicht weniger metaphysische Dispositionen voraus. Durch das IMKO *OCF* wird der Gedanke des *Ontological Computing* an sich begründet, der immer den Dualismus bzw. die Interdependenz von Metaphysik und Semantik resp. Wissensontologie impliziert.

Mit dem *Ontological Computing* des IMKO *OCF* wird entsprechend eine kombinierte hybride Ontologie- bzw. Agentenarchitektur erforderlich; diese besteht in der *Cyber-Physical Ontology* (CYPO) als *Four-worlds Ontology for Everything* (FOX). Von "hybriden" Architekturen ist dabei insofern zu sprechen, als es im Sinne des IMKO *OCF* auch hier um eine dualistische Ontologieauffassung im Popperschen Sinne geht: die Ontologiearchitektur ist also im CPST- bzw. IoX-Sinne zum einen *metaphysisch* gedacht; ihre Strukturen sind im empirischen Sinne wie in jenem cyber-physischer Gestaltbarkeit also real existent. Zum anderen geht es um entsprechende AI-Ontologien, die sich als *Wissensontologien* auf diese realen Strukturen beziehen. Die Bezeichnung *Cyber-Physical Ontology* (CYPO) verdeutlicht den Umstand, dass es bei dieser Ontologie im Kern um *Cyber-Physik* geht, und damit um eine metaphysische Ontologie, die im Sinne Leibnizens bzw. Whiteheads den *metaphysischen und epistemologischen Realismus* notwendig voraussetzt und zwei Fundamentalpositionen mit sich bringt: Die Möglichkeit *objektiven Wissens* bildet dabei die erste CYPO-Fundamentalposition. Als agentenbasierter Ontologieansatz, der elementar auf Multiagentensysteme (MAS) zielt, besteht die zweite CYPO-Fundamentalposition darin, dass es genauso relevantes subjektives wie intersubjektives Wissen gibt. Somit sind im MAS-Wechselspiel paradigmatischer "*social spaces*" auch disparate Wissenstypen vorauszusetzen. Entsprechend ist zwischen *Scientific Ontologies*, technologischen Ontologien sowie praktischen Ontologien zu differenzieren. Indem zu letzteren alles konsensbasiertes Wissen gehört, berücksichtigt CYPO für spezifische Anwendungen auch individuelle Semantiken im Sinne Mikas (2007). Zur ontologischen Integration müssen sie lediglich der einheitlichen TLO-Referenz und damit einer zu entwickelnden Ereignis- bzw. Situationssemantik entsprechen und sich in das System der Ontologien einfügen, um Widersprüche auszuschließen. Sie stehen dabei notwendig am Ende, nicht am Anfang der Hierarchie.

Das Ziel aller AI-Ontologie muss darin bestehen, genau das gleiche Spektrum an Domänen bzw. "Wissen" zuzulassen, wie sich unterschiedliche Welttypen im erweiterten Popperschen Sinne differenzieren lassen. Diese Wissenstypen sind entsprechend in genau

der gleichen dezidierten Weise abzugrenzen wie die korrespondierenden Welttypen. Indem IoX-Computing ein *Autonomic Computing* manifestiert, ist die IoX-Ontologiearchitektur auch auf autonome kognitive Agenten auszurichten. Damit ist sicherzustellen, dass Welttypen einwandfrei identifizierbar sind und Wissenstypen umgekehrt nicht irrtümlich vermischt werden. Eine Ontologie, die den Status einer *Scientific Ontology* besitzt, muss auch spezifischen methodologischen Anforderungen genügen und sich damit qualitativ von einer *Common Sense Ontology* unterscheiden. Mit Blick auf das Problemlösungsvermögen liegt es nahe, maschinellen Agenten Zugriff auf alle Ontologietypen zu geben, wie es auch bei menschlichen Agenten der Fall ist. Allerdings resultiert dann daraus die Interdependenzproblematik; aus dieser folgt, dass der Agent die hierarchische Stellung einzelner Ontologietypen einschließlich Subtypen beurteilen können muss und zum anderen, dass sich die Ontologien in fundamentaler Hinsicht nicht widersprechen dürfen. Beides ist dabei unmittelbar mit dem Superintelligenzgedanken korreliert; denn dieser läuft auf die Kombination widerspruchsfreier Ontologietypen hinaus. Als *Four-worlds Ontology for Everything* (FOX) bezieht sich die CYPO-Ontologiearchitektur auf den *CPST-Hyperspace* als kosmologischem Ganzen. CYPO ist im Gegensatz zu Cyc keine Totalontologie, die alle Entitäten nach Art des Alltagsverstands erfassen will. Für Superintelligenz kann darin keine Basis bestehen; in Bezug auf die interne Steuerung von Systemen, also dem Kern des *Computing*, auch nicht. Es geht um emergente Semantik auf Basis emergenter Metaphysik.

Als *Vier-Welten-Ontologie* zielt CYPO auf etwas anderes, nämlich auf eine IoX-totale Ontologiearchitektur, in der alles Wissen in transdisziplinärer Weise beliebig in einer Weise eingebunden werden kann, so dass eine *ad hoc* Kombination für maschinelle Agenten möglich wird. Ferner muss es darum gehen, die interne und externe Welt für Computer im cyber-physischen Sinne aus einem Guss erfassbar zu machen. Die ontologische Realität wird also im Gegensatz zu Cyc in keiner Weise wissensontologisch vorbeschrieben; sie wird allein *metaphysisch* im ratio-empirischen Sinne in umfassender Weise vorstrukturiert. Gerade auch in dieser Sache ist Cyc problematisch, als es keine in sich geschlossene digitalmetaphysische Grundlegung auf Basis der Cyber-Physik kennt, sondern im Zuge seiner *Top-level Ontologie* die fundamentalen Fragen fallweise im Sinne des *Common Sense* beantwortet. Auch hier geht es um jene *metaphysischen ad hoc Annahmen*, die mit Janlert (1987) grundsätzlich abzulehnen sind. Darüber hinaus räumt CYPO im Gegensatz zu Cyc, DBPO, YAGO und den meisten anderen Ontologieansätzen nicht dem *Common Sense* die primäre Stellung ein. Für CYPO ist vielmehr das *primär*, was im Sinne Poppers das *beste Wissen* verkörpert, und das sind *Scientific Ontologies*; *Common Sense* ist ebenfalls für den IoP-Kontext zwingend, kann im gesamten ontologischen System jedoch etwa sowohl in Bezug auf die Lösung von Widersprüchen als auch in Bezug auf die Semantikstrukturen nicht primär, sondern immer nur nachgeordnet sein. Konkret ist damit bedeutet, dass die natürlichsprachliche Repräsentation des *Common Sense* zwar erhalten werden kann, jedoch seine Grammatik in eine kombinierte Situations- bzw. Ereignissemantik zu transformieren

ist. Diese ist für menschliche Agenten nicht nur genauso unmittelbar verständlich, sondern der Prozessualität und Relationalität der realen Lebenswelt auch angemessener. Aus IoX-Kohärenzgründen ist dieser Schritt im Grunde unerlässlich. Indem eine Ontologiearchitektur in Frage stehen muss, die parallel sämtliche IoX-Subsysteme jeweils dezidiert adressiert, geht es nicht nur im kosmologischen Sinne als "*Ontology of Everything*" um alle Entitäten des IoX-Hyperspace, sondern als "*Ontology for Everything*" um die parallele Anwendbarkeit in sämtlichen IoX-Anwendungsszenarien. Es steht außer Frage, dass eine solch universale Orientierung allein über ein "*Metaphysical Engineering*" entwickelbar ist.

Als Vier-Welten-Ontologiearchitektur sind bei CYPO mit Pkt. 3.5 alle vier Welten für die Agenteninteraktion maßgeblich, insbesondere die Agentenwelt (W2) selbst. Im Sinne der hybriden Agentenarchitektur nutzen Agenten verschiedene AI-Technologien; sie lernen und generieren dabei im Zeichen maschinellen Lernens *implizites* Wissen; im Zeichen des *Ontology Learning* geht es demgegenüber um *explizites* Wissen. KR- und ANN-Ansätze stehen hier also keineswegs im Widerspruch, sondern sind vielmehr als komplementär aufzufassen. Bei den vier Welten geht es dabei notwendig um ein abgestuftes Realitäts Ganzes, in das die Agenteninteraktion gemäß dem Prinzip *kausaler Wirksamkeit* eingebunden ist. Entsprechend wird nachvollziehbar, warum die Agenteninteraktion entlang des *Cyber-Physical-Social-Thinking Hyperspace* zu entwickeln ist, der im Hinblick auf die Vernetzung und Eingebundenheit der Agenten als *IoX-Hyperspace* zu konkretisieren ist. Dabei ist mit der hybriden Agenten- und Ontologiearchitektur gewährleistet, dass der "*thinking space*" des Agenten sowohl im MAS/CAS-Sinne als auch im CPS/SEA-Sinne zugänglich ist, wie es die Relevanz der fünf IoX-Subsysteme in den verschiedensten IoX-Szenarien verlangt. Den Dreh- und Angelpunkt der dritten AI-Generation bildet dabei die *Top-level Ontologie*, die als zentrales Koordinationsmoment sowie als universale ontologische Referenzbasis zum Kern der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* avanciert.

Agenten lassen sich auf Basis von CYPO/IMKO in vielfacher Weise abgrenzen und abstufen. Denn den Kern der CYPO-Agententheorie bilden die Whiteheadschen *Subjekt-Superjekte*, die von einfachen Perzeptoren und Effektoren bis zu superintelligenten kognitiven Agenten reichen. Diese sind jeweils kausal in der cyber-physischen Welt existent, und besitzen somit kosmologische Verankerung. Agenten sind jeweils durch Ereignisse konstituiert und in *Event Streams* situiert, wobei sie prinzipiell kontextbezogen wahrnehmen bzw. agieren. Agenten bilden im Whiteheadschen Sinne gleichzeitig physische Symbolsysteme; sie lassen also eine symbolische Repräsentation zu, die im Agentensinne subjektbezogen ist, während das Ontologieverständnis insgesamt ein objektives ist. Konstruktivistische Momente und Realismus schließen sich also keineswegs aus; entsprechend sind hier verschiedene Modi und somit auch verschiedene Welt- und Ontologietypen zu differenzieren, was kein ontologischer Ansatz bisher in dieser Weise vollzieht. Ferner ist im Sinne der Prozessmetaphysik das Agentenlernen zwingend, was gerade auch die Dimension maschinellen Lernens eröffnet. Emergenz impliziert jedoch genauso das Erfordernis

zum Entlernen, wie es im kritischen Realismus Whiteheads bzw. Poppers angelegt ist. Für kognitive *Subjekt-Superjekte* ist also nach wie vor der Aspekt der *Belief Revision* erforderlich, wie er im einseitigen subjektiven Modus für klassische AI-Ansätze charakteristisch ist. Ferner nutzen kognitive Agenten *implizites* wie *explizites* Wissen, wobei jeweils unterschiedliche AI-Technologien zum Einsatz kommen. *Maschinelles Lernen* weist primär auf *implizites* Wissen; echtes, situatives *Tiefenverständnis* von Agenten demgegenüber auf *explizites* Wissen durch Explikation und Inkontextsetzung auf Basis von Ontologien. Diese sind auch insofern als primär zu erachten, als Polanyis (1967) *tacit knowledge* auf Grundlage von Ontologien in eine *explizite* Form überführbar ist.¹⁸⁴ Weiterhin ist bzgl. des expliziten Wissens mit Popper zwischen *subjektivem* und *objektivem* Wissen zu differenzieren; in *cyber-physischen* Kontexten, mit denen alle *physikalischen* Implikationen gegeben sind, ist die Voraussetzung objektiven Wissens dabei mit Pkt. 6.2.6 an den metaphysischen und epistemologischen Realismus geknüpft. Das betrifft etwa physikalische Gesetzmäßigkeiten oder das physikochemische Verhalten programmierbarer Materie, die als Gegenstand des 4D-Printing in Pkt. 1.5.1 gesondert aufgegriffen wird.

Für die Differenzierung zwischen *implizitem* und *explizitem* Wissen einerseits und *subjektivem* und *objektivem* Wissen andererseits sprechen zahlreiche Argumente, die im Laufe der weiteren Ausführungen noch deutlicher werden. An dieser Stelle ist die Bewandnis der Kombinierbarkeit dieser beiden Differenzierungen insofern hervorzuheben, als dafür plädiert wird, gerade auch *subjektives Wissen* im Sinne des KR-Gedankens und im Zeichen etwa von P.M.S. Hackers (2004a) *Ontology of Belief explicit* zu machen. Im EAI-Paradigma ist das vor dem Hintergrund des Konstruktivismus und der Irrelevanz bzw. Nichtexistenz objektiven Wissens nicht erforderlich. Im Kontext Cyber-physischer Systeme sind diese Annahmen jedoch nicht aufrecht zu halten und es muss darum gehen, das Wissen so weit wie möglich explizit zu machen, um es im Zuge der *Belief Revision* mit anderen Ontologien abgleichen zu können. Bei CYPO ist der Abgleich zwischen allen Ontologietypen vorgesehen; mit dem *W2/W1-Abgleich zur Belief Revision* ist dann etwa gemeint, dass das im Sinne des *Common Sense* vereinfachte Physikmodell eines Agenten (W2) auf Kohärenz mit entsprechenden *Scientific Ontologies* (W1) geprüft wird. Die hier skizzierte und insbesondere in Pkt. 3.5 näher dargelegte Ontologiearchitektur wird auf dieser Grundlage dem durch die zweite AI-Generation verfolgten Superintelligenzgedanken dabei offenbar besser gerecht als der Lösungsansatz bei Steels (2006, 2007). Insgesamt betrachtet kann die dritte AI-Generation als Symbiose der ersten und zweiten AI-Generation im Kern nur auf eine universale Agenten- bzw. Ontologiearchitektur hinauslaufen, wie sie im Folgenden im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* debattiert wird.

¹⁸⁴ Vgl. etwa Beijun/Jian (2010).

1.1 Top-level Ontologien zur Interoperabilität integrierter IoX-Systeme

»[I]t is of obvious advantage if we can find a way to minimize the number of ontologies that are being constructed and at the same time maximize their mutual consistency.«

— Barry Smith/Werner Ceusters (2010: 139)

Ontologien repräsentieren *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle*, die in fundamentaler Hinsicht immer auf die Meta-Ontologie bzw. eine technisch realisierte *Top-level Ontologie* verweisen. Alles *Computing* ist *Ontological Computing*, weil es sich immer auf eine "Welt" bezieht, deren Weltauffassung meta-ontologische Dispositionen voraussetzt. Während *Ontologie* im Computing implizit immer gegeben ist, wird sie seit Mealy (1967) zunehmend explizit gesetzt. Mit Pisanelli et al. (2002: 125) gilt inzwischen: »no computerized systems in this century will ever be designed without an ontological approach«. In der Tat besitzt jedes computerisierte System nicht nur mindestens implizit eine Ontologie, nämlich in Bezug auf die Entitäten bzw. konzeptuelle Struktur ihrer Welten wie ggf. deren semantischen Beschreibung, die jeweils auf meta-ontologischen Dispositionen stehen. Entsprechend stellt sich die Frage, was mit "Ontologie" und der Meta-Ontologie als ihrer Basis genau gemeint ist. Wenn *Computing* immer als *Ontological Computing* aufzufassen ist, dann besteht offensichtlich in der Frage der Meta-Ontologie der Informatik eines der wichtigsten, letztlich das fundamentalste Problem der Disziplin. Denn faktisch gibt es in ihr Dutzende, zumeist völlig disparate Auffassungen darüber, was unter "Ontologie" zu verstehen ist und wie die Meta-Ontologie zu spezifizieren ist. Dieser Status quo ist in vielen Hinsichten problematisch, nicht nur mit Blick auf die semantische Interoperabilität der Systeme, sondern in allen Hinsichten praktischer Gestaltungsoptionen. Doch zumindest praktischen Informatikern ist oftmals nicht einmal der Umstand klar, dass sie *Meta-Ontologie* selbst immer voraussetzen bzw. in ihr ein wesentliches Problem ihrer Disziplin besteht.

Bereits bei Mealy (1967), später auch explizit bei McCarthy (2000) wird "Ontologie" im Rekurs auf Quine ganz anders, nämlich geradezu als Gegenposition verstanden als sie heute in der Informatik landläufig im linguistischen Sinne Grubers (1993, 1995), dem explizit darauf aufsetzenden Ontologieverständnis von Berners-Lee et al. (2002) und in technischer Umsetzung etwa bei Hayes (2004) verstanden wird. Denn Quines Ontologieauffassung wendet sich gerade gegen den *Common Sense*; sie ist nicht 3D-objektzentrisch, sondern 4D-ereigniszentrisch und steht als solche auch nicht in der Cartesischen Tradition jener GOFAI-Ansätze, zu denen im Sinne der deskriptiven Metaphysik schließlich auch das linguistische Ontologieverständnis zu zählen ist. Denn es ist im Gruberschen Sinne gerade nicht auf die unmittelbare Realitätsinteraktion bezogen und ersetzt die notwendige Auseinandersetzung mit den fundamentalen Strukturen der Realität durch ihre unhaltbare *Harmonie-These*, die kaum jemand hinterfragt. – Wenn die Ontologie in der Informatik gesetzt ist, dann ist es auch die Meta-Ontologie; denn alle Ontologie ist immer *metaphysica generalis*. Sie kann gar nichts anderes sein, weil jedes Weltmodell immer auch mit McCarthy (1995) einen "*general world view*" in sich trägt. Damit ist evident, dass die

Ontologiefrage immer auf die Metaphysikfrage hinausläuft, was bedeutet, dass McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" jene nach der für die Informatik *adäquaten* Metaphysik impliziert. Es ist diese, über die die Meta-Ontologie bzw. die *Top-level Ontologie* der Informatik erst bestimmbar ist, auf die alle Ontologie der Disziplin referenziert.

Wie mit Pkt. 4.1 deutlich wird, gibt es völlig disparate Verständnisse von Metaphysik und entsprechende Metaphysikklassen, und darin gründet im Kern das disparate Ontologieverständnis der Disziplin. Aus diesem Grunde führt kein Weg daran vorbei, zunächst die Frage der Metaphysik der Informatik zu stellen, indem all ihre Konzepte, Methoden, Modelle, Logikkalküle, Sprachen, Repräsentationen und schließlich all ihre Systeme auf dieser aufbauen. Faktisch stellen sich dann die Unterschiede etwa von Cartesischer vs. Heideggerscher Metaphysik, oder von deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik, von physisch-materieller vs. informatorisch cyber-physischer Metaphysik, von objektzentrischer Substanz- vs. ereigniszentrisch-relationaler Prozessmetaphysik usf. Dabei zeigt sich insgesamt, dass es mit der *Klasse-4-Metaphysik* allein eine für die Informatik sachgerechte Metaphysikklasse gibt. Wenn diese nicht mit dem heute landläufigen Metaphysikverständnis der Disziplin übereinstimmt, zeigt sich das Erfordernis, die Ontologiedebatte vor dem Hintergrund des *Ontological Computing* zu führen. Denn es bestehen in der Disziplin große Missverständnisse, die sich etwa an dem dargelegten Umstand zeigen, dass selbst die Ontologiepositionen führender AI-Forscher in sich inkonsistent sind, wenn etwa der Situationskalkül McCarthys (1963b) bzw. McCarthys (1968) Prämisse des *Common Sense* auf McCarthys (2000) Favorisierung der Quineschen Ontologieposition trifft. Allerdings stellt McCarthy nur die richtigen Fragen, während dies für seine ontologischen Antworten nicht gilt. Das betrifft nicht nur die meta-ontologische Basis des Situationskalküls wie des *Common Sense*, sondern auch das in Pkt. 5.1 behandelte Dilemma, dass Quines Ontologieverständnis zwar demgegenüber ereigniszentrisch, jedoch weder agentenbezogen noch tatsächlich cyber-physisch verankert ist. Und auch die Widersprüche bei Hayes zeigen, dass diese Inkonsistenzen genau eine Ursache besitzen, die bereits bei McCarthy/Hayes (1969) zum Ausdruck kommt. Nämlich dass in der ganzen Informatik bzw. AI-Disziplin von Beginn an große Unklarheit besteht, wie all ihre ontologischen Anforderungen in eine in sich konsistente Ontologiearchitektur zu bringen sind. McCarthy (1995) räumt mit dem Hilfeersuchen an die Philosophie offen ein, dass die AI-Disziplin in dieser elementaren Sache, auf der alles aufbaut, nicht weiterkommt bzw. komplett stagniert. Daran hat sich bis heute nichts geändert, außer der Tatsache, dass es inzwischen einen exorbitanten Zuwachs an Ontologiekonzeptionen, philosophischen Alternativen sowie Top-level Kategorien gegeben hat, durch den sich die ontologische Konfusion noch einmal erheblich verschärft hat.

Die eingangs dieses ersten Teils dargelegte Behauptung, wonach die fundamentalen Grundlagen der Informatik im Grunde völlig ungeklärt sind, wird vor diesem Hintergrund bereits besser nachvollziehbar. Analoges sollte für unsere zehnte, abschließende Kernthese gelten, wonach die Disziplin der Programmatisierung der Digitalmetaphysik bedarf. Und vor

diesem Hintergrund wird klar: Wenngleich Ontologien implizit immer von Relevanz sind und heute auch explizit eine wesentliche Rolle in allen Sphären der Informatik spielen, steht die eigentliche *ontologische Revolution* der Disziplin noch bevor. Denn es steht außer Zweifel, dass weder das linguistische Ontologieverständnis im Sinne des Common Sense, noch die ungeklärte Ontologiedebatte als solche mit Dutzenden unterschiedlichen Ontologieverständnissen jene Basis schaffen, um die es in der Ontologiefrage eigentlich gehen muss. Gewiss ist es das Ontologieverständnis als solches, an dem die ganze Superintelligenz hängt. Dabei ist dies, wie das *Frame Problem* verdeutlicht, im doppelten Sinne zu verstehen, d.h. sowohl in Bezug auf das *Frame Problem I* als auch in Bezug auf das *Frame Problem II*; in Bezug auf die KR-Ontologie wie in Bezug auf die metaphysische Ontologie; in Bezug auf die erste AI-Generation wie in Bezug auf die zweite AI-Generation. Tatsächlich ist die eigentliche *ontologische Revolution* der Informatik allein auf Basis der dritten AI-Generation realisierbar, die das Ontologieverständnis in der Weise konzipiert, wie es in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik verstanden wird. Das *Frame Problem* ist also entscheidend, weil die ganze Ontologiearchitektur als Symbiose von erster und zweiter AI-Generation im Zuge einer korrigierenden Konsolidierung zu entwickeln ist. Es geht damit um eine *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) als *Ontological Computing Framework* (OCF), die im IoX-Hyperspace eine Ontologiearchitektur erfordert, die entlang des *Cyber-Physical-Social-Thinking Hyperspace* zu entwickeln ist.

Wenn die Informatik einer Programmatik im Sinne einer adäquaten Digitalmetaphysik bedarf, und ihr eigentlicher Ursprung allgemein bei Leibniz gesehen wird, dann liegt der erste Schritt zur Lösung ihres ontologischen Dilemmas zum greifen nahe: er besteht in dem durch Whitehead aktualisierten Leibnizprogramm, das zum einen die Cartesische Metaphysik des GOF AI-Paradigmas ersetzt, zum anderen aber im Gegensatz zur Heideggerschen Metaphysik eine echte cyber-physische Metaphysik verkörpert. Im Grunde ist festzustellen, dass weder die erste AI-Generation noch die zweite die eigentlichen Ursprünge der Disziplin wie das Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysikparadigma richtig verstanden haben können. Das ist nur bei den wenigsten AI-Forschern, etwa bei Mainzer (2004a, 2007a) bzw. Mainzer/Chua (2012) der Fall. Denn dann wäre der zweiten AI-Generation klar gewesen, dass sich die Cyber-Physik im Leibniz-Whiteheadschen Paradigma und nicht in der Heideggerschen Metaphysik findet. Demgegenüber hätte bei der ersten AI-Generation von vornherein Einsicht bestehen müssen, dass es völlig verfehlt ist, das AI-Paradigma im GOF AI-Sinne auf der Cartesischen Metaphysik gründen zu lassen. Denn der Kern der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik besteht gerade in der Überwindung des Cartesischen Dualismus wie der Subjekt-Objekt-Dichotomie. Genauso findet sich hier ergänzt um die realitätsbezogene wie exakte Auslegung der Ontologie die genaue Gegenposition zum linguistischen Ontologieverständnis bzw. Common Sense. Bei Whitehead geht es auf ratio-empirischer Basis gerade um eine cyber-physische Relationenontologie, die im 4D-Sinne ereigniszentrisch ist, während das linguistische Ontologieverständnis von

Gruber (1993, 1995) bis Hayes/Patel-Schneider (2014) in jeder Hinsicht das fundamentale Gegenteil davon verkörpert. Das ganze *Semantic Web* setzt in seiner IoP-Fixierung die GOFAI-Tradition der ersten AI-Generation in metaphysischer Hinsicht zumindest im Kern fort, und das kann mit Blick auf die ontologische Interdependenz im IoX-Hyperspace in keiner Weise wegweisend sein. Es handelt sich insofern um eine GOFAI-Semantik, als sie sich im Sinne der deskriptiven Metaphysik in keiner Weise um die faktischen Realitätsstrukturen schert, sondern diese vielmehr vor dem Hintergrund des *Common Sense* im Sinne ihrer *Harmonie-These* als richtig voraussetzt. Wenn diese These die Kongruenz von Sprachstruktur und Realitätsstrukturen behauptet, jedoch ihr naiver Kern insbesondere durch die Fakten der cyber-physischen Realität demaskiert wird, ist das Grubersche Ontologieverständnis *ad absurdum* geführt. Insofern besteht das Ontologieproblem der Informatik nicht nur darin, dass sie ihre Leibnizschen Grundlagen kaum verstanden haben kann, sondern auch, dass die linguistische Harmonie-These mit P.M. Simons (2002, 2004a) nicht stimmt; de facto ist sie mit der cyber-physischen Bestimmtheit aller Ontologie, mithin durch die Digitalmetaphysik als Cyber-Physik außer Kraft gesetzt.

Etwas differenzierter betrachtet basiert das Grubersche Ontologieverständnis auf *internen Repräsentationsmodellen*, deren Semantik in keinem zwingenden Realitätsbezug und in keiner unmittelbar situativen Umweltinteraktion steht. Dabei unterscheidet es sich qualitativ nicht in nennenswerter Weise von Quillians (1968) *semantischen Netzen*. An sich spielt der Agentengedanke bei Gruber wie später im *Semantic Web* keine Rolle, wie es auch in der ganzen GOFAI-Tradition nicht anders der Fall ist. Natürlich ließe sich so argumentieren, dass jeder einzelne Agent im Sinne von P.M.S. Hackers (2004a) *Ontology of Belief* seine eigene linguistische Ontologie besitzt. Das gibt jedoch weder die Ontologiearchitektur her noch entspricht dies Mikas (2007) Idee des "*ontologies are us*". Zudem steht jeder Agent in Ereignisströmen, während die Ereigniskategorie bei Gruber gar nicht vorkommt. Es geht dort allein um Objekte, wie es der Cartesischen Metaphysik entspricht: hier als physisch ausgedehnte geometrische 3D-Körper (*res extensa*), dort als Vorstellung davon (*res cogitans*). Ihr Schema *Subjekt-Prädikat-Objekt* ist dabei detailliert darauf angelegt, die Welt der Materie, die Cartesische *res extensa* in Worte zu fassen. Denn Objekte werden im linguistischen Ontologieverständnis genau in diesem gegenständlichen 3D-Sinne von Körpern aufgefasst. Dabei bildet die Grammatik nach dem Schema *Subjekt-Prädikat-Objekt* nach wie vor die Grundlage des *RDF Triple*, von OWL und allem, was heute die *Semantic Web Technologien* (SWT) des W3C im Kern ausmacht.

Das Problem dieser Art von Metaphysik ist, dass sie als Variante der *Klasse-2-Metaphysik* der Denkart der Informatik gar nicht entspricht. Denn ihr Grundstoff besteht gar nicht in der Materie, sondern in der Information, die im Zeichen kausaler Wirksamkeit im logico-mathematischen Leibniz-Whiteheadschen Paradigma der Digitalmetaphysik gerade den Cartesischen Dualismus überwindet. Grubers, Berners-Lees oder Hayes' Metaphysik ist also nicht nur "Prä-Leibniz" und somit hoffnungslos veraltet, sondern sie hat auch mit

der Informatik als solcher eigentlich gar nichts zu tun. Das geht nicht nur darauf zurück, dass ihre linguistische bzw. sprachphilosophische Semantikposition durch Leibniz und Whitehead gerade explizit abgelehnt wird, während ihre exakten Methoden der mathematischen Logik gerade zum Zwecke der Überwindung ihres inferioren Status entwickelt werden. Vielmehr besteht das eigentliche Problem erst darin, dass diese alte linguistische Semantikposition vor allem in ihren fundamentalen Kategorien gar nicht der neuen Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik entspricht. Denn hier geht es darum, worum es in der Informatik geht, nämlich um Informationsverarbeitungsprozesse, die cyber-physisch wie logico-mathematisch durchgängig den prozessualen Kategorien der Digitalmetaphysik verhaftet sind. Der Grundstoff ist also ein anderer, das Kausalitäts-, Existenz- und schließlich auch das Realitätsverständnis ist ein grundlegend anderes. Nicht nur im Sinne des Common Sense an sich, sondern vor allem auch in der Hinsicht, dass diese metaphysischen Fundamente durch Gruber und Epigonen in keiner Weise hinterfragt werden, handelt es sich um ein höchst naives Ontologieverständnis. Sie alle operieren in einer Disziplin, die erst im Zuge dieser neuen Metaphysik, der Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik, geschaffen wurde; allerdings auf der inferioren Basis dessen, was diese gerade überwinden will und was zudem im Fokus der genauso unverstandenen Metaphysikkritik Kants steht.

Für Gruber und der Großteil der linguistischen Ontologen sind demnach die Dimensionen der zweiten bzw. dritten AI-Generation unerreichbar, indem sie noch immer im Prä-Leibnizschen Stand der GOFAI-Tradition verharren. Sie sind noch bei Descartes und in wissenschaftlicher Hinsicht noch bei der klassischen mechanistisch-gegenständlichen Wissenschaftsauffassung, während ihre Semantik den modernen techno-wissenschaftlichen Systemismus in keiner Weise fassen kann. Das gilt ähnlich für den anderen großen, nämlich den philosophischen Teil der Ontologieforschung, der – zeitlich gesehen – noch weiter zurück ist, indem er insbesondere durch Aristoteles bestimmt ist. In der Tat besitzen alle führenden Ansätze zu den Top-level Ontologien (TLO) einen neo-aristotelischen Kern bzw. Ursprung; bestimmte TLO-Ansätze, etwa die BFO-TLO von B. Smith et al. fußt dabei auch explizit auf dem aristotelischen Substanzgedanken. In der Praxis sieht das Bild nicht anders aus, wenn der *Cluster of European Research Projects on the Internet of Things* (CERP-IoT) mit Vermesan et al. (2009) gerade im *Internet der Dinge* mit den Philosophien von Aristoteles und Philoponos aufwarten will. Was Cyber-Physik ist, und was Cyber-physische Systeme (CPS) im Kern ausmacht, können sie damit kaum verstanden haben. Denn beides lässt sich bereits im Grundsatz nicht auf Basis solch antiquierter Philosophien denken, indem sie mit der Information auf einem anderen Grundstoff basieren, auf einer insgesamt anderen Form von Kausalität, Existenz, Realität usw. All die bisher in der Informatik bemühten Fundamente werden durch ihre Protagonisten in dieser oder jener Hinsicht als ihre wahre Metaphysik gepriesen; dabei sind sie unzweifelhaft eines nicht, nämlich Digitalmetaphysik. Und das ist es, worauf es in der Informatik ankommt.

Alle Semantik basiert auf Metaphysik; alle klassische Metaphysik, die auf der Subjekt-Objekt-Dichotomie fußt, versteht die Semantik insbesondere im aristotelischen oder Cartesischen Sinne auf die Objektwelt bezogen, die eine externe Welt bzw. Außenwelt verkörpert. In beiden Fällen geht es um einen naiven Realismus; im zweiten Fall ist das Subjekt jenseits seiner körperlichen Verfasstheit überhaupt nicht mehr Bestandteil der Natur. Eine agentenbasierte Metaphysik findet sich erst richtig bei Kant; allerdings darf man Kant nicht – wie die deskriptive Metaphysik – in seiner lediglich akzentuierenden Darlegung fehlinterpretieren, indem man die Ontologie zur Epistemologie verklärt. Vielmehr ist Kants agentenbasierte Metaphysik erst im Whitehead-Heideggerschen Sinne des "Being-in-the-World" richtig verstanden. Entsprechend ist die Whiteheadsche Digitalmetaphysik disponiert; sie kennt weder die Subjekt-Objekt-Dichotomie noch verwechselt sie Epistemologie mit Ontologie. Vielmehr ist alles im Kosmos *Information Processing*, in der physischen Welt wie in der Agentenwelt. Immer geht es um zelluläre Automaten und gleichzeitig um symbolische Repräsentation bzw. formale Logik; es gibt dabei keinen Widerspruch, wie er in der AI-Disziplin bis heute auf Basis falscher Metaphysiken angenommen wird.¹⁸⁵ Alles *Information Processing* ist ereigniszentrisches 4D-Processing, wie es sich bei einigen wenigen, allerdings nicht-gängigen TLO-Ansätzen (Sowa, BORO, Russell/Norvig, GFO-neu) findet.¹⁸⁶ Allerdings handelt es sich dabei selbst bei Sowa (2000) nicht um die exklusivistische Whiteheadsche (1929a) Variante, die mit der Adressierung von Objekten im Zeichen der Reproduktion von Ordnungsmustern im Hinblick auf die Durchgängigkeit von Cyber-Physik und CPST-Hyperspace einzig wegweisend sein kann. Entsprechend wird der exklusivistische 4D-Modus Whiteheads erst mit CYPO in der Weise konsequent umgesetzt, wie sie die Informatik vor dem Hintergrund des CPST- bzw. IoX-Hyperspace nach Maßgabe ontologischer Interdependenz verlangt. Die genannten Ansätze bilden partiell bessere Ausnahmen; alle gängigen TLO-Ansätze gehen demgegenüber an der Sache komplett vorbei.

Natürlich ist es ein Irrtum zu glauben, dass die Semantik der Informatik sich im Sinne der Cartesischen *res extensa* nur auf die Außenwelt bzw. die Natur bezieht, selbst wenn es im Zeichen der *res cogitans* auch um fiktionale Entitäten gehen kann. Vielmehr ist mit dem *Ontological Computing* impliziert, dass die Semantik genauso der Innenwelt selbst entsprechen muss. Die Semantik bzw. die semantische Information hat in der Informatik genauso cyber-physisch durchgängig zu sein, wie es für die syntaktische Information ohnehin gilt. Die meisten Semantiker bzw. philosophischen Ontologen verstehen diesen Umstand deshalb nicht, weil sie als Linguisten oder Sprachphilosophen zu wenig bis gar

¹⁸⁵ Falsch sind solche Metaphysiken insofern, als sie nicht durchgängig universal sind, was nicht nur ihren Grundstoff und ihre Realitätsauffassung betrifft, sondern genauso die fehlende Korrespondenz mit allen modernen Struktur- und Erfahrungswissenschaften. Sie sind somit zwar oftmals nicht widerlegbar, weil ihnen die empirischen Momente fehlen. Doch sind sie ungeachtet der Metaphysikkritik Kants, die solche Ansätze von vornherein disqualifiziert, dennoch zurückweisbar. Denn die Metaphysik als Erste Philosophie besitzt in der Analyse der fundamentalen Strukturen aller Welten immer einen *universalen* Anspruch, den inferiore Metaphysiken nicht erfüllen.

¹⁸⁶ Vgl. dazu auch Abb. 62.

nichts mit den technischen Belangen der *Enterprise Architecture* (EA) zu tun haben. Doch im Gegensatz zur Linguistik muss der Semantiker in der Informatik in ihren Maschinenraum herabsteigen; er muss sich mit dem beschäftigen, was sich hinter der computerisierten internen Repräsentation im technischen Sinne des *Information Processing* verbirgt. Das beginnt bei semantischen Datenstrukturen, geht über das *Semantic Complex Event Processing* (SCEP), die *Semantically enabled Service-Oriented Architecture* (SSOA), bis hin zu Referenzontologien wie die *OASIS Reference Ontology for Semantic Service Oriented Architecture* (SSOA-RO). Ferner geht es um die semantische Behandlung aller *Produkt-Service-Systeme* (PSS), aller Prozesse bzw. Workflows und aller Ressourcen (PPR-Paradigma) und mündet schließlich mit Pkt. 2 im ED-SOA-basierten *Real-Time Enterprise* (RTE) und der Frage der *Smart Enterprise Architecture* (SEA). Vereinfacht gesagt besteht im SEA-Aspekt die Konkretisierung der Innenwelt, die im kausalen Zeichen Cyber-physischer Systeme (CPS) zu entwickeln ist. Denn Außen- und Innenwelt sind qua kausalen CPS-Systemgedanken eins, und damit ontologisch wie semantisch entsprechend durchgängig zu behandeln. Allerdings gibt es bisher keinen einzigen Ontologieansatz, der dies in der erforderlichen Weise der in Pkt. 2.4 behandelten *TLO-EO-Verkopplung* systematisch vollzieht. Vielmehr sind die meisten Ontologieansätze der Informatik weit weg von dieser Perspektive, namentlich die Grubersche Ontologie oder etwa die BFO-TLO B. Smithens, indem diese am aristotelischen Hylemorphismus festmacht. Dabei haben die Tiefen des *Computing* mit dem Hylemorphismus bzw. Substanzgedanken *an sich* genauso wenig zu tun wie mit dem Cartesischen Dualismus. Bevor der Semantiker in den Maschinenraum der Informatik herabsteigt, sollte indes die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik als Cyber-Physik verstanden sein. Denn sonst kann man die internen und externen Prozesse semantisch nicht in der im CPS-Sinne erforderlichen Weise fassen. Dann wird klar, dass das ganze *Information Processing* der Informatik auf den fundamentalen Strukturen der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik gründet. Allein auf ihrer Basis ist der ganze Grundstoff der Informatik, Daten, Information und Wissen, sachgerecht zu konzipieren. Darin ist auch der eigentliche Grund zu sehen, warum die Informatik die Digitalmetaphysik *zwingend* voraussetzen hat. Metaphysik ist nicht optional.

Die Probleme der falschen Metaphysik, an der sich im Grunde heute die gesamte Ontologie der Informatik orientiert, sind vielfältig, indem die Metaphysik im Grunde alles berührt, was bereits beim Informationsverständnis als solchem beginnt. Nicht minder wesentlich erscheint der Umstand, dass eine echte Synthese der ersten und zweiten AI-Generation auf der metaphysischen Basis, die sich als deskriptive Metaphysik hinter dem linguistischen Ontologieverständnis verbirgt, in keiner Weise realisierbar ist. Denn die Metaphysik der zweiten AI-Generation ist eine grundlegend andere; sie zielt nicht nur auf die kognitive Erfassung der Realität als solcher, sondern sie ist in dem Sinne echte Metaphysik, indem sie sich mit den tatsächlichen Strukturen ebendieser auseinanderzusetzen sucht. Allerdings ist sie völlig unzureichend und insgesamt falsch ausgelegt, indem sie zwar

keine Anthropologie, doch anthropologisch orientiert ist. Als solche hat Heideggers Metaphysik mit der Informatik bzw. mit Digitalmetaphysik nicht viel zu tun. Zudem könnte man durchaus die Heideggersche Metaphysik in die Whiteheadsche Kosmologie integrieren; das beträfe dann jedoch nur einen Bruchteil dieser; sie würde sich allein auf das Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt* beziehen und selbst dann auch nur in der insgesamt sehr speziellen kognitiven Agentenklasse *menschlicher* Agenten. Umgekehrt wäre eine solche Integration natürlich in keiner Weise möglich. Bei Whitehead geht es jedoch um alle Automatenklassen, die es im Kosmos gibt bzw. im logico-mathematischen Sinne geben kann; es geht wie bei Leibniz im Sinne Mainzers (2016c) um Intelligenz im universalen Sinne, also als Problemlösungsvermögen. Dieses ist nicht menschlichen Agenten vorbehalten, sondern genau umgekehrt bilden diese nicht mehr als eine Automatenklasse mit spezifischem Problemlösungsvermögen, das jenseits von Superintelligenz liegt. Die AI-Disziplin kann weder im Sinne Turings noch Heideggers die Intelligenzfrage auf menschliche Agenten und ihre spezifische Kognition beziehen. Dabei finden sich die Vorteile, die bei Heidegger gegenüber Descartes ausgemacht werden, etwa das "Being-in-the-World" des Agenten, die Überwindung der Subjekt-Objekt-Dichotomie oder die artikulierte Gegenposition zum Cartesischen Dualismus alle auch bei Whitehead – nur um ein Vielfaches besser. So kann etwa die Heideggersche Metaphysik die Gegenposition zum Cartesischen Dualismus lediglich artikulieren; demgegenüber kann die Whiteheadsche Metaphysik als Cyber-Physik diesen aber auch faktisch überwinden.

Nicht zuletzt daran wird deutlich, dass die Heideggersche Metaphysik auf einer Stufe weder mit dem Cartesischen noch dem Whiteheadschen System steht, indem sie dem eigentlichen Anspruch aller Metaphysik gar nicht entspricht. Denn Metaphysik kommt nach der Physik, nicht nach der Anthropologie, und sie muss universal, muss *Kosmologie* sein. Sie muss den Kosmos im Ganzen fassen, und ggf. davon ausgehend mögliche Welten adressieren. Primär ist sie jedoch im Sinne Whiteheads, Poppers oder Bunges *Kosmologie*; dem kann sie aber sachgerecht nur im ratio-empirischen Wechselspiel mit Wissenschaft, Technologie und Praxis gerecht werden. Doch um all das geht es bei Heidegger gar nicht; denn er versteht die Metaphysik an sich falsch. Er versteht sie nicht im Sinne Leibnizens, sondern in der Tradition Nietzsches.¹⁸⁷ Heidegger verkehrt die extreme Cartesische Metaphysik, in der die spezifische Eigenart der menschlichen Agentenklasse als ausgesonderte *res cogitans* komplett aus der Natur eliminiert ist, gewissermaßen ins nicht minder verquere Gegenteil: im Zentrum der Natur steht nunmehr die menschliche Agentenklasse in ihrer Eigenart als *res cogitans*. Natürlich ist weder das eine, noch das andere Extrem wegweisend. Vielmehr ist zu ihrer Reintegration ein anderer, der Whiteheadsche Weg einzuschlagen. Whiteheads universales *Subjekt-Superjekt* repräsentiert alle faktischen und denkbaren Automaten- bzw. Agentenklassen in der Natur; vielmehr wird vor diesem Hintergrund deutlich, dass allein die Leibniz-Whiteheadsche Metaphysik nicht nur konzeptionell

¹⁸⁷ Das gilt auch dann, wenn sich dies durchaus kritisch darstellt, vgl. dazu Müller-Lauter (2000: 231 ff.).

offen für AI-Agenten, sondern gerade genauso für Künstliches Leben (AL) und entsprechende AL-Agenten ist. Entsprechend wird mit der organismischen Metaphysik Whiteheads fundamental genau das begründet, was heute als *Theorie zellulärer Automaten* universale Anwendung findet, was ihre Stellung als Computermetaphysik unterstreicht. Demgegenüber läuft die Heideggersche Metaphysik sowohl am Computing wie an dieser Universalität komplett vorbei. Denn darauf ist sie gar nicht angelegt. Entsprechend schlecht ist die Informatik mit ihr beraten. Gewiss gilt die GOFAI-Grundsatzkritik bei H.L. Dreyfus (1965, 1972) als Kritik der Cartesischen Metaphysik. Jedoch muss sich H.L. Dreyfus selbst der Kritik stellen: mit Pkt. 5.6 verkennt er nicht nur die Natur der Whiteheadschen Metaphysik, sondern auch, dass in der Heideggerschen Metaphysik nicht ansatzweise das universale Fundament der AI-Disziplin bzw. die Metaphysik der Informatik bestehen kann.

Die aktuelle Situation der AI-Disziplin ist also diese: Dass die *Harmonie-These*, die der linguistischen Ontologieauffassung Grubers wie der W3C-Semantik als aktuelle KR-Ansätze der ersten AI-Generation inhärent ist, kaum stimmen kann, wird bereits mit einem kurzen Blick auf die Realitätsauffassung der zweiten AI-Generation deutlich: Etwas genauer analysiert sind beide fundamental inkompatibel. Denn in der direkten GOFAI-Tradition, in der das Grubersche Ontologieverständnis mit seinem expliziten Rekurs auf Genesereth/Nilsson (1987) steht, kennt weder den Agentengedanken noch hat es etwas mit Adaptabilität, situativen Kontexten oder mit Ereignisströmen in komplexen Systemen zu tun. Es hinterfragt auch erst gar nicht die Realitätsauffassung in fundamentaler Weise, wie es für die zweite AI-Generation selbstverständlicher ist. Vielmehr operieren solche als "Ontologien" bezeichnete *semantische Netze* ungeachtet der in sie inkorporierten Regeln nach dem Schema *Subjekt-Prädikat-Objekt* auf nichts anderem als normalsprachlicher Grammatik. Indem das W3C auf Gruber aufbaut, betrifft dies genauso das *RDF Triple* des *Semantic Web*, und es gilt mehr oder weniger für nahezu alle Ansätze im breiten Spektrum konkurrierender Ontologieentwürfe. Denn fast alle Ansätze bauen auf der Normalsprache samt ihrer impliziten *Harmonie-These* auf. Dass die These der Kongruenz von Sprachstruktur und Realitätsstrukturen falsch ist, zeigt bereits der Umstand, dass es in diesen naiven Ontologiekonzepten weder um 4D-Ereignisse noch um Prozesse, nicht um Emergenz oder situierte Kontexte geht, nicht um komplexe Systeme, nicht um Ordnungsmuster usw. Es geht also gerade um all das nicht, womit es Agenten in realen Situationen zu tun haben, wie es agentenbasierte Ansätze entsprechend einfordern.

Die Realitätsauffassung der zweiten AI-Generation ist unter dem kognitiven Agentengesichtspunkt gewiss bereits um einiges besser als die erste. Doch wenn man sie genauer reflektiert, wird schnell deutlich, dass auch diese insgesamt betrachtet für die konkreten Zwecke der Informatik als defekt zu werten ist. Wenn der Ursprung der Informatik an sich bei Leibniz und nicht bei Heidegger liegt, dann gibt es auch keinen Grund sich an letzterem und nicht an ersterem zu orientieren. Das eigentliche Problem liegt ohne Zweifel darin, dass die Informatik sich zwar gerne auf Leibniz beruft, doch den ganzen Leibniz, ins-

besondere das durch Whitehead aktualisierte Leibnizprogramm in keiner Weise verstanden haben kann. Wirklich durchdrungen haben es nur ganz wenige Universalinformatiker, in der ganzen Breite allen voran Mainzer, indem es gerade auf alle Aspekte *integriert* ankommt, was sich ansonsten kaum findet: das beginnt bei der *Mathesis universalis*,¹⁸⁸ dem Transdisziplinaritätsmoment der *Scientia generalis* einschließlich einer im Zeichen Leibnizens stehenden *integrativen Wissenschaft*,¹⁸⁹ und reicht im ratio-empirischen Sinne bis hin zum Automatenuniversum der *Metaphysica*.^{190, 191} Erst darauf lässt sich das Fundament einer Computerphilosophie bzw. Digitalmetaphysik mitsamt aller epistemologischen und methodologischen Fragen begründen, wie es bei Mainzer der Fall ist.¹⁹² Dieses Fundament ist im Leibniz-Whiteheadschen Sinn um die Grundlagen zu komplexen Systemen, Emergenz und Selbstorganisation zu ergänzen.¹⁹³ Erst darauf können die eigentlichen AI-Überlegungen gründen,¹⁹⁴ wobei die Leibniz-Whiteheadsche Perspektive vom *Ubiquitous Computing* bis *Big Data* von Relevanz ist.¹⁹⁵ Indem es bereits bei Leibniz um Wissensrepräsentation einerseits und Perzeption andererseits geht, verstehen Leibnizsche Universalinformatiker wie Mainzer den AI-Gedanken sowohl in der Dimension der ersten,¹⁹⁶ als auch der zweiten AI-Generation.¹⁹⁷ In der Leibniz-Whiteheadschen Universalperspektive laufen die Überlegungen entsprechend konsequent auf die dritte AI-Generation hinaus.

Auf Grundlage der Heideggerschen Metaphysik wäre eine solch universale Perspektive unmöglich. Es gibt tatsächlich keinen guten Grund, warum sich die Informatik an Heidegger orientieren sollte. Im Gegenteil gibt es viele Gründe, genau das nicht zu tun, wenn man Heideggers Metaphysikverständnis als solches in Betracht zieht. Nehmen wir nur zwei wesentliche heraus: (i) Man kann zwar zu Recht gegen die Cartesische Metaphysik als indirekter Grundlage der GOFAI-Ansätze argumentieren, doch gibt es keine zwingenden Argumente gegen die Repräsentation als solche, nur weil die Heideggersche Metaphysik darauf nicht angelegt ist.¹⁹⁸ Andere Metaphysiken, allen voran die Leibniz-Whiteheadsche, sind es hingegen, und zwar in ihrer Cartesischen Kritik gerade nicht im GOFAI-Sinne. (ii) Das Votum bei Dreyfus für die Heideggersche und gegen die Cartesische Metaphysik geht maßgeblich auf den Realitätsaspekt zurück. Zwar zielt dies bei Dreyfus primär auf den Agentengedanken, jedoch setzt das voraus, dass die Metaphysik an sich auf dem richtigen Realitätsverständnis aufbaut. Analog der Kritik der Harmonie-These ist gegen Heideggers Metaphysik einzuwenden, dass sie sich gegenüber der Realität im Erfahrungssinne explizit

¹⁸⁸ Vgl. etwa Mainzer (1978).

¹⁸⁹ Vgl. etwa Mainzer (1993, 2012).

¹⁹⁰ Vgl. etwa Mainzer/Chua (2012).

¹⁹¹ Auch in anderer Hinsicht geht es bei Mainzer insofern um ratio-empirische Metaphysik, als *Materie* und *Information* als kosmologischer Grundstoff umfassende Erörterung finden, vgl. Mainzer (1996, 2016a).

¹⁹² Vgl. etwa Mainzer (2003a).

¹⁹³ Vgl. etwa Mainzer (2004a, 2007a, 2009a, 2009b).

¹⁹⁴ Vgl. etwa Mainzer (1994b, 1997, 2002b, 2003b, 2016b).

¹⁹⁵ Vgl. dazu Mainzer (2000b, 2014a).

¹⁹⁶ Vgl. etwa Mainzer (1990) sowie Balke/Mainzer (2005).

¹⁹⁷ Vgl. etwa Mainzer (2002a, 2016c).

¹⁹⁸ Vgl. dazu Salay (2009).

immunisiert. Es gibt bei ihr keine Durchgängigkeit zwischen Wissenschaften und Metaphysik, wie sie im Ratio-Empirismus in den wissenschaftlichen Metaphysiken bei Bunge oder Whitehead selbstverständlich ist. Wie will die Informatik als techno-wissenschaftliche Schlüsseldisziplin auf einer solchen Metaphysik aufbauen? Die Details dazu wie weitere Argumente gegen die Heideggersche Metaphysik finden sich in Pkt. 5.6, und diese sind auch mit Blick auf Pkt. 3.2.3 relevant, indem die Heideggersche Metaphysik inzwischen auch im Umfeld von Berners-Lees "*Philosophical Engineering*" bemüht wird. Wenn man sich dabei allerdings der unhaltbaren naturalistischen Fassung M. Wheelers bedient, die selbst H.L. Dreyfus explizit ablehnt, zeigt sich wiederum, dass die Informatik nicht nur in AI-Hinsicht, sondern insgesamt nicht umhin kommt, tiefer in die Metaphysik einzusteigen.

Es ist nicht die Metaphysik, lediglich eine These Heideggers, die für die Informatik und ihre Ontologieproblematik von Interesse ist. Sie besagt, dass die Philosophie sich in der Kybernetik auflöse.¹⁹⁹ Heidegger meint damit, dass die modernen Wissenschaften die Rolle der bisherigen Philosophie übernommen hätten und dass es vor diesem Hintergrund die Kybernetik sei, die den Platz der Philosophie einnähme. Richtig ist aber was anderes: die philosophischen Fragen, die metaphysischen, ontologischen, epistemologischen, methodologischen und logischen Fragen bleiben nicht nur, sondern sie werden ungleich komplizierter, indem nicht mehr rein – wie bei Heidegger – in der menschlichen Agentenklasse gedacht werden kann. Vor allem aber sind sie ganz konkret, d.h. im Kontext Cyber-physischer Systeme *technisch* umsetzbar zu beantworten; all diese Fragen sind also zu einem konkreten Ende zu bringen. Und das ist für die Philosophie genauso eine qualitativ völlig neue Situation, wie ihre transdisziplinäre Herausforderung, mit der sie nunmehr durch das Cyber-Physische konfrontiert ist. Denn all ihre Fragen sind nunmehr quer durch alle Automaten- bzw. Agentenklassen zu denken, was nicht nur an sich ungewohnt ist, sondern auch manches bisher sicher gedachtes Denkgebäude unwillkürlich zum Einsturz bringen wird. Im Gegensatz zu Heidegger wird die Philosophie im Sinne McCarthys (1995) mehr denn je faktisch gebraucht; sie ist elementar, nur kann sie natürlich auf Basis antiquierter Denkgebäude keine Antworten auf McCarthys Fragen liefern. Nicht umsonst ist auch jede Reaktion der Philosophie ausgeblieben. Damit ist klar, dass natürlich nicht N. Wieners (1948) *Cybernetics* an die Stelle der Philosophie treten kann, wie Heidegger meint. Denn sie ist ähnlich eng begrenzt wie die Allgemeine Systemtheorie Bertalanffys; sie bilden letztlich nicht mehr als insgesamt irreführende populärwissenschaftliche Varianten des Originals, auf das sie sich explizit beziehen. Indem auch alle fundamentalen Fragen bei ihnen offenbleiben, muss es um die Leibniz-Whiteheadsche Cyber-Physik selbst gehen.

Der Heideggersche Pessimismus ist unangebracht, wenn die Philosophie, allen voran die Metaphysik richtig gedacht wird. Dann aber darf man weder die Metaphysik im Heidegger-Nietzsche-Modus denken noch die Philosophie als bloße Phänomenologie praktizieren. Man kann dann auch nicht auf Philosophien setzen, denen der Grundstoff der In-

¹⁹⁹ Vgl. dazu im Einzelnen Pkt. 5.6.

formation oder die formale Logik fremd sind. Denn darin liegt gerade der Grund für den Umstand, dass das moderne technische Zeitalter keine Verwendung mehr für solche Philosophien hat. Nicht also dieses ist das Problem, wie Heidegger unterschwellig meint, sondern vielmehr die Philosophie, nicht zuletzt jene Heideggers. Wenn H.L. Dreyfus oder M. Wheeler meinen, dass sich die Devise "*AI is metaphysics*" gerade auf Heideggerscher Basis einlösen ließe, liegen sie in ihrer metaphysischen Wahl grundsätzlich falsch. Falsch verstanden würde die Metaphysik tatsächlich bedeutungslos, und deshalb ist es an der Zeit, das Blatt zu wenden: Es ist Sache der Philosophen einzusehen, dass die Philosophie im 21. Jahrhundert allein auf den techno-wissenschaftlichen Grundlagen der Cyber-Physik begründet werden kann. Sonst ist sie in den Worten Heideggers tatsächlich "zu Ende",²⁰⁰ indem sie entweder – wie im Fall McCarthy (1995) keine Antworten mehr liefern kann, oder aber in ihrer kosmologischen Negierung des Digitalen bzw. des Grundstoffs der Information, in ihrer zu engen Realitätsauffassung oder in ihrer fehlenden Kompatibilität zu den modernen Wissenschaften nicht mehr ernst genommen wird. Tatsächlich kann ein Philosoph nicht einmal zur Roboter-Ethik bzw. verwandten Fragen Stellung nehmen, ohne dass sein Denkgebäude etwas mit Cyber-Physik zu tun hat: Das Digitale ist dabei primär nichts technisches, sondern im Sinne ihres Grundstoffs, der Kausalität, Komplexität wie der Realitätsauffassung insgesamt etwas kosmologisches; es geht also nicht etwa um Technikphilosophie, sondern um Metaphysik. Auf diese Feststellung ist deshalb Wert zu legen, indem das Digitale als Teil des Cyber-Physischen im Nachhinein zeigt, dass der Großteil der Philosophie offenbar grundsätzlich falsch gedacht ist. Im Umkehrschluss folgt daraus, dass alle Philosophie, die nicht Cyber-Physik ist, am Kosmos vorbeigeht, mithin nicht universal ist, wie es indessen ihr metaphysischer Kern als *Erste Philosophie* verlangt.

Die Cartesische Metaphysik ist jene der ersten AI-Generation; die Heideggersche Metaphysik jene der zweiten AI-Generation, während die universal verstandene Leibniz-Whiteheadsche Metaphysik jene der dritten AI-Generation verkörpert. Denn in ihr besteht die einzige Metaphysik, die sowohl die Defekte der ersten AI-Generation als auch jene der zweiten AI-Generation beheben und beide Vorstufen zu einer in sich geschlossenen AI-Disziplin verschmelzen kann. Wenn mit McCarthy (1963a: 66) der AI-Aspekt den Kern der Informatik ausmacht, dann offenbart die metaphysische Zerrissenheit der ersten und zweiten AI-Generation nicht nur den protowissenschaftlichen Stand der Disziplin, sondern vielmehr das Erfordernis, ihre eigentlichen digitalmetaphysischen Fundamente im Sinne der Leibniz-Whiteheadschen Tradition herauszuarbeiten und konsequent zu nutzen. Das betrifft nicht zuletzt auch den Gedanken der Superintelligenz, den die zweite AI-Generation in essentieller Weise für sich reklamiert. Wie in Pkt. 6.3 dargelegt, lässt sich der Superintelligenzgedanke jedoch in keiner Weise einlösen, ohne dass nicht der metaphysische Graben zur ersten AI-Generation überwunden wird. Im Grunde liegt nichts ferner als den Gedanken der Superintelligenz in der Informatik ohne ihr Basisparadigma der Leibniz-

²⁰⁰ Vgl. Heidegger (1966: 672).

Whiteheadschen Digitalmetaphysik einlösen zu wollen. Das lässt sich in vielerlei Hinsicht begründen, nicht nur in jener, dass erst dieses die emergentische komplexe Welt als solche sachgerecht eröffnet oder dass sie den richtigen Zugang zu Perzeption und Kognition weist. Vielmehr hat Intelligenz als Problemlösungsvermögen natürlich viel mit Leibnizens *Scientia generalis* zu tun, die im Sinne Mainzers (1993, 2012) als *integrative Wissenschaft* zu entwickeln ist. Denn natürlich stehen alle modernen Technologien unmittelbar im Zeichen wissenschaftlichen Wissens, das insbesondere im Zeichen der Superintelligenz eine *transdisziplinäre* Repräsentation erfordert, damit maschinelle Agenten es umfassend verknüpfen können. Insofern ist das unverstandene Leibnizprogramm mit dem IMKO OCF zu erneuern, womit die Ontologie prinzipiell als *metaphysica generalis* zu fassen ist, auf deren Grundlage erst die Semantik der Wissensontologie entwickelt werden kann.

Indem mit McCarthy (1963a: 66) die AI-Disziplin mit steigender Intelligenz der Systeme letztlich zum Kern der Informatik avanciert, wird die Disziplin entsprechend zunehmend nicht nur mit dem Ontologie-, sondern auch mit dem Agentengedanken durchsetzt. Wird beides vor dem Hintergrund des *"Reality Computing"* richtig verstanden, gehen sie unmittelbar ineinander über. Auf Basis von Internettechnologien laufen beide Aspekte entsprechend unmittelbar auf Multiagentensysteme (MAS) hinaus, die wiederum ihrerseits als *Complex Adaptive Systems* (CAS) zu fassen sind. Intelligente bzw. kognitive Agenten stehen dabei im Kontext physischer bzw. virtueller Sensorik, wobei von Echtzeitinteraktionen auszugehen ist. Daraus folgt, dass die Agentenauffassung der zweiten AI-Generation mit der Voraussetzung zutreffend ist, dass sie nicht nur in eine emergentistische Realität als solche kausal eingebunden sind, sondern auch unmittelbar in situativen Kontexten stehen. Damit ist evident, dass die eigentliche *ontologische Revolution* der Informatik erst möglich wird, wenn die Ontologie der ersten AI-Generation auf die Ebene der metaphysischen Annahmen der zweiten AI-Generation gehoben wird, und beides in Kombination von AI-Technologien zur Synthese der dritten AI-Generation vereint wird. Ontologien der dritten AI-Generation entsprechen dann mit CYPO/IMKO einer kombinierten hybriden Ontologie- und Agentenarchitektur, die über die Sensorik und Aktorik des *Internet of Everything* (IoX) in direkter Interaktion mit ihrer Umwelt steht, in die sie eingebettet ist. Agenten der dritten AI-Generation operieren also auf Basis von *"Reality Machines"*, und sind mit ihnen physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt.

Vor diesem Hintergrund liegt der eigentliche Schlüssel zur dritten AI-Generation in der *Top-level Ontologie* (TLO) als oberster ontologischer Referenzebene der Informatik. In ihr besteht somit zugleich das Moment, das die eigentliche ontologische Revolution erst ausmacht. Denn es geht um die Entwicklung eines TLO-Ansatzes als *"common formal framework"* bzw. *"ontological backbone"* einer integrierten Agenten- und Ontologiearchitektur, der jeweils in korrigierender Konsolidierung die interne Repräsentation bzw. Wissensontologie der ersten AI-Generation mit der metaphysischen Ontologie der zweiten AI-Generation synchronisiert. Sie muss also sowohl dem Aspekt einer Semantik objektiven Wis-

sens in allen Subsystemen des IoX-Hyperspace im Sinne einer korrigierten ersten AI-Generation, wie dem subjektiv situativ-kontextuellen Moment der zweiten AI-Generation gerecht werden. Dabei bewegt sich beides in einer emergentistischen Weltauffassung komplexer Systeme. Diese Symbiose bedarf im Sinne des IMKO *OCF* eines Scharniers, das die Kopplung zwischen metaphysischer Ontologie und Wissensontologie gewährleistet. Diesen Dreh- und Angelpunkt bildet die *Top-level Ontologie*; sie setzt das um, was P.M. Simons (2006b: 95) auf den Punkt bringt: »metaphysics constrains semantics«.

Die dritte AI-Generation ist somit auf jenen fundamentalen Kategorien zu errichten, die aus einer realitätsgerichteten, ratio-empirischen *revisionären Metaphysik* kommen und in Form der Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen der *Top-level Ontologie* die fundamentale Referenzbasis aller Ontologien bilden. Die Semantik, die Agenten im Rahmen von AI-Ontologien nutzen, muss im *Internet of Everything (IoX)* als *Real World Internet (RWI)* zum einen unmittelbar den fundamentalen Strukturen der Realität entsprechen, zum anderen kann in diesem komplexesten aller denkbaren Multiagentensysteme (MAS) McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" nicht auf gänzlich disparate Antworten hinauslaufen. Mit anderen Worten besteht in der dritten AI-Generation ein unmittelbares Inkommensurabilitätsproblem, wenn völlig unterschiedlich ausgestaltete TLO-Ansätze aufeinanderprallen. Entsprechend besteht in der Lösung des Inkommensurabilitätsproblems auch die ultimative Voraussetzung, um die dritte AI-Generation Wirklichkeit werden zu lassen. Indem diese dritte Generation mit den Problemen der beiden ersten für die Informatik unabdingbar wird, besteht in diesem Inkommensurabilitätsproblem nicht nur das in Pkt. 1.2 näher behandelte Kernproblem der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, sondern es handelt sich bei ihm letztlich um das eigentliche Kernproblem der Informatik.

Dass die *Top-level Ontologie (TLO)* sich auf höchst unterschiedliche Weise ausgestalten lässt, wird insbesondere im vierten, fünften und sechsten Teil deutlich werden. Die wenigsten TLO-Ansätze sind dabei mit der metaphysischen Position der zweiten AI-Generation kompatibel. Eine Symbiose ist jedoch nur dann möglich, wenn die erste und zweite AI-Generation auch bezüglich McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" metaphysisch kompatibel ist. D.h. sie müssen faktisch die gleichen fundamentalen Weltstrukturen voraussetzen und vor allem die identische Realitätsauffassung teilen. Anders gewendet kann der "*general world view*" der AI-Disziplin bzw. der Informatik allein jener sein, der ihre Vereinheitlichung im Sinne einer gemeinsamen Programmatik zulässt. Die konsolidierende Korrektur, die in Bezug auf die zweite AI-Generation erforderlich ist, besteht darin, R.A. Brooks' (1986, 1990, 1991b) "*real sensing and real action*" bzw. dem *Sense-Model-Plan-Act (SMPA)* Framework in Form einer dynamischen Variante in die fundamentalen Strukturen der realen, cyber-physischen Welt zu integrieren. Indem das gegenüber den GOFAI-Ansätzen vorgebrachte Realitätsargument umfassende metaphysische Voraussetzungen erzwingt, ist es auf der Ebene der *metaphysica generalis* zu verankern. Das läuft offensichtlich auf eine perzeptive Prozessmetaphysik Whiteheadscher Pro-

venienz hinaus. Denn ihre Argumentation bezüglich der Defizite der ersten AI-Generation reklamiert, dass sich die Realität situativ ewig wandelt und dass vor allem auch neue, gänzlich unbekannte Situationen auftreten. Es wird entsprechend eine emergentistische Weltauffassung zugrundegelegt, in der ein kognitiver Agent als Cyber-physisches System (CPS) unmittelbar in eine prozessuale, situative Realität eingebettet ist.

Eine universale AI-Theorie, die für alle Welten gilt, also für physische, cyber-physische und virtuelle, kann etwa Perzeption und Kognition nicht als multidisziplinäre biologische Kategorien fassen, sondern es müssen analog zur Kategorie der Information transdisziplinäre, *metaphysische* Kategorien sein, die im Kontext des Gedankens universaler komplexer Systeme wie eines ganzen Spektrums von Agenten- bzw. Automatenklassen stehen. Die Einzelwissenschaften sollten – jenseits der ratio-empirischen Synthese der Metaphysik – demgegenüber erst dann hinzugezogen werden, wenn es die jeweilige Agentenklasse bzw. der situative Kontext und die Problemlösung eines spezifischen AI-Szenarios erfordert. Insofern es die *Top-level Ontologie* als *fundamentale Ontologie* ist, die die *Meta-Ontologie der Informatik* als oberste Referenzontologie verkörpert, liegt der Schlüssel zur Transformation der zweiten AI-Generation in die dritte *de facto* bei ihr. In Bezug auf die erste AI-Generation sieht es einschließlich des GOFAI-Vorwurfs, der gegenüber dem *Semantic Web* in seiner Fortsetzung des Gruberschen Ontologieverständnisses gerechtfertigt ist, nicht anders aus: Hier bewegen sich die erforderlichen konsolidierenden Korrekturen in gleich zwei Richtungen und die zu führende ontologische Debatte ist ungleich aufwändiger. Denn in der Tradition der ersten AI-Generation, die bis heute fort dauert, geht es schon seit fünf Jahrzehnten um *Ontologie* – allerdings nie in der Form, die für die dritte AI-Generation erforderlich wird. Mit den exponentiell zunehmenden Ontologien ist dabei klar, dass die erste AI-Generation nicht lediglich auf die überholten GOFAI-Ansätze beschränkt ist, sondern es genauso auf Grundlage von Ereigniskalkülen um *Knowledge Representation* (KR) geht, die zumeist auf Basis von Ontologien operiert.

In Bezug auf die Überführung der zweiten in die dritte AI-Generation können mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* allein die metaphysischen wie wissensontologischen Aspekte im Fokus stehen. Er liegt damit zum einen auf der Reflexion ihrer bisherigen metaphysischen Basis, zum anderen muss es mit Steels (2006, 2007) darum gehen, ihren Bezug zur symbolischen Repräsentation wiederherzustellen. Indem letzteres in grundsätzlicher Hinsicht im Zuge der konsolidierenden Korrektur der ersten AI-Generation erledigt werden kann, beschränkt sich die eigentlich zu leistende Überführung primär auf den Aspekt der Metaphysik. Der Vorteil der zweiten AI-Generation gegenüber der ersten ist dabei insofern gegeben, als hier die Dinge vergleichsweise klar liegen. Denn im Wesentlichen gibt es bei der zweiten AI-Generation lediglich drei metaphysische Positionen, von denen zwei unhaltbar sind, während die dritte der Ergänzung bedarf. Auch ist die Devise "*AI is metaphysics*" hier insofern von Anfang an gesetzt, als sie sich in doppelter Hinsicht erst darüber begründet: erstens gilt dies für die Kritik bei H.L. Dreyfus (1972), indem bei

ihm das, was im Sinne der späteren GOFAI-Bezeichnung bei ihm an klassischer AI als erster AI-Generation kritisiert wird, explizit mit jener der Cartesischen Metaphysik assoziiert wird, während er das, was später die zweite AI-Generation ausmacht, durch die Metaphysik Heideggers als Gegenposition zur ersteren legitimiert. Diese Unterscheidung von erster und zweiter AI-Generation auf Basis der Metaphysik findet sich vielfach.²⁰¹ Insofern besteht die erste metaphysische Variante der zweiten AI-Generation im Heideggerschen Ansatz; sie firmiert mitunter gar als "Heideggerian AI".²⁰² Mit Verweis auf Pkt. 5.6 ist dabei anzumerken, dass die "Heideggerian AI" sich nur auf ganz wenige Aspekte der Heideggerschen Metaphysik stützt, die vollständig und um ein Vielfaches geeigneter durch die Whiteheadsche Digitalmetaphysik abgedeckt werden.

Die zweite metaphysische Position ist noch ungeeigneter als die erste: Zwar wird an sich die Devise "*AI is metaphysics*" im Sinne des "*real sensing and real action*" und in Abgrenzung zur GOFAI-Tradition in jeder Hinsicht in Anspruch genommen, doch meint man die Metaphysik selbst in Form einer Ersatzleistung erbringen zu können. Indem solche Ersatzleistungen keine transdisziplinären bzw. universalen sein können, sondern sich in den multidisziplinären Tiefen der Einzelwissenschaften wie der Biologie oder den Kognitions- bzw. Neurowissenschaften bewegen, können sie dem strukturwissenschaftlichen Kern der Informatik auch nicht gerecht werden. Auch wenn außer Frage steht, dass das *EAI-Paradigma* im AL-Sinne *biologisch* inspiriert ist,²⁰³ kann in einer solchen "Ersatzmetaphysik" keine Lösung bestehen, auf der die AI-Disziplin universal aufbauen kann. Denn eine durchgängige cyber-physische Grundlegung ist nur mit einer Digitalmetaphysik als Cyber-Physik vollziehbar. Aspekte wie die Agenten-, Informations- oder Situationstheorie sind auf ihrer Basis *universal* bzw. *transdisziplinär* zu entwickeln, womit ein multidisziplinärer Ansatz abzulehnen ist. Wie in Pkt. 4.1 näher ausgeführt, ist Metaphysik aus dem Grunde immer in der Metaphysik als Disziplin selbst zu führen, weil es nie um einzelne metaphysische Aspekte geht, sondern immer um ein metaphysisches Gesamtsystem, das in sich konsistent ist. Mit E.J. Lowe (2013b) gilt also: »*metaphysics must be done directly*«. ²⁰⁴

Die dritte metaphysische Position der zweiten AI-Generation findet sich demgegenüber nur vereinzelt, nämlich bei universal orientierten AI-Forschern wie Mainzer/Chua (2012) oder Bringsjord/Govindarajulu (2016), die nicht zuletzt deshalb unter die zweite AI-Generation fallen, weil es noch keine Konsolidierung der Positionen bzw. noch keine universale dritte AI-Generation gibt. Wenn diese dritte Position sich in allen fundamentalen Fragen auf die Metaphysik Leibnizens stützt, dann geht es einmal um Leibnizens Perzeption, und einmal um Leibnizens *Mathesis universalis* bzw. *Scientia generalis*. Entsprechend ist evident, dass allein diese dritte Position in die richtige, nämlich universale Richtung geht. Allerdings bedarf sie der notwendigen Ergänzung durch die in Pkt. 4.2 diskutierte White-

²⁰¹ Vgl. etwa M.L. Anderson (2003), M. Wheeler (2005b) sowie H.L. Dreyfus (2007).

²⁰² Vgl. H.L. Dreyfus (2007) sowie Herrera/Sanz (2016); vgl. ferner etwa Lindblom (2015).

²⁰³ Vgl. etwa Bekey (2005) sowie Pfeifer et al. (2005).

²⁰⁴ Vgl. E.J. Lowe (2013b: 126), Hvh. im Orig.

headsche (1929a) Prozessmetaphysik, indem nur diese etwa auf 4D-basierte *Event Streams* abstellt, auf die es in der AI-Disziplin ankommt. Es ist allein das Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt*, das raumzeitlich situativ in die cyber-physischen Realitätskontexte eingebunden und als Teil davon zu erachten ist; Agenten besitzen dabei prinzipiell das Vermögen des "*real sensing and real action*", wie es für das *Internet of Everything* (IoX) insgesamt vorauszusetzen ist. Zudem lassen sich Aspekte wie die Heideggerschen Kontexte allein durch die cyber-physischen situativen Kontexte bei Whitehead substituieren.

Somit ist die zweite AI-Generation in metaphysischer Hinsicht skizziert, während die Details zu den drei Positionen in Pkt. 4.1 (Möglichkeit der Metaphysik und Kritik der "Ersatzmetaphysiken"), in Pkt. 4.2 (Aktualisierung des Leibnizprogramms auf Basis Whiteheadscher Cyber-Physik) sowie in Pkt. 5.6 (Kritik der Heideggerschen Metaphysik) erbracht werden. Insgesamt läuft die metaphysische Transformation der zweiten in die dritte AI-Generation auf die Whiteheadsche Metaphysik hinaus, die meta-ontologisch in die *Top-level Ontologie* zu inkorporieren ist. In Sachen der Semantik ergibt sich ein ähnlich klares Bild, indem zu Zwecken der Transformation die zweite AI-Generation mit Steels (2006, 2007) bereits die richtige Richtung eingeschlagen hat. Allerdings wird vor dem Hintergrund der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik deutlich, dass es nicht um ein linguistisches Ontologieverständnis gehen kann, sondern dass die zweite AI-Generation auch in semantischer Hinsicht ein *realistisches* Verständnis erfordert. Denn "*real sensing and real action*" kann gerade nicht auf Basis einer Semantik gelingen, die im Sinne Grubers letztlich genauso von der Realsphäre isoliert ist wie jene GOFAI-Ansätze, die die zweite AI-Generation nicht zuletzt aus genau diesem Grunde scharf angegriffen hatte.

Jedes "*Reality Computing*" verlangt wesensnotwendig Semantikstrukturen, die in direkter Beziehung zu den fundamentalen Strukturen der Realität stehen. Mit seiner linguistischen Ontologieposition begibt sich Steels (2006, 2007) jedoch letztlich auf jenes dünne Niveau, das für das Ontologieverständnis Grubers charakteristisch ist. Dieses steht *de facto* in unmittelbarer GOFAI-Tradition von Fikes, Genesereth, Nilsson et al. Anders gewendet sind interne Modelle, die auf linguistischen Ontologien im Gruberschen Sinne basieren, weiterhin nicht kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt, während Agenten in Internetstrukturen – etwa der Smart Factory – zunehmend in direkter Realitätsinteraktion operieren. Das Grubersche Ontologieverständnis lehnt jenen Realismus ab, den die Cyber-Physik der zweiten AI-Generation mindestens implizit voraussetzt. Das Problem der Semantik von Steels (2006, 2007) bedarf mit der Diskrepanz des *linguistischen vs. realistischen* OE-Ansatzpunkts entsprechend mit Pkt. 3.3.2 einer intensiveren Analyse. Das umso mehr, als sich zeigen wird, dass das linguistische Ontologieverständnis mit der zweiten AI-Generation inkompatibel ist. Vielmehr muss es in Sachen der Semantik genauso um ein postcartesisches Weltverständnis bzw. insgesamt um eine postklassische Form *Artifizieller Intelligenz* gehen, die auf der Whiteheadschen Digitalmetaphysik als Cyber-Physik aufbaut. Darauf zielt CYPO FOX als hybride Ontologie- und Agentenarchitektur, was in

Pkt. 3.5 näher erörtert wird. Nimmt man das metaphysische und semantische Argument zusammen, wie es die fundamentalen Strukturen der Realität und eine wiederbelebte symbolische Repräsentation (KR) bzw. Wissensontologie erfordern, wird der Blick auf die einzuschlagende Transformationsstrategie frei: sie ist in der *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) als *Ontological Computing Framework* (OCF) gegeben.

Demgegenüber wird es ungleich schwieriger, die erste AI-Generation auf die eigentlichen Fundamente der Informatik, d.h. auf die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik zu bringen. Denn die erforderlichen konsolidierenden Korrekturen verlangen hier in Breite und Tiefe eine völlig andere Dimension. Ohne in diese Breite und Tiefe zu gehen, wäre es gänzlich aussichtslos, die erste AI-Generation in Richtung der dritten zu konsolidieren. Das hat einen einfachen Grund, nämlich die unzähligen Ontologieansätze, die in der ersten AI-Generation einschließlich ihrer zumeist völlig disparaten wie umstrittenen metaphysischen Grundlagen zu berücksichtigen sind. Dabei lassen sich auch hier drei wesentliche metaphysische Korrekturbereiche identifizieren, nämlich (i) das linguistische Ontologieverständnis als solches einschließlich der ganzen Problematik um die deskriptive Metaphysik und insbesondere der *Commonsense Metaphysics*; (ii) das "*Philosophical Engineering*" des W3C, auf dem letztlich das ganze *Semantic Web* basiert, und deren philosophische Grundlegung nach wie vor ungeklärt ist, sowie (iii) als mit Abstand wichtigsten Punkt die unzähligen *Top-level Ontologien* bzw. *Top-level Kategorien*, hinter denen unterschiedlichste Philosophien stehen, die oft dogmatisch umkämpft werden, ohne auch nur im Ansatz die universalen Anforderungen der Informatik systematisch in Augenschein zu nehmen.

Ad (i) geht es um das *linguistische* Ontologieverständnis Grubers (1993, 1995), das in der Denkschule der GOFAI-Ansätze wie STRIPS steht, in denen mit der fehlenden Agenten- bzw. Umwelteinbindung im Grunde die unintelligenteste AI-Variante besteht, die die AI-Disziplin überhaupt zu bieten hat. Dass die Grubersche Variante dennoch in den Reihen der Informatik die beliebteste ist, lässt bzgl. des ontologischen Stands der Disziplin tief blicken. Der Grund ist im einfachen Einstieg für jedermann zu sehen; dass tiefere ontologische Vorkenntnisse keine Vorbedingung sind, wird jedoch in letzter Konsequenz kaum als Vorteil zu verbuchen sein. Auch ist mit Blick auf das Superintelligenzargument McCarthys die Antwort auf die Frage, warum in der Informatik das Grubersche Ontologieverständnis immer noch einen derart großen Stellenwert besitzt, eher im Bereich der Inertia sozialer Prozesse bzw. in selbstverstärkenden Effekten zu suchen als dass es tatsächlich sachliche Gründe dafür gäbe. Versierte Ontologen wie B. Smith oder Guarino lehnen dieses naive Ontologieverständnis aus guten Gründen explizit wie vehement ab, während es für die zweite AI-Generation ohnehin indiskutabel ist. In direkter GOFAI-Tradition von Fikes/Nilsson (1971), Genesereth/Nilsson (1987), Neches/Fikes/Finin/Gruber et al. (1991), Cutkosky/Engelmore/Fikes/Genesereth/Gruber et al. (1993) und schließlich Grubers (1993, 1995) geht es um nicht-situative, nicht-emergentistische, nicht-agentenbezogene und nicht-ratio-empirische, d.h. nicht auf die fundamentalen Strukturen der Realität zugeschnittene

AI-Ansätze. Diese machen auf Basis *metaphysischer ad hoc Annahmen* lediglich an einer konsensbasierten, rein expliziten Repräsentation fest. Entsprechend wird mit Pkt. 3.3.2 auch hier die Diskussion der Diskrepanz des *linguistischen vs. realistischen* OE-Ansatzpunkts unabdingbar, woran mit Pkt. 3.4 eine detaillierte Kritik der Gruberschen Ontologieposition anschließt. Diese Debatte ist in doppelter Hinsicht auch mit Blick auf das *Semantic Web* (SW) zu führen: denn sein linguistisches Ontologieverständnis baut explizit auf dem Gruberschen auf, während sich der KR-Ansatz immer mehr in das Web verlagert.²⁰⁵

Ad (ii) betrifft ein weiterer Korrekturbereich das "*Philosophical Engineering*" von Berners-Lee bzw. des W3C. Beide haben inzwischen erkannt, dass Ontologie bzw. das *Semantic Web* nicht ohne philosophische Basis zu entwickeln ist. Entsprechend sind in jüngerer Zeit in verschiedenen W3C-Workshops umfassendere philosophische Debatten geführt worden, die allerdings in nicht unproblematischer Verkürzung unmittelbar auf die direkten WWW-Probleme zielen. Es wird also nicht grundsätzlich über die philosophische Grundlegung der Informatik nachgedacht, während natürlich alle Modelle, Systeme usf. mehr und mehr mit der WWW-Sphäre interdependent sind. Entsprechend problematisch gestalten sich die Ergebnisse dieser Diskussionen, die in Pkt. 3.2.3 aufgegriffen werden. Hier wird die große Vielfalt und letztlich auch die Orientierungslosigkeit der Positionen deutlich, die gerade darauf zurückzuführen ist, dass die philosophische Grundlegung nicht insgesamt gesucht wird, d.h. im Sinne der Metaphysik der Informatik. Dieser zweite metaphysische Problemkreis weist dabei inzwischen deutlich in Richtung des dritten, nämlich in den Bereich der *Top-level Ontologie*, die man aus Gründen der Einfachheit zunächst ebenfalls zu umgehen suchte. Inzwischen wird für das W3C jedoch immer deutlicher, dass die *Top-level Ontologie* (TLO) auch im Bereich der SW-Sphäre gar nicht zu vermeiden ist: Das wird etwa dann sichtbar, wenn sich Welty/Fikes (2006) mit einer prozessualen Perspektive für OWL auseinandersetzen, das W3C mit seiner SSN Sensorontologie explizit einen TLO-Ansatz voraussetzt, oder schließlich die TLO-Vorbehalte von Berners-Lee/Hall et al. (2006a) allein daran festmachen, dass sie im *Semantic Web* (Web 3.0), das nach W3C-Verständnis immer ein für jedermann offenes *Social Web* (Web 2.0) sein soll, zu komplex bzw. beängstigend seien:

»[T]he [Top-level] ontologies produced by the formal philosophical ontology movement seem somewhat complex and daunting, although it has been suggested that they may be used (as a sort of 'deep' ontology) to bring together overlapping lightweight ontologies and relate them to each other.«²⁰⁶

Die Einwände sind also keineswegs inhaltlicher Art, sondern es geht um soziale Akzeptanz bzw. allgemeine Anwendbarkeit, was sich jedoch mit einer entsprechend abgestuften Ontologiearchitektur wie mit automatisierenden OE-Tools relativ problemlos in den Griff bekommen lässt. Umgekehrt darf hier der Hinweis nicht fehlen, dass das *Semantic Web* zunehmend auch im Zuge der *exakten Semantic E-Sciences* genutzt wird, während darüber hinaus mit Pkt. 3.2.3 seine Interdependenz im Sinne der fünf IoX-Subsysteme

²⁰⁵ Vgl. etwa J.A. Hendler (2002) sowie Hendler/Van Harmelen (2008).

²⁰⁶ Vgl. Berners-Lee/Hall et al. (2006a: 74).

deutlich wird. Wenn *Scientific Ontologies* im Grunde aller Domänen zunehmend auf Basis von SW-Technologien repräsentiert werden, geht es nicht allein um die normalsprachliche Semantik des Alltagswissens, sondern um eine Semantik, die den cyber-physischen Ansprüchen wissenschaftlicher bzw. technologischer Ontologien standhält.

Ad (iii) besteht die zu erbringende Hauptarbeit in der eingehenderen Reflexion der *Top-level Ontologien* bzw. *Top-level Kategorien*, zu denen bisher Dutzende von Ansätzen hervorgebracht worden sind. Letztlich stehen diese im Grunde ausnahmslos in direkter Konkurrenz zueinander. Es geht damit um jene Problemsphäre, auf die die beiden zuvor genannten unweigerlich hinauslaufen, da man nicht um die fundamentalen Ontologiefragen umhinkommt. Mit Blick auf die Kompatibilität zur zweiten AI-Generation lässt sich also keine Realitätsrepräsentation schaffen, ohne sich mit der Realität als solcher bzw. mit ihren fundamentalen Strukturen dezidiert auseinanderzusetzen. Es geht dabei schließlich auch um das *Frame Problem*, mit dem die interne Repräsentation des Agenten in einem unmittelbaren Bezug zur externen Welt stehen muss. Im Hinblick auf die linguistische Ontologie steht damit nicht nur die in der zweiten Kernthese bereits behandelte *Harmonie-These* in Frage; vielmehr bedarf die AI-Disziplin zuvorderst einem gemeinsamen Realitätsverständnis und damit einer universalen Realitätstheorie bzw. einer metaphysischen Theorie, auf deren Grundlage überhaupt die Synthese von erster und zweiter AI-Generation gelingen kann. Damit kommen all jene philosophischen Ansätze ins Spiel, die seit den Anfängen der Informatik bemüht werden. Indem der Dreh- und Angelpunkt zur Realisierung der dritten AI-Generation in der *Top-level Ontologie* besteht, sind all diese Ansätze einer umfassenderen Reflexion zu unterziehen, um schließlich in letzter Konsequenz McCarthys (1995) konstituierende AI-Frage nach dem "*general world view*" der AI-Disziplin bzw. der Informatik beantworten zu können. Diese Antwort ist nicht nur aufgrund der Vielzahl an philosophischen Entwürfen nicht ohne weiteres möglich, sondern auch deshalb, weil diese Positionen in ideologischer bzw. dogmatischer Weise verfochten werden. Murdock et al. (2012) sprechen vor diesem Hintergrund nicht zu Unrecht von "*ontology wars*"; denn das Problem der Debatte besteht darin, dass sie nicht sachlich anhand der universalen Anforderungen der Informatik geführt wird. Dabei sind diese "*ontology wars*" für die Informatik aus dem Grunde kritisch, als sie das fundamentale ontologische Inkommensurabilitätsproblem bedingen. Entsprechend ist eine Konsolidierung der Ansätze unabdingbar, die jedoch die Klärung von McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" voraussetzt. Dabei ist eine allgemein akzeptierte Digitalmetaphysik keinesfalls utopisch; man muss sie allerdings zwingend begründen. Dazu gibt es allein einen Weg, nämlich jenen der Cyber-Physik bzw. des CPST-Hyperspace. Dabei sind die universalen Anforderungen der Informatik im ratio-empirischen bzw. techno-wissenschaftlichen Wechselspiel so zu spezifizieren, dass sämtlichen Anwendungsszenarien entsprochen werden kann.

Ontologien repräsentieren *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle*, die im Sinne der *Top-level Kategorien* immer auf ein fundamentales Weltmodell verweisen. Ent-

sprechend beruht *Artifizielle Intelligenz* (AI) im *Smart Web* aus zwei Gründen wesentlich auf Ontologien: zum einen ist die Wissensontologie entscheidend, indem das Verständnis gerade auf Basis von explizitem Hintergrund- bzw. Handlungswissen positiv mit dem Problemlösungsvermögen korreliert ist. Zum anderen ist damit zusammenhängend das Verständnis des fundamentalen Weltmodells bzw. der fundamentalen Strukturen der Realität entscheidend. Demnach lässt sich ohne Ontologien kaum vom "*Smart Web*" sprechen, wenn sich dieses zum einen durch den realen Gesichtspunkt des *Internet of Everything* (IoX), wie mit dessen *Smart Objects* zum anderen durch den AI-Gesichtspunkt konstituiert. IoX-Systeme kombinieren *physische Dinge* sowie *reale Services* mit Cyberwelten und sind damit in ihrer physischen wie virtuellen Sensorik bzw. Actorik einerseits als *Cyber-physische Systeme* (CPS) zu verstehen, indem sich jedes *IoX-Computing* physisch wie kausal "in der Welt" bzw. als "Teil" der realen Welt vollzieht. Damit verbunden entsprechen sie andererseits Haeckels (1995, 1999) IBM-Vision des *Sense-and-Respond Model*, das ein *Adaptive Enterprise Design* verlangt. Mit der auf Haeckel bezugnehmenden *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) zeigt sich, dass IoX-Systeme notwendig auf einer *Smart Enterprise Architecture* (SEA) gründen. Auf ihrer Basis wird das ganze Spektrum IoX-basierter Prozesse, von Billingprozessen über die Fernwartung bis zu Änderungsprozessen in Echtzeit eröffnet, die das *Real-Time Enterprise* (RTE) Wirklichkeit werden lassen.

Das *Real-Time Enterprise* (RTE) verkörpert im Sinne des *Sense-and-Respond Model* mit Agostinho et al. (2016) das *Sensing Enterprise*, das mit Panetto et al. (2016) wiederum als *Cyber-physisches System* (CPS) zu verstehen ist. Im *Sensing Enterprise* liegt dabei insofern der Schlüssel zur dritten AI-Generation, als es primär sensitive, kognitive Agenten umfasst und diesen im Sinne von Services, Prozessen usf., wie sie zur *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) usf. benötigt werden, mit der erforderlichen Infrastruktur versorgt. In diesem Sinne vollzieht sich im Grunde alles IoX-Computing im Zeichen des *Sensing Enterprise*, indem es kaum AI-Anwendungsszenarien gibt, bei denen kognitive Agenten nicht in fremde oder eigene Infrastrukturen eingebunden sind. Mehr und mehr geht es dabei um die parallele Einbindung in eine Vielzahl von Infrastrukturen, während Agenten zudem über eigene Ontologien wie auch über erlerntes implizites Wissen verfügen. Dann geht es um jene semantische Interoperabilität, die durch inkommensurable meta-ontologische Dispositionen schnell zum Problem werden kann. In diesem ontologischen Infrastrukturaspekt besteht in Bezug auf die Ontologieproblematik der Informatik eine wesentliche Feststellung. Denn mit dem Aspekt der ontologischen Interdependenz ist die ganze Ontologiedebatte zwingend in den Kontext der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) zu bringen, indem alle Modelle, Systeme, Prozesse, Services usf. betroffen sind. Vor diesem CPST/SEA-Hintergrund zeigen sich IoX-Systeme als *Smart Web* durch *Smart Objects* konstituiert, deren Adaption durch Agenten vollzogen wird, womit sie Multiagentensysteme (MAS) bilden. Indem MAS-Agenten im Zuge der Adaption in umfassender Weise miteinander

interagieren,²⁰⁷ handelt es sich bei IoX-Systemen prinzipiell um *Complex Adaptive Systems* (CAS).²⁰⁸ Damit geht es bei ihrer Ontologie insgesamt um die *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, deren Konzeption der CPST/SEA-Adäquanz wie der MAS/CAS-Adäquanz zu entsprechen hat. Insofern ist bereits an dieser Stelle evident, dass die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf eine ausdifferenzierte Ontologiearchitektur hinauslaufen muss, indem Ontologien als formale Weltmodelle im CYPO-Sinne in vierfacher Weise einer generischen Konzeption bedürfen. Denn die ontisch-physische Welt lässt sich selbstverständlich weder mit epistemischen Agentenwelten gleichsetzen noch mit jener technologischen der Technopraxis oder jenen sozialen Welten, die gerade auch in MAS-Kontexten von genereller Relevanz sind. Indessen wird in der Informatik bis heute nicht sachgerecht zwischen diesen vier Welten des CPST-Hyperspace differenziert.

Andererseits sind alle genannten Welttypen eins, wenn es im kosmologischen Sinne um die metaphysischen Fragen geht. Insofern liegen Minsky (1968c) oder McCarthy (1995) als wesentliche Begründer der AI-Disziplin richtig, wenn sie ein "*unitary model of the world*" bzw. einen "*general world view*" für die Informatik einfordern. Sie liegen auch darin richtig, dass dieser mit McCarthy/Hayes (1969) *metaphysischer* Natur ist. Dabei steht außer Frage, dass ein solcher "*general world view*" sowohl eine *ontologische Verpflichtung* (ontological commitment) impliziert als auch von umfassender Natur ist. Wie sehr die gegenwärtige Informatik die frühen Einsichten der maßgeblichen AI-Forscher aus den Augen verloren hat und wie sehr die Disziplin einem grundsätzlichen Irrtum aufgesessen ist, wird daran deutlich, dass ihr heutiges Ontologieverständnis ein ganz anderes ist. Denn die populären Ontologiekonzepte von Gruber (1993, 1995) bzw. Berners-Lee/Hendler/Lassila (2002) verkörpern "leichtgewichtige" Ontologien, d.h. *Lightweight-Ontologies*, deren ontologische Verpflichtung genau zwei Aspekte kennt: den in formale Repräsentationssprachen übernommenen Konventionen der Alltagssprache sowie den Konsens der jeweilig Beteiligten. Es soll gerade keine bzw. lediglich eine minimale ontologische Verpflichtung geben; durch Genesereth/Nilsson (1987: 13) wird explizit ein »lack of commitment« verfochten, das Gruber (1995: 910) in Form eines »minimal ontological commitment« übernimmt. Auch spielt die Frage der Realitätsrepräsentation keine Rolle, wie es Genesereth/Nilsson (1987) explizit herausstreichen. Berners-Lee/Hendler/Lassila (2002) halten diese Linie bei,²⁰⁹ wenn es um das *Semantic Web* als Web 3.0 geht und darin besteht der landläufige Stand der Ontologiepraxis. Dabei versteht sich dieses *linguistische* Ontologieverständnis explizit als Differenz zum philosophischen Ontologieverständnis, wie es sich in der Informatik genauso findet und zur Realisierung von Superintelligenz unabdingbar ist.

Indem jede Ontologie im Sinne von McCarthy/Hayes (1969) bzw. McCarthy (1995) einem fundamentalen metaphysischen Weltmodell folgt, ist auch immer ihre Meta-Ontologie zu explizieren. Dann aber kann es nicht mehr primär, sondern allenfalls abgeleitet um

²⁰⁷ Die Interaktion gestaltet sich also *Device-to-Device* (D2D), vgl. Bello/Zeadally (2016).

²⁰⁸ Vgl. etwa Holland/Miller (1991: 365).

²⁰⁹ Eine explizite Referenz auf Gruber findet sich etwa bei Hendler (2001).

solch leichtgewichtige Ontologien gehen. Vielmehr stehen damit unumgänglich echte, explikative Ontologien, sogenannte *Heavyweight-Ontologies* im Fokus, deren ontologische Verpflichtung zuvorderst eine *metaphysische* Verpflichtung impliziert. Entsprechend postuliert Bunge (1967a: 92): »[W]e have not the choice of making metaphysical commitments or of avoiding them, but of adopting a good or a bad metaphysics«. ²¹⁰ Letzteres ist etwa dann der Fall, wenn die Realitätsrepräsentation fehlt, wie es auch Vetere (2009: 6) herausstreicht: »The benefit of sharing an ontology [...] primarily consists in sharing a commitment to reality, not a commitment whatsoever«. Es überrascht daher nicht, wenn auch Mora et al. (2011: 164) mit dem *kritischen Realismus* Bhaskars (2008) erkennen, dass Grubers "*commitment principle*" genau umzudrehen ist, also in Richtung einer *maximalen ontologischen Verpflichtung*, was den ganzen metaphysischen Diskurs zwingend eröffnet.

Dass Syntax nicht Semantik ist, stellt kein Informatiker in Frage, doch ist für sie die Realitätsrepräsentation bereits an sich eine diffizile Sache, während das Erfordernis der *CPSS-Adäquanz der Semantik* wie des Informationsbegriffs bislang kaum in einer angezeigten Weise diskutiert wird. ^{211, 212} Was Castel (2002) für die Informatik einfordert, ²¹³ ist für Metaphysiker seit mehr als zwei Jahrtausenden wie auch in jüngerer Zeit evident, etwa wenn Bunge (1977a: 15) konstatiert: »[S]emantics [...] does have metaphysical presuppositions«, oder P.M. Simons (2006b: 95) feststellt: »metaphysics constrains semantics«. Dabei gilt mit Gracia (1999: 156) insgesamt: »Metaphysicians want to know [...] how knowledge fits within the most general categories and is related to them«. Dass die Informatik ihre *ontologische Revolution* nicht ohne die Metaphysik wird bestreiten können, ist mit McCarthys (1995) Hilfersuchen zur Begründung des "*general world view*" der AI-Disziplin verbrieft: ²¹⁴ Mit Glymour/Ford/Hayes (2000) ist *AI Philosophie*. Vielmehr wird es auch daran deutlich, dass die Ontologiedebatte der Informatik in den fünfzig Jahren seit Mealy (1967) durch eine große Konfusion geprägt ist, die zum einen darauf zurückgeht,

²¹⁰ Mit Brewster/O'Hara (2007: 564) gilt: »An ontology is a set of ontological commitments«, denn alle KR impliziert »a set of decisions about how and what to see in the world«, vgl. R. Davis et al. (1993: 19).

²¹¹ Zwar eröffnet sich die Thematik mit dem Diskurs um die *IoT-Semantik*, doch werden dabei regelmäßig inferiore Ontologieverständnisse bemüht; vgl. als inferiore Ansätze Hribernik et al. (2011), Barnaghi et al. (2012), W. Wang/De et al. (2012, 2013), Uttama Nambi et al. (2014), M.I. Ali et al. (2015), Serrano et al. (2015) und Biron/Follett (2016). Henson et al. (2009) beziehen sich auf Gruber (1993). Eine TLO-Referenz ist demgegenüber auf Aspekte wie *Wireless Sensor Networks* beschränkt, vgl. z.B. J.-H. Kim et al. (2008) zur SUMO-Referenz; das gilt mit der DUL-Referenz für die *W3C SSN Sensor Ontology* analog.

²¹² Auch eine *semantische Informationstheorie* hat diesem Kriterium zu entsprechen.

²¹³ Ähnliche Positionen finden sich bei Mealy (1967), Kent (1978) oder Hirschheim et al. (1995).

²¹⁴ Mit Bunge (2010) teilen wir die synonyme Verwendung von "*Ontologie*" und "*worldview*", was mit der eingangs von Pkt. 1.1 dargelegten Ontologiedefinition konform geht. Entsprechend korrespondiert der "*general world view*" mit *universaler Ontologie*, ergo mit der *Top-level Ontologie*, wie es unserer metaphysischen Position entspricht. Demgegenüber gibt es eine Reihe anderer Positionen, vgl. dazu Naugle (2002) sowie ferner Vidal (2012). Indessen deckt sich unsere Position allein in Bezug auf die in Pkt. 3.5 abgegrenzte *W2-Ontologie* mit jener der Psychologie, indem lediglich mit Blick auf *Agentenwelten* mit Koltko-Rivera (2004: 3) gelten kann: »A worldview (or "world view") is a set of assumptions about physical and social reality that may have powerful effects on cognition and behavior«. Das gilt auch dann, wenn dieses Verständnis entweder als "*conceptual framework*" oder als "*arrangement of a person's beliefs*" teils von philosophischer Seite geteilt wird, so durch R.H. Nash (1999: 13). Indessen ist die in Pkt. 3.5 umrissene integrierte Ontologiekonzeption *CYPO FOX* mit all diesen Positionen kompatibel.

dass Ontologien die unterschiedlichsten Bereiche der gesamten Informatik regelrecht durchdringen,²¹⁵ während der Disziplin zum anderen oftmals das nötige Rüstzeug fehlt um diese vertrackte Debatte überhaupt in sachgerechter Weise führen zu können.

Mit Brewster/O'Hara (2007: 564) gilt: »An ontology is a medium for efficient computation«;²¹⁶ deshalb muss jeder echte Informatiker mit Castels (2002) *Ontological Computing* zum versierten Ontologen avancieren, was sich gewiss auf ein *metaphysisches* Ontologieverständnis bezieht.²¹⁷ Indessen modellieren die meisten Informatiker heute Diskurswelten, ohne sich je zuvor mit der Frage nach den fundamentalen Strukturen aller Welten bzw. der Realität auseinandergesetzt zu haben.²¹⁸ Sie halten Metaphysik für genauso irrelevant wie Epistemologie oder Methodologie. Sie verstehen nicht, dass die semantische Basis von Daten, Information und Wissen immer bestimmt ist durch die Kategorien der Metaphysik. Sie versuchen sich an der Wissensrepräsentation (KR), ohne überhaupt die Natur des Wissens an sich verstanden zu haben, ohne den maßgeblichen Unterschied ihrer ontischen und epistemischen Momente in hinreichender Weise zu berücksichtigen. Sie schenken Aspekten wie der transdisziplinären Repräsentation oder dem universalen Moment der *Theorie komplexer Systeme* genauso wenig Beachtung und erkennen insgesamt nicht die Bewandnis, die McCarthys (1995) Forderung nach einem "general world view" bzw. Minskys (1968c) "unitary model of the world" besitzt. Dabei ist ihnen offenbar unklar, dass jede linguistische Ontologie, jede formale Struktur einer Repräsentationssprache wie auch jeder Logikkalkül bereits einen "world view" in sich trägt. Sie begreifen nicht, dass mit dem *Internet of Everything* (IoX) als cyber-physisches *Real World Internet* (RWI) zunächst einmal die metaphysischen Grundlagen der Informatik insgesamt zu klären sind.²¹⁹ Für den

²¹⁵ Ontologien sind in der Informatik omnipräsent: Sie beziehen sich heute auf alles, was für die Disziplin von Relevanz ist: neben der gängigen Referenz für sämtliche Aspekte der konzeptuellen Modellierung wie der Wissensrepräsentation fängt dies etwa bei *intelligenten Sensoren bzw. Aktoren* (Smart Objects) an, vgl. etwa Yachir et al. (2016), führt mit Huaji et al. (2009) über *CEP-Engines*, mit Boury-Brisset (2003) oder Locher/Costa (2013) über die *HLIF-Information fusion*, mit Wang/Halang (2013) über *semantische Web Services* bzw. mit Sabou (2004) über spezifische *Web Service Ontologies*, und reicht etwa mit Boury-Brisset (2013) oder Van der Zee/Scholten (2014) bis zur *Big Data Analytics* (BDA).

²¹⁶ Ohne Hvh. des Orig.

²¹⁷ Vgl. auch Wand/Weber (2004: iii): »[O]ur information systems will only be as good as our ontologies«.

²¹⁸ Für Petrie (2009: 94) ist dabei ausgemacht: »the general principle is that semantics should be a superior software engineering technique«. Indessen gehen die Probleme der konfusen Ontologiedebatte über die durch Hepp (2007) skizzierten deutlich hinaus, wobei in IoX-Kontexten insbesondere auf das Inkommensurabilitäts- bzw. Transdisziplinaritätsproblem zu verweisen ist, also auf jene Probleme, die unmittelbar mit dem Aspekt universaler Ontologie zusammenhängen. Anders gewendet adressiert auch Hepp (2007) nicht die metaphysische Problematik, an der die Informatik indessen zunächst anzusetzen hat.

²¹⁹ IoX-Systeme implizieren, dass nicht nur *Dinge*, sondern auch *Services* eine *realweltliche* Komponente aufweisen, vgl. hierzu Hiramatsu et al. (2004). Bei den "*IoX-Services*" geht es also nicht lediglich um *Web Services* im engeren technischen Sinne, wie sie auch in rein virtuellen Umgebungen (VE) Einsatz finden, vgl. etwa X. Zhang/Gracanin (2008). Vielmehr stehen sie im Zeichen des *Real World Internet* (RWI), womit sich auch die *Service-Oriented Architecture* (SOA) mit Karnouskos et al. (2010) als "*real-world SOA*" manifestiert, das sich auf "*real-time events*" bezieht. Mit der *Event Driven Architecture* (EDA) kombiniert verschmilzt diese zum *ED-SOA* (vgl. Pkt. 2.2), die im Zeichen des *Service-Oriented Computing* (SOC) auf das *Real-Time Enterprise* (RTE) zielt. Entsprechend gilt mit S. De et al. (2011: 949): »The Internet of Things envisions a multitude of heterogeneous objects and interactions with the physical environment. The functionalities provided by these objects can be termed as 'real-world services' as they provide a near real-time state of the physical world«, ohne Hvh. des Orig. Konkreter wer-

RWI-Aspekt konstituierend ist dabei insbesondere das *Internet of Things* (IoT).^{220, 221} Indessen bildet das metaphysische Fundament jeder Semantik das gerade entscheidende AI-Mo-

den S. De et al. (2013), wenn sie die *Services* in den Kontext des *Service Lifecycle Management* (SLM) stellen; somit gilt mit Thoma et al. (2012: 258): »An *IoT-Service* is a transaction between two parties, the service provider and the service consumer. It causes a prescribed function enabling the interaction with the physical world by measuring the state of entities or by initiating actions which will cause a change to the entities«, Hvh. im Orig. In diesem Sinne korrespondieren *komplexe IoX-Systeme* mit *Smart Product Service Systems* (SPSS), die mit C. Palmer et al. (2014) als *Product-Service Lifecycle System* (PSLS) aufzufassen sind, womit das adäquate IoX-Referenzszenario in *Closed-loop U-PLM-Systemen* besteht.

²²⁰ Während der *IoX-Hyperspace* die Gesamtbetrachtung verkörpert, sind für die Detailbetrachtung die fünf IoX-Subsysteme elementar, insbesondere der *cyber-physische* Kontext des *Internet of Things* (IoT). Der ursprüngliche IoT-Gedanke geht auf den Physiker Gershenfeld (1999a) zurück, und ist für die Gründung des MIT *Center for Bits and Atoms* zentral. Auf Weisers (1991, 1993b) *Ubiquitous Computing* aufbauend ist er nicht nur im CPS-Sinne universal auf alle physischen Dinge bezogen, sondern das *Ubiquitous Computing* rückt dabei selbst wieder in den Hintergrund: »Beyond seeking to make computers ubiquitous, we should try to make them unobtrusive«, vgl. Gershenfeld (1999a: 8). Indessen stammt der eigentliche IoT-Begriff aus dem durch Sarma, Siu, Brock und Ashton gegründeten MIT *Auto-ID Center*. Der IoT-Begriff wird durch Ashton 1999 geprägt, indem er als Titel einer Präsentation beim Konsumgüterhersteller *Procter & Gamble* als Sponsor des *Auto-ID Center* Verwendung findet, vgl. Ashton (2009); der IoT-Begriff wird durch D.L. Brock (2001) erstmals publiziert und mit C.R. Schoenberger (2002) unter diesem Titel popularisiert, wobei hier wiederum Ashton zitiert wird: »We need an internet for things, a standardized way for computers to understand the real world«. Allerdings kann die IoT-Vision des MIT *Auto-ID Center* insofern nicht als wegweisend erachtet werden, als sie im Gegensatz zu Gershenfeld (1999a) nur sehr eingeschränkt mit dem heutigen IoT-Verständnis zu tun hat, da sie primär auf die ganzheitliche Steuerung des *Supply Chain Management* (SCM) von Konsumgüterherstellern und anderen Produzenten abstellt. Die IoT-Sachverhalte zeigen sich dabei im Zeichen von RFID entsprechend stark auf *Tags* und *Tag Readers* eingeschränkt, wobei physische Objekte mittels eines *Electronic Product Code* (EPC) mit einer Identifikationsnummer versehen werden, vgl. Sarma/Brock/Ashton (2000). Diese Einschränkung erklärt sich dadurch, dass sich im Auto-ID-Ansatz die "Things" auf "*traded objects*" in der *Supply Chain* beschränken. Es geht also um *Cyber-Physical Logistics Systems* (CPLS) bzw. um das, was als *Physical Internet* (PI) auf ganze Logistiknetzwerke bezogen wird, vgl. dazu Fn. 4922. Indem dieses Unterfangen unmittelbar mit dem *EPCglobal Network* korrespondiert, schließt sich der Kreis zur IoT-Vision des MIT *Auto-ID Centers* als Vorläuferorganisation, vgl. Flörkemeier (2005) und Kürschner et al. (2008). Bereits für diese engere IoT-Vision sind Ontologien relevant, vgl. J.Z. Huang et al. (2005).

²²¹ Wenngleich im MIT *Auto-ID-Ansatz* die IoT-Things bzw. IoT-Produkte im SCM/EPC- statt PEID-Sinne selbst *nicht* intelligent sind, ist dies bei Gershenfeld et al. (2004) realisiert, indem die "Things" hier anhand verschiedenster Anwendungen des *Smart Home* illustriert werden. Kindberg et al. (2002) oder Matern (2005) liegen ebenso jenseits dieser SCM/EPC-Einschränkung. Indessen verlangt das *Internet of Everything* (IoX) eine allumfassende *IoX-Variante* in Form einer *universal cyber-physischen Auslegung*; diese zeichnet sich jenseits Gershenfelds (1999a) erst bei ITU (2005: 9) ab. Hier ist die Rede vom »Internet of Things that connects the world's objects in both a sensory and intelligent manner« und dabei werden Sensoren als »one of the key building blocks of the Internet of Things« erachtet, wobei alle Arten *physischer* Sensoren Berücksichtigung finden: »mechanical (e.g. position, force, pressure, etc.), thermal (e.g. temperature, heat flow), electrostatic or magnetic fields, radiation intensity (e.g. electromagnetic, nuclear), chemical (e.g. humidity, ion, gas concentration), biological (e.g. toxicity, presence of biological organisms)«, vgl. ITU (2005: 21). Bei De Deugd et al. (2006) geht es um dieses im PEID-Sinne des *Pervasive Computing*, während sich unser IoT-Verständnis erst bei Kiritsis/Rolstadås (2007) bzw. Kiritsis (2011) findet. Dann geht es im Sinne unseres Referenzszenarios um ein *Ubiquitous PLM* auf PEID-Basis, wie es im Rahmen des EU-Projekts *PROMISE (PROduct Lifecycle Management and Information tracking using Smart Embedded systems)* von 2004 bis 2008 entwickelt wurde, vgl. hierzu Kiritsis et al. (2003). Insbesondere mit der nachfolgend erörterten MOL-Phase sind IoT- und IoS-Systeme damit kombinativ als *komplexe IoX-Systeme* zu fassen. Denn sie stehen zusätzlich im Kontext der *Enterprise Architecture* (EA), was ontologisch den zentralen SEA/SEI-Fokus einfordert. Der Umstand, dass IoT-Systeme immer als *IoX-Systeme* zu verstehen sind, ergibt sich aus der modernen IoT-Architektur: Über Middleware, etwa die im gleichnamigem EU-Projekt entwickelte *HYDRA*, avancieren physische Devices auf SOA-Basis zu *Web Services*; dabei lässt sich mit *HYDRA* jeder Sensor bzw. Akteur als einzelner Web Service inkorporieren, vgl. Eisenhauer et al. (2009, 2010); vgl. allgemein Issarny et al. (2016).

ment. Denn alle Semantikstrukturen spiegeln die explizit oder implizit vorausgesetzten fundamentalen Weltstrukturen mit R.W. Sellars (1920: 200 f.) unmittelbar wider:

»The content of knowledge offers us the fundamental categories, such as time, space, structure, relations and behaviour, in terms of which we think the world. To postulate the validity of these categories is ipso facto to assert that knowledge-content gives us the constitution of the world.«

Dabei ist im Zeichen der *metaphysisch und epistemologisch* adäquaten Repräsentationen bei McCarthy/Hayes (1969) zu berücksichtigen, dass es nicht nur metaphysische, sondern auch epistemologische Kategorien gibt, die natürlich nicht unabhängig voneinander sind. In der Informatik werden beide Kategorientypen häufig verwechselt, während mit der Koexistenz von ontischen und epistemischen Kategorien in Wirklichkeit das Erfordernis einer dezidierten *Mehrweltenontologie* impliziert ist. Tatsächlich ist ihr Verhältnis keineswegs substitutiver, sondern mit R.W. Sellars (1920: 204) vielmehr komplementärer Natur:

»In other words, metaphysical categories appear as features of the content of knowledge in its first intention, whereas epistemological categories are the distinctions bound up with the act of knowledge or with knowledge of knowledge.«

Dieses komplementäre Verhältnis distinkter Kategorien ist jedoch erst auf Grundlage einer für die Informatik adäquaten Metaphysik richtig ersichtlich, was den Gegenstand von Pkt. 4.2 bilden wird. Demgegenüber wird der Umstand, dass die Informatik mit der Forderung nach einer CPSS/SEA- bzw. MAS/CAS-adäquaten Ontologiekonzeption notwendig einer *Mehrweltenontologie* bedarf, bereits in Pkt. 3.5 mit der *Cyber-Physical Ontology* (CYPO) als *Four-worlds Ontology for Everything* (FOX) deutlich. Indem die Informatik vier generische Welttypen zu differenzieren hat, muss sie ihre Ontologiepraxis in Richtung von CYPO FOX revidieren, die auf einem logico-mathematisch verankerten metaphysischen Fundament aufbaut, das mächtig genug ist, alle vier Welttypen kosmologisch zu einen. Ontologie ist deshalb nicht ohne Metaphysik machbar, weil erst auf ihrer Basis reflektierbar ist, dass spezifische Ontologien auf bestimmte Kategorien verzichten oder auf andere in elementarer Weise fixiert sind.²²² Oder dass bestimmte meta-ontologische Annahmen wie etwa die Existenz abstrakter Objekte oder möglicher Welten getroffen werden. Noch wichtiger muss die metaphysische Fundierung erscheinen um zu verstehen, dass "Prozess" in der einen Ontologie bzw. ihrer impliziten oder expliziten Top-level Ontologie (TLO) gewiss keineswegs gleich "Prozess" in einer anderen ist; genauso wie "Objekt" nicht gleich "Objekt", oder "Ereignis" nicht gleich "Ereignis" ist usf. Vielmehr weisen solche TLO-Kategorien ihre ureigene Spezifikation wie Verhältnisbestimmung auf, je nachdem, auf welchen metaphysischen Dispositionen sie basieren. Vor diesem Hintergrund steht auch für Guarino (2004) außer Zweifel, dass an die Stelle der im Sinne Grubers

²²² Exemplarisch sei hier auf die *Situationskategorie* bei Barwise/Perry (1981a: 388) verwiesen, die bei gängigen Ontologiekonzeptionen unberücksichtigt bleibt, wobei aus ihr unmittelbar ein höchst *spezifisches Objektverständnis* resultiert, das es in dieser Weise bei anderen Ontologieansätzen nicht gibt: »The world, at least the common sense world that human language reflects, consists not just of objects and sets of objects, nor of objects, properties, and relations, but of objects having properties and standing in relations to one another. There are parts of the world, clearly recognized (although not precisely individuated) in common sense and human language, that we call situations«. Dabei behandelt Barwise (1989) nicht nur übliche Dinge, sondern auch *Situationen* einschließlich *Ereignissen als Partikularien*, während T. Horgan (1978) demgegenüber behauptet, dass es *Ereignisse als Partikularien* überhaupt nicht gibt.

(1993, 1995) oder Berners-Lees (1999) bisher gängigen *Lightweight-Ontologien* vielmehr explikative *Heavyweight-Ontologien* zu treten haben, für die eine zwingende Referenz auf die *Top-level Ontologie* charakteristisch ist:

»[W]e might risk relying on [...] two ontologies' syntactic interoperability, with no warranties concerning the actual intended meaning of the terms they define. This is why I believe that so-called lightweight ontologies can't generally guarantee interoperability, and why we must develop axiomatic theories based on 'deep' ontological principles.«²²³

Dass die isolierte *Lightweight-Ontologie* wie das linguistische Ontologieverständnis im Sinne Castels (2002) schon immer ein Irrtum war,²²⁴ und mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im *Smart Web* der explikative, TLO-referenzierende Ontologietypus zwingend wird, gilt in *wissenschaftlicher, technologischer* wie *praktischer* Hinsicht. Damit sind drei *Ontologietypen* zu differenzieren:²²⁵ In *wissenschaftlicher* Hinsicht geht es um *Scientific Ontologies*, die in keiner Weise mit dem linguistischen Ontologieverständnis Grubers et al. vereinbar sind. Diese sind von Relevanz etwa für das *Environmental Internet of Things*,²²⁶ oder für das *Internet of Geophysical Things (IoGT)*,²²⁷ während sie für das Aufkommen neuer Forschungsfelder wie etwa dem *Internet of Living Things (IoLT)*,²²⁸ dem *Internet of Chemical Things (IoCT)*,²²⁹ dem *Internet of Nano Things (IoNT)*,²³⁰ dem *Internet of Bio-*

²²³ Guarino (2004: 79).

²²⁴ Mit *isolierter Lightweight-Ontologie* ist eine solche gemeint, die keine Heavyweight-Referenz besitzt.

²²⁵ Mit *Technologie* ist hier der *wissenschaftssystematische Technologiebegriff* im Sinne Agassis (1966) bzw. Bunges (1966b, 1985b, 2001c) gemeint. Technologien stellen mit Agassi (1966) vor allem auf die *Invention* ab und zielen mit Bunge (2001c: 351) darauf »to [...] change reality through the design of artificial systems«. Insofern wird deutlich, dass es bei *Technologien* um alle *Systems Sciences* geht, die nicht zuletzt auf H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* hinauslaufen und dabei mit H.A. Simon (1962, 2000) allein im Paradigma der *Komplexitätsforschung* sachgerecht zu verstehen sind, für die insbesondere die adaptiven CAS-Aspekte entscheidend sind. Wenn für diese zum einen die *Systemintegration*, zum anderen das *Systems Engineering* zentral sind, wird deutlich, dass sie nicht nur für das Ingenieurwesen und andere Disziplinen von elementarer Relevanz sind, sondern gerade auch für die Informatik. In diesem Sinne ist die Ontologie der Informatik im Kontext universaler Referenzlösungen vor allem *technologische* Ontologie, die im Zeichen von Anwendungsontologien zumeist für *praktische* Ontologien die zentrale Bezugsbasis bildet. Das gilt gerade auch im Hinblick auf das Closed-loop U-PLM-Referenzszenario. Nicht nur in dieser Sache, etwa in der Produktentwicklung oder in Bezug auf *Semantic E-Sciences* hat das Ontologieverständnis der Informatik indessen genauso *Scientific Ontologies* zu berücksichtigen, zumal Technologien und damit auch technologische Ontologien gerade wesentlich auf die Kombination wissenschaftlichen Wissens ausgelegt sind, vgl. dazu etwa H.A. Simon (1995a). Damit jedoch lassen sich diese drei Ontologietypen nicht voneinander getrennt behandeln. Vielmehr ist geradezu umgekehrt vorzugehen; denn sie bilden als Typologie zusammen genau jenen Komplex, der mit der systematischen Interaktion der drei Ontologietypen zwingend auf die Basis eines *einheitlichen Ontologieverständnisses* zu stellen ist. Mit der in Pkt. 3.5 behandelten CYPO FOX wird dieses realisiert, indem in der Beendigung der jahrzehntelangen konfusen Ontologiedebatte die elementare Voraussetzung semantischer Interoperabilität besteht. Dabei läuft CYPO FOX auf eine *integrierte Ontologiekonzeption* hinaus. Für diese ist es unabdingbar, an der gänzlich disparaten Natur des Wissens anzusetzen. Und dabei ist evident, dass der technologischen Sphäre die Mittlerrolle zwischen wissenschaftlichem und praktischem Gesichtspunkt zufällt. Indem Ontologie heute immer als *formale Ontologie* zu verstehen ist, läuft die Ontologieforschung und Ontologiepraxis in diesem Sinne auf eine am Paradigma komplexer Systeme orientierte *Ontologie als transdisziplinäre Technologiedisziplin* hinaus.

²²⁶ Vgl. etwa Hart/Martinez (2015).

²²⁷ Vgl. etwa Sepulveda/Pulliam (2016).

²²⁸ Vgl. etwa Lopez Research (2013).

²²⁹ Vgl. etwa S.V. Ley et al. (2015) sowie S. Thompson et al. (2016).

²³⁰ Vgl. Akyildiz/Jornet (2010), Jornet/Akyildiz (2012), Balasubramaniam/Kangasharju (2013), Kawamoto et al. (2014), Miraz et al. (2015), Balasubramaniam et al. (2016), Kuscu/Akan (2016) sowie A. Nayyar et al. (2017).

Nano Things (IoBNT),²³¹ bis etwa hin zum *Internet of Underwater Things* (IoUT) genauso vorauszusetzen sind.²³² Indessen sind all diese Entwicklungen im größeren Zusammenhang zu sehen, indem einerseits etwa im Rahmen biotechnologischer Anwendungen Biosensoren die Grenzen zwischen dem *Internet of Chemical Things* (IoCT) und dem *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) fließend werden lassen.²³³ Andererseits werden etwa Prozesse biologischer Informationsverarbeitung inzwischen unmittelbar als Kombination von *Fog Computing* bzw. *Cloud Computing* konzipiert.²³⁴ Derweil geht es um noch mehr, nämlich um das "*Internet of the Physical World*" bzw. das "*Internet of the Physical Universe*",²³⁵ dessen universale Relevanz dann verstanden ist, wenn es im Zeichen Leibnizens mit Zuse (1982) als *Computing Universe* konzipiert ist. Dabei ist das "*Computing*" mit Castel (2002) ein *Ontological Computing*, das mit McCarthy (1995) auf einem "*general world view*" aufbaut, der auf IoX-Basis notwendig *cyber-physisch* veranlagt ist. Dass das "*Internet of the Physical Universe*" bei Berkovich (2001) bzw. Bari et al. (2013) tatsächlich als implizite IoX-basierte cyber-physische Verallgemeinerung von Zuses (1982) *Computing Universe* zu sehen ist, wird spätestens dann deutlich, wenn beide Ansätze elementar auf der *Theorie zellulärer Automaten* und entsprechend insgesamt auf der Komplexitätsforschung gründen.

Neben den Naturwissenschaften besitzt der IoT-Gedanke im CPSS-Sinne genauso für die Sozialwissenschaften und die Soziotechnologie Relevanz, wie es durch das *Social Internet of Things* (SIoT) bzw. *Internet of Social Things* unterstrichen wird.²³⁶ Dabei geht es um die Rolle von IoT-Objekten in sozialen Relationen, was entsprechend genauso einen zusätzlichen sozialen Ontologietypus impliziert, wie es das CPSS-basierte *Social Sensing* verlangt.²³⁷ Mit P.P. Ray (2016) haben wir es darüber hinaus insgesamt mit einer *Internet of Things Based Society* zu tun, also mit der Konvergenz der IoT-Technologie mit allen Lebensbereichen der Gesellschaft. Tatsächlich geht es dabei um ihre IoX-Konvergenz. Neben *Scientific Ontologies* stehen IoX-Systeme im Kontext *technologischer* wie *praktischer* Ontologien, und damit im Zeichen von Simons (1969) *Sciences of the Artificial*. Das ist beim *Internet of Healthcare Things* (IoHT) bzw. "*Healthcare IoT*", resp. dem *Internet of Medical Things* (IoMT), dem *Internet of Biometric Things* (IoBT),²³⁸ bis hin zum *Internet of Postal Things* (IoPT) genauso der Fall, wie es insbesondere für das *Industrial Internet of Things* (IIoT) bzw. *Internet of Industrial Things* (IoIT) resp. die *Factory of Things* zutreffend ist.²³⁹ Letzteres stellt sich in vielfältiger Form dar, wenn es im Referenzszenario des *Closed-loop Ubiquitous PLM* (U-PLM) um sensorbasierte IoT- bzw. PEID-Produkte

²³¹ Vgl. etwa Akyildiz et al. (2015).

²³² Vgl. Domingo (2012).

²³³ Vgl. etwa Mattiasson/Ertürk (2017).

²³⁴ Vgl. Al Shargi/Berkovich (2009).

²³⁵ Vgl. Berkovich (2001, 2005, 2011).

²³⁶ Vgl. Atzori et al. (2012, 2014), Nansen et al. (2014), Shaev (2014), D. Shin (2014), S. Li et al. (2015) sowie Zhang/Jin/EI Baz (2015); CPSS/SIoT erfordern den speziellen *W4-Ontologietypus*, vgl. Pkt. 3.5.

²³⁷ Vgl. dazu Aggarwal/Abdelzaher (2013).

²³⁸ Vgl. Kantarci et al. (2015).

²³⁹ Vgl. hierzu etwa Zühlke (2010).

geht,^{240, 241} deren Entwicklung, intelligente Steuerung, Wartung, Datenanalyse usf. maßgeblich auf dem Einsatz von Ontologien basiert. In der BOL-Phase der Fertigung bezieht sich dies gleichermaßen auf die *Smart Factory*, die alternativ als *Ubiquitous Factory* (U-Factory) bezeichnet wird,²⁴² und auf *Cyber-physischen Produktionssystemen* (CPPS) bzw. *Manufacturing Cyber-Physical Systems* (MCPS) aufbaut.²⁴³ Eine ihrer Steuerungsvarianten besteht in *Holonic Manufacturing Systems* (HMS), anhand derer mit Pkt. 2.6 nicht nur die Relevanz der CPS- bzw. MAS/CAS-Adäquanz deutlich wird, sondern auch jene der Ontologie an sich einschließlich ihrer TLO-Referenz. In solchen Fällen der Technopraxis geht es im Referenzsinne um *technologische* Ontologien,²⁴⁴ während die Implementierung konkreter Lösungen sich zumeist davon abgeleitet in Form *praktischer* Ontologien vollzieht. Darüber hinaus gilt zweifellos, dass zwischen allen genannten IoX-Bereichen enge Verbindungen bzw. etwa bei Sensormessungen Wechselwirkungen bestehen. Diese Interdependenz gilt gerade auch mit Blick auf das Zusammenspiel von Forschung und Anwendung, was sich exemplarisch anhand der Anwendung des *Internet of Nano Things* (IoNT) einerseits im Bereich der *"Healthcare IoT"*,²⁴⁵ andererseits im Bereich *Industrial Internet of Things* (IIoT) veranschaulichen lässt.²⁴⁶ Damit wird das Postulat, wonach die Zukunft des *Internet* auf das *Internet of Everything* (IoX) hinausläuft,²⁴⁷ verständlicher. Tatsächlich kann die Frage der *Meta-Ontologie der Informatik* allein am *"Universe of Discourse of Anything"* des *Internet of Everything* (IoX) festmachen.

Der IoX-Begriff geht auf Gartner (2012) zurück, das als IT-Technologieforschungsunternehmen in der Identifikation strategischer IT-Trends anerkannt ist. Cisco (2012: 3) hat sich als Netzwerkausrüster ganz dem IoX-Gedanken verschrieben, für den gilt: »IoE brings together people, process, data, and things to make networked connections more relevant and valuable than ever before.«²⁴⁸ Sein eigentliches Momentum ist dabei in der Herausbildung des *Internet of Things* (IoT) zu sehen, das Gershenfeld (1999a) als erster umreißt:

»For all of the coverage of the growth of the Internet and the World Wide Web, a far bigger change is coming as the number of things using the Net dwarfs the number of people. The real promise of connecting computers is to free people, by embedding the means to solve problems in the things around us. [...] In retrospect it looks like the rapid growth of the World Wide Web may have been

²⁴⁰ Vgl. hierzu Kovács et al. (2006), Kiritsis/Rolstadås (2007), S.-H. Suh et al. (2008), B.-E. Lee/Suh (2009) sowie J.Y. Lee/Choi et al. (2011); vgl. ferner Boulaalam et al. (2011) sowie CIMdata (2014).

²⁴¹ Das Ubiquitäre am *ubiquitous IoT* meint dabei: »*anytime, anywhere, by anyone and anything*«, vgl. ITU (2005: 3), Hvh. des Orig., das für das *Internet of Everything* (IoX) insgesamt gilt.

²⁴² Vgl. etwa S.-H. Suh et al. (2011) sowie Yoon et al. (2012).

²⁴³ Vgl. hierzu etwa Kühnle/Bitsch (2015) bzw. Babiceanu/Seker (2016).

²⁴⁴ Konstituierend für die Ontologiekategorie der *technologischen Ontologien* ist ihre Abgrenzung gegenüber der Ontologiekategorie der *wissenschaftlichen Ontologien* gemäß der gängigen Differenzierung zwischen *Wissenschaft* und *Technologie*, vgl. hierzu etwa Bunge (2001c). *Technologische Ontologien* werden zuweilen auch als *funktionale Ontologien* bezeichnet, vgl. etwa Kitamura/Mizoguchi (1998) oder O'Leary (2001). Wie im Fall von *Engineering Ontologien* ist dies jedoch allein dann korrekt, wenn es sich um Referenzontologien und nicht um Anwendungsontologien handelt.

²⁴⁵ Vgl. etwa Dressler/Fischer (2015), N.A. Ali et al. (2016) sowie Jarmakiewicz et al. (2016).

²⁴⁶ Vgl. etwa Ezz El-Din/Manjaiah (2017).

²⁴⁷ Vgl. Cisco (2014) sowie Miraz et al. (2015); vgl. hierzu ferner Cisco (2011), R. Khan et al. (2012) sowie De Matos et al. (2017).

²⁴⁸ Vgl. analog Cisco (2013a: 15, Fn. 4); Fingar (2015: 60) definiert es identisch.

just the trigger charge that is now setting off the real explosion, as things start to use the Net [...].²⁴⁹

Wenn bereits für Gershenfeld (1999a) »the real explosion« ubiquitärer Vernetzung erst richtig beginnt, »as things start to use the Net«, stimmt Cisco (2013b: 2) implizit darin überein, wenn es feststellt: »IoT becomes an Internet of Everything – a network of networks where billions or even trillions of connections create unprecedented opportunities as well as new risks«. Die durch Cisco betonten nie dagewesenen Chancen und Risiken sollten dabei nicht zuletzt auch vor dem Hintergrund der *ontologischen Interdependenz* des *Internet of Everything* gesehen werden, indem alle Ontologien natürlich prinzipiell genauso interdependent sind, wie es Agenten, Systeme, Prozesse oder Modelle sind, die auf ihnen aufbauen bzw. diese nutzen. Dabei sind die Chancen in der sachgerechten Verschaltung von Ontologien zu sehen. Bspw. lässt sich die Wissenschaftspraxis auf eine gänzlich neue Stufe heben, wenn im Kontext von IoT-Sensorik und Langley/Simons et al. (1987) AI-basierter *Scientific Discovery* gänzlich neue Formen von *Semantic E-Sciences* eröffnet werden, bei denen alle Ontologien im Zuge *einheitlicher TLO-Referenz* transdisziplinär verschaltet werden. Auf der Grundlage der CYPO-Ontologiearchitektur, die in Ergänzung um Poppersche Positionen auf der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik aufbaut, wird genau dies möglich. Damit lassen sich in allen Disziplinen, etwa auf Grundlage des *Internet of Medical Things* (IoMT) in der Biomedizin, Fortschritte realisieren, die zuvor nicht im Ansatz denkbar waren. Voraussetzung dafür sind jedoch die richtigen Überlegungen in allen ontologischen Belangen. So ist diese neue Stufe der Wissenschaftspraxis auf Basis bisheriger Ontologieentwürfe schon deshalb unerreichbar, weil sie mit Blick auf die an der Komplexitätsforschung festmachenden modernen Wissenschaften nicht transdisziplinär sind bzw. ihr im Grundsatz nicht entsprechen.²⁵⁰

Demgegenüber sind die ontologischen Risiken nicht nur darin zu sehen, dass manche Ontologen mindestens implizit glauben, naiver *Common Sense* könne techno-wissenschaftlich korrekte Physikmodelle bzw. diese repräsentierende *Scientific Ontologies* ersetzen. Vielmehr liegt das eigentliche ontologische IoX-Risiko mit Blick auf sein *Autonomic Computing* in der prinzipiellen Inkommensurabilität fundamentaler Ontologien bzw. Kategorien und entsprechend in der *TLO-Inkommensurabilität* als zentralem, in Pkt. 1.2 näher behandeltem Kernproblem der Informatik begründet. Wenn nämlich Ontologien aufgrund völlig unterschiedlicher Semantikstrukturen miteinander verschalteter Ontologien semantisch fehlinterpretiert werden, sind bei autonomen Agenten Fehlentscheidungen in keiner Weise auszuschließen; eher ist davon auszugehen, dass sie an der Tagesordnung sein werden. Dieses IoX-Problem stellt sich insbesondere insofern, als das *Internet of Everything* (IoX) gerade darauf angelegt ist »to integrate the real world into the Internet«,²⁵¹ womit es

²⁴⁹ Gershenfeld (1999a: 9 f., 212 f.).

²⁵⁰ Vgl. dazu im Einzelnen Pkt. 4.2 bzw. Pkt. 4.3.

²⁵¹ Vgl. Presser et al. (2008: 1).

als *Real World Internet* (RWI) zu verstehen ist,²⁵² und sich der Kreis der cyber-physischen wie integrativen Herausforderung ontologiebasierter Computer als "*Reality Machines*" schließt. Dabei liegt es mit dem *Internet of Living Things* (IoLT) genauso wie mit Whiteheads organismischer Weltsicht nahe, dass diese "*Reality Machines*" sich auch auf die "*real lifeworlds*" bei Agre/Horswill (1997) zu beziehen haben, womit sich sämtliche Dimensionen des *Internet of Everything* eröffnen:

»The *Internet of Everything* is the final evolutionary stage of the connected world, in which the previously unconnected, physical-first objects and processes, as well as humans, converge with those that are digital-first by their nature. From the terminological point of view, the IoE also emphasizes the fact that, technologically speaking, *there is only one "Internet"* and the definition of, say, the IoT is thus only conceptual.

The heart of the IoE is data and the way the collected data assets are used to create value. The IoE merges and mashes up data assets that are generated from humans, things, and the digital-first domain, and turns them into advanced, data-driven applications and services. This is often done by applying relevant analytics to the data.«²⁵³

Um die Debatte um das Leibniz-Whiteheadsche *Ontological Computing* richtig führen zu können, um die verschiedenen Facetten des *Computing* wie jene damit direkt zusammenhängende der *Ontologie* richtig zu verstehen, wird es unumgänglich das *Internet of Everything* in interdependente *IoX-Subsysteme* zu zergliedern, wie es allgemein gängig ist. So klassifiziert ABI Research (2014) drei IoX-Subsysteme, nämlich das (i) *Internet of Digital*, (ii) *Internet of Humans*, sowie (iii) *Internet of Things* (IoT). Fingar (2015: 61) differenziert hingegen im Rekurs auf verschiedene Gartner-Analysen bereits sechs IoX-Subsysteme, nämlich das (i) "*Internet of Information – the traditional World Wide Web*", (ii) "*Internet of Systems – network of business and consumer applications*", (iii) "*Internet of People – network of relationships in social networks*", (iv) "*Internet of Places – commercial and public places as Internet nodes*", (v) "*Internet of Things – connected physical devices with sensors*", (vi) "*Internet of Virtual Entities – 'intelligent' digital entities*". Hinterfragt man solche Abgrenzungen kritisch, relativieren sie sich; sie sind in allen Fällen entweder inkomplett oder setzen falsche bzw. unnötige Akzente,²⁵⁴ und weisen teils irreführende Bezeichnungen auf. Vor allem aber sind sie ontologisch nicht hinreichend reflektiert, worauf es vor dem Hintergrund des *Ontological Computing* indessen gerade ankommt. Dabei kommen wiederum seine digitalmetaphysischen Grundlagen ins Spiel, ohne die nichts in der Informatik zu verstehen ist. Bezeichnungen wie *Internet of Digital* oder *Internet of Systems* sind unklar, indem in der Whiteheadschen Digitalmetaphysik alles digital bzw. cyber-physisch ist; auch ist dort *alles System*, indem es sich um eine relationale Systemontologie handelt. Ferner geht es bei jedem "*Internet*" immer um *interaktive Netzwerkstrukturen*, wobei außer Frage steht, dass es nicht die Systeme selbst, sondern die *Systemelemente* sind, die interagieren: interagierende Systemelemente in Internetstrukturen werden gebildet durch: (i) *Daten* im *cyber-physisch kausalen Signal/Bit-Sinne* einschließlich *virtueller Sensorik bzw. Aktorik* (IoD), (ii) *Services* im Kontext der *ED-SOA Smart Enter-*

²⁵² Vgl. hierzu Presser et al. (2008) sowie Gluhak et al. (2009).

²⁵³ ABI Research (2014: 7), Hvh. des Verf.

²⁵⁴ Das ist etwa bei F. Hussain (2017) oder bei Di Martino et al. (2018) der Fall.

prise Architecture (IoS), (iii) *Things* einschließlich *physischer Sensorik bzw. Aktorik* (IoT), (iv) *maschinelle kognitive MAS/CAS-Agenten* (IoA) sowie (v) *menschliche kognitive CAS-Agenten* (IoP). Damit ist klar: Fingar (2015: 61) geht mit dem *Internet of Places* am Erfordernis einer Abgrenzung als IoX-Subsystem vorbei; denn es sind nie "*Places*" selbst, die interagieren, sondern vielmehr eines bzw. mehrere der genannten Interaktionselemente, was für alle Objekte von *Smart Cities* zutreffend ist. Dass überhaupt von einem gesonderten *Internet of Places* die Rede ist, lässt sich wiederum unmittelbar auf den fehlenden Bezug zur Digitalmetaphysik der Informatik zurückführen, in dem ihr größtes Defizit auszumachen ist. Denn dann wäre auch in diesem Fall klar, dass in der Digitalmetaphysik alle Entitäten *4D-Entitäten* sind, indem nicht nur physische, sondern auch virtuelle Entitäten eine raumzeitliche Koordination erfordern. Jedes Diskursuniversum ist also raumzeitlich zu fassen, indem exaktes Computing dies erfordert. Das Moment der "*Places*" ist damit immer gegeben,²⁵⁵ indem alle genannten fünf Interaktionselemente von spezifisch zu lokalisierenden Orten interagieren. Genauso wie das Moment der "*Places*" ist auch das prozessuale Moment immer selbstverständlich: Wenn Fingar (2015: 61) bzw. L. Fischer (2015) herausstellen, dass das *Internet of Everything* ein *Process of Everything* impliziere, dann ist das in der Whiteheadschen Digitalmetaphysik, die *Prozessmetaphysik* ist, ebenfalls selbstverständlich. Denn jede Interaktion, jedes *Information Processing* und jede Informationsübertragung ist natürlich *Prozess*, weshalb Whiteheads cyber-physische Metaphysik auch prozessual gefasst ist. Es handelt sich also nicht um eine willkürliche Voraussetzung, sondern sie geht direkt auf den Erfahrungsraum der Cyber-Physik zurück.

Demgegenüber erweisen sich bisherige Abgrenzungen der *IoX-Subsysteme* vor allem im Hinblick auf zwei entscheidende Argumente als inkomplett. Im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* gilt es diese zwingend zu berücksichtigen: Wenn es um vernetzte Strukturen geht, darf zum einen der tradierte Gedanke der *Distributed Artificial Intelligence* (DAI) nicht fehlen; heute stellt sich dieser in Form von Multiagentensystemen (MAS) *maschineller kognitiver Agenten* dar, die auf Grundlage des *Service-Oriented Computing* (SOC) operieren. Dieser MAS/SOC-Konnex ist für das *Internet of Everything* (IoX) elementar; insofern verkörpert die CYPO *Four-worlds Ontology for Everything* (FOX) auch das *XaaS-Paradigma*, indem sie im MAS/SOC-Sinne *Everything as a Service* (XaaS) postuliert. Nicht von ungefähr wird auch allgemein ein *Internet of Services* (IoS) und ein *Internet of Agents* (IoA) differenziert, die gerade auch ontologisch betrachtet als *IoX-Subsysteme* tatsächlich einer gesonderten Abgrenzung erfordern. Dabei kommt in Bezug auf das *Internet of Agents* (IoA) ein zweites,²⁵⁶ ontologisch überaus entscheidendes Argument, nämlich jenes der *MAS-Superintelligenz* hinzu: Es gilt zu berücksichtigen, dass unter den *IoT-Aspekt* nicht nur *Smart Products* fallen, also etwa alle *vollautonomen Fahrzeuge* (SAE Level 5), deren Daten zum einen bei Herstellern, Flottenbetreibern und sonsti-

²⁵⁵ Vgl. dazu auch P.M. Simons (2004b).

²⁵⁶ Vgl. dazu etwa H. Yu et al. (2013).

gen Providern (z.B. Parkplatzbetreibern) zusammenlaufen,²⁵⁷ zum anderen im *Internet of Vehicles* (IoV) in der Kommunikation zwischen Fahrzeugen bzw. der Infrastruktur (u.a. Smart City) ausgetauscht werden.²⁵⁸ Der *IoT-Aspekt* bezieht sich auch nicht nur darüber hinaus auf die *Smart Factory* als *Factory of Things*, deren digitale Produktionsabläufe sehr hohe Anforderungen an die AI-gesteuerte Koordination stellen. Weitaus komplexer wird es mit Smart Cities, indem hier die verschiedensten Datenströme auf Basis des XaaS-Paradigmas miteinander verwoben sind,²⁵⁹ etwa bis hin zur Energieversorgung: Die Kombination von *Smart Grid* und *IoT* wird als *Internet of Energy* (IoE) bezeichnet.²⁶⁰ Dabei wird die Energieversorgung selbst durch *Things* geleistet, womit es dann um das *Internet of Energy Things* (IoET) geht. Jenseits dieses umfassenden Wandels ist davon indessen noch ein anderer Bereich umfassend betroffen, und das ist der Bereich der Wissenschaft. Wenn Mainzer (2012: 12) die Idee einer *integrativen Wissenschaft* im Zeichen Leibnizens verfolgt, dann wird sie heute auf Basis des aktualisierten Leibnizprogramms technisch realisierbar. Denn unter den IoT- bzw. IoX-Aspekt fallen im Zuge des *Scientific Computing* im Grunde sämtliche klassischen Erfahrungswissenschaften. Das beginnt mit dem "*Internet of the Physical World*" bzw. dem "*Internet of the Physical Universe*", geht über das *Internet of Geophysical Things* (IoGT), das *Internet of Chemical Things* (IoCT), oder das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT). Indem diese immer realweltliche Prozesse zum Gegenstand haben bzw. teils gar als kausaler Teil der realen Welt zu erachten sind, hat neben der Ontologie der Informatik genauso zwingend die philosophische Ontologie auf das *Internet of Everything* abzustellen: es geht um die *eine* Ontologie, und beim *Internet of Everything* um das ontologische Totalszenario im Sinne Leibnizens. Dieses bezieht gewiss gerade auch sozialwissenschaftliche Disziplinen mit dem *Social Internet of Things* (SIoT) bzw. *Internet of Social Things* mitsamt des *Social Sensing* genauso wie mit dem "*thinking space*" die Psychologie bzw. Sozialpsychologie mit ein. Vor diesem Hintergrund ist nicht nur H.A. Simons (1995a) AI-Verständnis als *Empirical Science* zu sehen, sondern auch die maschinelle *Scientific Discovery* bei Langley/Simon et al. (1987). Dabei ist zumeist unverstanden, dass das Moment der *Superintelligenz* tatsächlich erst auf dieser transdisziplinären Ontologieebene erreicht wird. Insofern kommen zwei weitere IoX-Subsysteme notwendig hinzu: das im SOC-Kontext bereits gängige *Internet of Services* (IoS) sowie das bisher unberücksichtigte *Internet of Agents* (IoA) maschineller MAS-Superintelligenz. Wenn der IoX-Gedanke mit ABI Research (2014: 7) »the final evolutionary stage of the connected world« adressiert, dann kann die Frage einer IoX-adäquaten Ontologie gewiss nicht das Moment der *Superintelligenz* außen vor lassen. Vielmehr sollte sich die Informatik genau an diesem orientieren, weil bisher der Stellenwert exakter, transdisziplinärer *Scientific Ontologies* im AI-Zusammenhang wesentlich verkannt wird. Bei autonom in Realwelten

²⁵⁷ Vgl. hierzu etwa Bimschas et al. (2011).

²⁵⁸ Vgl. dazu W. Wu et al. (2016).

²⁵⁹ Vgl. etwa Perera et al. (2013b).

²⁶⁰ Vgl. N. Bui et al. (2012), Jaradat et al. (2015), C. Chen/Zhao et al. (2017) sowie M.M. Rana (2017).

entscheidenden maschinellen Agenten ist dieser jedoch gerade wesentlich. Superintelligenz ist dabei weder auf Basis linguistischer Ontologie noch überhaupt auf dem Gedanken eines naiven *Common Sense* zu realisieren. Vor dem Hintergrund einer kritischen Revision lassen sich *fünf IoX-Subsysteme* differenzieren, die eine jeweils arteigene, in der *IoX-Meta-Ontologie* jedoch *integrativ* zu lösende Ontologieproblematik besitzen:

- (i) *Internet of Data (IoD)*: *Real-Time Big Data Streaming Analytics (OCEP)*
- (ii) *Internet of Services (IoS)*: *technologische Ontologien (Semantic EA / ED-SOA)*
- (iii) *Internet of Things (IoT)*: *CPS-adäquate Ontologien (korrektes Physikmodell)*
- (iv) *Internet of Agents (IoA)*: *exakte Scientific Ontologies / MAS-Superintelligenz; Agentenwelten / Belief Systems (Thinking Space); MAS-Ontologien [M2M, M2R, R2M]*
- (v) *Internet of People (IoP)*: *exakte Semantic E-Sciences vs. inexakte Common Sense Ontologies (Social Web) [H2H, H2M, M2H]*

Mit diesen parsimonisch abgegrenzten *fünf IoX-Subsystemen* bzw. dem *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* ihres totalen Diskursuniversums wird deutlich, dass die Frage der *Meta-Ontologie der Informatik* notwendig im Kontext einer *integrativen Ontologiekonzeption* zu stellen ist. Dabei sind alle Ontologien unter den zwei elementaren IoX-Gesichtspunkten zu konzipieren, die für ihre Zukunftsoffenheit entscheidend sind: zum einen müssen sie (i) allen Typen agentenbasierter Cyber-physischer Systeme (CPS) und damit allen denkbaren Agentenklassen mitsamt der MAS/CAS-Adäquanz gerecht werden. Zum anderen haben sie (ii) nicht nur auf alle Anwendungs- und Integrationsbelange der Informatik abzustellen, sondern vielmehr ist die Ontologiearchitektur als solche integrativ zu verankern, indem in ihr der zentrale Kern der *Smart Enterprise Architecture (SEA)* zu sehen ist. Ad (i) ist mit Mainzer (2003b: 150 ff.) zu unterstreichen, dass es beim *Smart Web* um sehr viel mehr geht als um Berners-Lees (1999) Vision des *Semantic Web* als Web 3.0, wenn auch Berners-Lee später mit Pkt. 3.2.3 explizit das Selbstverständnis der "Web Science" als ein "*Philosophical Engineering*" einfordert. Das betrifft nicht allein die tiefgreifende Kombination klassischer Web-Technologien mit jenen Künstlicher Intelligenz (AI). Vielmehr geht es um ein umfassend intelligentes Web, das im Zeichen der Komplexitätsforschung agentenbasiert wie selbstorganisatorisch ist und dabei auch die Schwarmintelligenz berücksichtigt. Eine zukunfts offene Ontologiekonzeption ist nur realisierbar, wenn in der Sache tatsächlich auch in die Zukunft gedacht wird, und diese wird durch das *Internet of Everything (IoX)* als *Real World Internet (RWI)* bestimmt sein. Insofern läuft die Ontologiefrage auch universal auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hinaus. Somit steht außer Frage, dass eine *cyber-physische* Ontologiekonzeption nicht allein am engeren AI-Aspekt haltmachen kann; vielmehr gilt es, alle denkbaren Agentenklassen zu berücksichtigen. Dann geht es bei maschinellen Agenten nicht allein um AI-

Agenten, etwa *Software Agents*,²⁶¹ die unter SOA-Aspekten direkt mit dem Integrationsgesichtspunkt verknüpft sind,²⁶² wie es auch im U-PLM-Referenzszenario der Fall ist.²⁶³

Vielmehr führt die CPSS-Adäquanz, die die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* besitzen muss, weiter: Sie ist mit Mainzer (2003b: 183 ff.) in der Weise zu reflektieren, dass sie nicht nur *AI-Agenten*, sondern auch *AL-Agenten*, also solchen der *Artificial Life Forschung* (AL-Forschung) standhält, was mit Blick auf die humanoide Robotik die starke Agententechnologie notwendig mit einschließt. Dieses Erfordernis besteht insofern, als es überaus schwierig wird, fundamentale Aspekte der Ontologie zu ändern, wenn mit Pisanelli et al. (2002) die Entwicklung dazu führt, dass im Grunde alle Computersysteme ontologiebasiert sind und entsprechend nach und nach in den unterschiedlichsten, jedoch letztlich immer zusammenhängenden Bereichen umfängliche Ontologiebibliotheken aufgebaut und verknüpft sind. Die Ontologiedebatte ist also gänzlich falsch verstanden, wenn nicht konsequent an der Zukunft festgemacht wird, was indessen selten geschieht. Statt die Aufmerksamkeit im Zeichen einer tatsächlich verlässlichen bzw. belastbaren ontologischen AIFundierung mit Pkt. 6.3 auf die *Superintelligenz* zu richten, die für reale CPS-Aspekte genauso wie für integrative SEA-Aspekte unabdingbar wird, sucht der ganz überwiegende Teil der Ontologen einerseits die Lösung ihrer ontologischen Probleme in der Vergangenheit, wenn im Zeichen des großen neo-aristotelischen Lagers zweitausend Jahre alte und damit techno-wissenschaftlich heillos antiquierte Ansätze zur Ontologie bemüht werden. Andererseits versuchen Informatiker die semantische Interoperabilität ihrer Systeme gerade auf der mit semantischen Ungenauigkeiten regelrecht durchsetzten Alltagssprache bzw. auf banalem "*Common Sense*", also dem Alltagsverstand zu begründen. Natürlich ist es unbestreitbar, dass Computer im Sinne der *Human-Computer Interaction* (HCI) auch Alltagssprache verstehen können müssen, doch lässt sich daraus noch lange nicht schließen, dass der Ansatzpunkt des *Ontology Engineering* (OE) insgesamt ein linguistischer ist. Genauso sind Computer, deren Intelligenz lediglich auf Alltagsverstand beruht, für eine Absicherung vollends automatisierter Prozesse im cyber-physischen *Internet of Everything* (IoX) völlig ungeeignet. Auch an sich kann darin nicht der ontologische Ansatzpunkt bestehen, indem nicht zuletzt Whiteheads (1929a) zweite Kopernikanische Wende oder Castels (2002) *Ontological Computing* deutlich machen, dass dieser mit dem eigentlichen Wesen der Ontologie nicht sachgerecht korrespondiert. Lange Zeit hat man darüber hinweggesehen, mit Ausnahmen wie McCarthy/Hayes (1969) oder Sowa (2000) auch fünf Jahrzehnte in der Informatik. Allerdings lässt sich mit *Cyber-physischen Systemen* (CPS) als *Reality Machines* nicht mehr länger über diesen grundlegenden Irrtum hinwegtäuschen.

Genauso grundlegend verfehlt ist die damit direkt verbundene ontologische Praxis des "*Muddling Through*", und zwar deshalb, weil sich ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis nicht auf diese Weise realisieren lässt: Indem die Protagonisten des linguistischen OE-

²⁶¹ Vgl. hierzu Genesereth/Ketchpel (1994), Jennings/Wooldridge (1996) sowie T.S. López et al. (2011).

²⁶² Vgl. hierzu etwa Papazoglou et al. (2004) sowie Leitão/Karnouskos (2015: 67 ff.).

²⁶³ Vgl. etwa Y. Li et al. (2003).

Ansatzpunkts mehr und mehr selbst feststellen, dass sich Ontologie ohne philosophische Grundlagen nicht praktizieren lässt, oder Verfechter von antiquierten metaphysischen Standpunkten die immer offener zutage tretenden grundsätzlichen Defizite und Defekte ihrer Ansätze durch immer neue Modifikationen zu kaschieren suchen, kommt die ontologische Strategie des Eklektizismus ins Spiel. Indessen bleibt jeder eklektizistische Ansatz zur Ontologie notwendig technologisches Stückwerk, das nicht selten in sich widersprüchlich ist. Allerdings scheint die Problematik, die all diesen Vorgehensweisen inhärent ist, gar nicht verstanden. Denn sonst würde man sich in der Gegenwart nicht mit solch inferioren Ontologiekonzeptionen zufrieden geben, wie es teils sogar explizit eingeräumt wird.²⁶⁴

Da die Verbreitung von Ontologien mitsamt ihrer jeweils vollends disparaten Grundlagen nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Anwendung exponentiell zunimmt, ist das Entstehen einer *fundamentalen Änderungsproblematik* als Konsequenz bereits heute absehbar.²⁶⁵ Es handelt sich um einen *Lock-in* durch fehlende Wechselmöglichkeit aufgrund zu hoher Wechselkosten bzw. zeitlicher Kapazitätsgrenzen relevanter Schlüsselakteure.²⁶⁶ Der zeitliche Änderungsaufwand ist also nicht nur in finanzieller Hinsicht problematisch; das Problem liegt vielmehr darin, dass sich das Änderungsproblem bei komplexen IT-Systemen in *zeitlich-kapazitiver* Hinsicht ggf. gar nicht mehr ohne weiteres lösen lässt. Die in der heutigen diffusen Ontologiepraxis angelegte fundamentale Änderungsproblematik ist damit irgendwann *de facto* nicht mehr lösbar, weil sie allein durch die im Allgemeinen zeitlich ausgelasteten Fachabteilungen selbst in langwierigem *Procedere* vollziehbar wäre, da sie aufgrund der jeweiligen SEA-Spezifika nicht ohne Weiteres delegierbar ist. Solche umfassenden Lock-in-Probleme sind in der IT-Welt nichts Neues, indem sie die verschiedensten Legacy-Systeme berühren. Genauso gibt es sie hinsichtlich der fehlenden Wechselmöglichkeit von veralteten Methoden oder Notationen zu neuen; es sei nur auf das in praxi bekannte Problem des Wechsels der Notation von Prozessmodellen verwiesen.²⁶⁷

Allerdings wird die *ontologische* Änderungsproblematik alle bisherigen Lock-ins bzw. Migrationsprobleme von Legacy-Systemen bei weitem in den Schatten stellen, wenn mit Pisanelli et al. (2002: 125) jedes IT-System mit den verschiedensten Ontologien regelrecht durchsetzt sein wird. Denn Ontologien betreffen im Grunde alles;²⁶⁸ sie sind mit Prozessen und Workflows, mit BPMN-Engines, Rule Engines, CEP- bzw. SCEP-Engines, mit Web Services oder der SOA-Architektur, mit Methoden und Notationen, Datenmodellen und Wissenssystemen, der Digital Analytics bis hin zu Produktkonfiguratoren, den CPPS der

²⁶⁴ Bspw. ist die PROTON-Ontologiekonzeption für ihre Entwickler Terziev et al. (2005: 11) »not 'perfect', but as long as it can serve its purposes, it is good enough«.

²⁶⁵ Wenn im Zeichen von Pisanelli et al. (2002: 125) in praxi sämtliche Systeme, Prozesse und Daten auf Ontologien basieren bzw. mit diesen umfänglich verknüpft sind, lassen sich Änderungen am explizit oder implizit bestehenden fundamentalen Modell im Nachhinein kaum mehr vollziehen. Insofern impliziert die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* eine *fundamentale Änderungsproblematik*, woraus folgt, dass sämtliche Ontologiefundamente mitsamt der Ontologiearchitektur von Anfang an richtig zu setzen sind.

²⁶⁶ Vgl. zur *OE-Kostenabschätzung* Simperl/Sure (2008) bzw. Simperl/Tempich (2009); sie ist relativistisch.

²⁶⁷ Vgl. hierzu im Einzelnen Fn. 5033.

²⁶⁸ Vgl. exemplarisch Soares/Fonseca (2007), wobei es hier allerdings allein um ODIS-Aspekte geht.

Smart Factory oder einzelnen physischen Sensorsystemen umfassend verwoben und gleichermaßen untereinander verknüpft. Bei fortgeschrittener semantischer Interoperabilität haben damit fundamentale Änderungen bei einer Ontologie in der Regel direkte Auswirkungen auf andere, was bei automatisierten Systemen wiederum zu problematischen Konsequenzen führen kann. Indessen besteht darin allein der an der Oberfläche direkt ersichtliche Grund der ontologischen Änderungsproblematik. Ihre eigentliche Ursache sitzt indes tiefer, indem sie in unmittelbarer Weise mit dem "Grundstoff" der Informatik zu tun hat, nämlich mit der Tatsache, dass das, was gemeinhin als "Information" bezeichnet wird, nicht nur lediglich *semantischer* Natur ist, sondern mit Verweis auf Castels (2002) *Ontological Computing* vielmehr selbst im ontologischen Zusammenhang steht. Die ontologische Änderungsproblematik besteht also in grundsätzlicher Hinsicht in der *ontologischen* Natur der Information bzw. anders gewendet darin, dass dem "Grundstoff" der Informatik die Ontologie selbst inhärent ist. Demnach gilt: alles *Computing* ist *Ontological Computing*.

Wenn der Informationsbegriff der Informatik seit ihrer semantischen Wende ein semantischer ist, impliziert dieser also nicht nur immer einen Bedeutungsgehalt an sich, sondern diesem ist mindestens implizit gleichzeitig auch immer eine Position zu McCarthys (1995) "*general world view*" inhärent. Diese ist dezidiert metaphysischer Natur, womit die Informatik nicht nur im Sinne von Leibnizens *Metaphysica* notwendig eine metaphysische Wurzel besitzt. Vielmehr besteht die metaphysische Wurzel der Informatik primär darin, dass ihrem "Grundstoff" der Information im Zeichen von Castel (2002) immer meta-ontologische Dispositionen und vor allem eine kategoriale Struktur inhärent ist. Alle Entitäten, die Gegenstand der Informationsverarbeitung sind, erweisen sich in dieser Weise "verpackt", indem einzelne Daten bzw. Signale nicht nur in semantischer Hinsicht zur "Information" avancieren, sondern immer auch in ontologischer: Etwa insofern, dass diese als "Objekt" oder als "Ereignis" kategorisiert werden und beide Kategorien dabei eine spezifische Verhältnisbestimmung aufweisen. Oder insofern, dass festgelegt wird, in welcher "Relation" oder in welchem situativen Kontext diese Entitäten stehen, ob sie abstrakter oder konkreter Natur sind, ob sie aktual oder nur möglich sind, ob sie lediglich räumlich, oder aber raumzeitlich zu deklarieren sind usf. Insofern wird klar: die *ontologische* Änderungsproblematik hängt an allem, wenn sie im "Grundstoff" der Informatik wurzelt. Sie bezieht sich dann auf alle Datenmodelle, Semantikstrukturen oder Wissensbasen, und somit auf alle Architekturen, Prozesse, Web Services, auf alle Sprachen, Methoden usf.

Aus der ontologischen Änderungsproblematik folgt, dass die Klärung fundamentaler Fragen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* nicht in die Zukunft verschoben werden kann, sondern bereits in der Gegenwart eines der wichtigsten Themen der Informatik markiert. Dabei steht außer Zweifel, dass ihre Lösung allein auf Basis einer systematischen metaphysischen Fundierung gelingen kann, bei der es sich mit Blick auf die Durchdringung der Ontologie in alle Bereiche um die metaphysische Fundierung der ganzen Informatik handeln muss. Damit verbunden stellt sich insgesamt die Frage, inwiefern die cyber-

physische Spezifikation der Meta-Ontologie im *Internet of Everything* überhaupt für die Informatik universal bestimmbar ist, woran diese Abhandlung entsprechend elementar ansetzt. Das umso mehr, als die Informatik auch fünfzig Jahre nach Mealy's (1967) Einbringung der Ontologie in die Disziplin außer Acht lässt, dass diese Fundamentalfrage des *Ontology Engineering* (OE) im Rahmen eines systematischen wie universalen *Requirements Engineering* im Rekurs auf die Metaphysik dezidiert spezifizierbar ist. Dabei wäre dieses Unterfangen von Anfang an vollziehbar gewesen, indem die AI- bzw. Ontologiefrage insgesamt auf den durch Whitehead (1929a) aktualisierten Grundlagen Leibnizens aufbaut, in dem ohnehin der eigentliche Begründer der Disziplin zu sehen ist. Indessen geht es nicht nur um seine *Mathesis universalis*, die im logico-mathematischen Sinne durch die Disziplin bislang einseitig in den Vordergrund gerückt wird. Vielmehr muss es um die Einheit des gesamten Leibnizprogramms gehen, indem Leibnizens *Automatenuniversum* allein in der Geschlossenheit seiner transdisziplinären *Scientia generalis*, seiner logico-mathematischen *Mathesis universalis* und vor allem seiner prozessualen wie perzeptiv-agentenbezogenen *Metaphysica* richtig verstanden werden kann. Die Ursprünge jeder systematischen metaphysischen Fundierung der Informatik sind mit dem *Internet of Everything* also hier zu suchen, und schließlich mit Verweis auf den vierten Teil in technowissenschaftlich aktualisierter Hinsicht der *Klasse-4-Metaphysik* in Whiteheads Prozessmetaphysik. Es ist mit Verweis auf Pkt. 4.2 richtig, dass »Leibniz's greatest twentieth-century follower« in Whitehead zu sehen ist, und es ist ebenso richtig, dass alle fundamentalen Sachverhalte der Informatik in dieser Leibniz-Whitehead-Verbindung angelegt sind.

Vor diesem Hintergrund sind maßgebliche Probleme der Ontologiedebatte letztlich zum einen darin zu sehen, dass diese Tradition an sich unverstanden ist, nicht zuletzt die durch Whitehead vollbrachte techno-wissenschaftliche Aktualisierung des Leibnizprogramms mitsamt seiner im Zeichen der heutigen *Theorie zellulärer Automaten* vollzogenen organismischen Neuinterpretation des Leibnizschen Automatenuniversums. Zum anderen geht es um den Blick auf die Zusammenhänge, der den meisten Informatikern aufgrund der fachlichen Ausdifferenzierung ihrer Disziplin abhanden gekommen ist. Es ist wohl nicht vermessen zu behaupten, dass die durch sie verfochtenen ontologischen Positionen es kaum mit der universalen Perspektive von Leibniz als letztem Universalgelehrten bzw. Whitehead als logico-mathematischem Cyber-Physiker aufnehmen können. Dabei wäre es ein Trugschluss anzunehmen, dass all dies nicht viel mit dem Tagesgeschäft der Informatik zu tun hat: Denn jeder Informatiker wird mit Castels (2002) *Ontological Computing* notwendig zum Ontologen, der immer bei den fundamentalen Fragen der Ontologie, der Meta-Ontologie, beginnen muss. Dabei besteht eine der wichtigsten Einsichten im Verständnis des Unterschieds zwischen *universaler und regionaler Ontologie* und ihrer Relevanz für das semantische Interoperabilitätsproblem der Disziplin. Mit dem *Internet of Everything* wird ihr Verhältnis elementar, während seine Eigenschaft als *Internet of Things and Services* (IoTS) ein tieferes Verständnis *Cyber-physischer Systeme* (CPS) verlangt. Das gilt

einschließlich der Einsicht in das damit direkt zusammenhängende Erfordernis der CPSS-*Adäquanz der Semantik* wie des Informationsbegriffs als solchen. Im Leibniz-Whitehead-schen Automatenuniversum wie in der darauf gründenden Automatentheorie bestehen die notwendigen Grundlagen, mit der jede sachgerechte Informatikausbildung beginnen sollte. Denn das Verständnis dieser meta-ontologischen Probleme ist für die vollumfängliche Realisierung der semantischen Interoperabilität im *Internet of Everything*, für jede sachgerechte Konzeption der *Enterprise Architecture* oder einzelner konzeptueller Modelle mit- samt ihrer informationstechnologischen Umsetzung unabdingbar.

Indem mit Blick auf das *Internet of Everything* bereits vereinzelt erkannt wird, dass das *Internet of Things* (IoT) natürlich prinzipiell nicht nur unbelebte Dinge, sondern genauso "*living things*" bzw. "*living organisms*" adressiert,²⁶⁹ wenn das *Internet of Chemical Things* (IoCT), das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) oder schließlich das *Internet of Living Things* (IoLT) insgesamt erforscht werden, liegt es darüber hinausgehend mit Mainzer (2003b) nahe, auch *Artifizielles Leben (AL) im Internet* konsequent zu durchdenken. Vor diesem Hintergrund stellte jede Konzeption der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* von vornherein einen Fehlentwurf dar, wenn sie nicht diese wie die im Folgenden diskutierten Entwicklungen bezüglich der Frage der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* berücksichtigen würde. Wenn auch nicht jedes *Cyber-physische System* (CPS) ein IoX-System bildet, gilt dies umgekehrt hingegen schon.²⁷⁰ Dabei kann sich auch ihre CPS-Natur höchst vielfältig darstellen, indem das *Internet of Everything* sämtliche Lebenswelten durchdringt: Das beginnt mit IoT-basierten *Product Embedded Information Devices* (PEID), geht etwa über *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS) oder *Cyber-Physical Logistics Systems* (CPLS) hinweg und reicht bis hin zu *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS). Ferner ist die gesamte kognitive Robotik zu ihnen zu zählen, etwa humanoide Roboter wie z.B. Androide, womit die starke Agententechnologie und AL-Agenten ins Spiel gelangen. Umgekehrt bilden auch kybernetische Organismen (Cyborgs) eine CPS-Klasse, die etwa auf Basis des *Internet of Medical Things* (IoMT) gleichzeitig eine IoT-Klasse markiert.

Damit wird es elementar, die tatsächlichen Erfordernisse und Probleme einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption systematisch zu klären. Wie im Folgenden deutlich wird, ist eine solche *Ontologie komplexer IoX-Systeme* nicht ohne die *Theorie komplexer Systeme* sachgerecht zu konzipieren. Wenn sich Mainzers (2003b) Diskurse um AL-Agenten im Web auf Basis zellulärer Automaten vollziehen, ist in einer IoX-orientierten Ontologiedebatte nicht nur mit Pkt. 4.3 auf die *Theorie zellulärer Automaten* wie auf die Komplexitätsforschung insgesamt einzugehen, sondern mit Pkt. 4.6 im Zuge der *Ontologie der Artefakte* auch auf die *AL-Forschung* an sich. Dabei geht es gewiss nicht um nebensächliche Aspekte; vielmehr tragen diese maßgeblich dazu bei, die bisher in weiten Teilen un-

²⁶⁹ Vgl. etwa Lopez Research (2013).

²⁷⁰ Das ist etwa beim Rückgriff auf proprietäre Kommunikationsprotokolle der Fall oder dann, wenn auf Kommunikationsprozesse gänzlich verzichtet wird, bspw. bei einfachen Cyborgs.

verstandene Ontologiefrage vor dem Hintergrund von McCarthys (1995) Frage nach dem "general world view" in sachgerechter Weise beantworten zu können. Indem die bisherige AI-Ontologiedebatte an diesen und verbundenen Aspekten von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* in Realwelten im Grunde vollkommen vorbeigeht, besteht damit für ein zukunftsorientiertes Ontologieverständnis ein umso intensiverer Diskussionsbedarf.

Wenn ad (ii) die ontologisch relevanten Integrationsbelange komplexer IoX-Systeme wie der Informatik im Allgemeinen in den Vordergrund rücken, wird neben dem CPS-Aspekt gerade auch in dieser Hinsicht deutlich, dass die AI- bzw. SW-Ontologiekonzeptionen Genesereth/Nilssons, Grubers, Berners-Lees, Henders und weiteren in dieser Tradition stehenden Akteuren völlig ungeeignet sind. Denn im *Ontological Computing* vollzieht sich jede Systemintegration gerade unmittelbar auf Basis von Ontologien. Entsprechend müssen diese ineinander übersetzbar sein, womit sie dem Kriterium der *Kommensurabilität* zu entsprechen haben. Grubers "*commitment principle*" fördert jedoch genau das umgekehrte, nämlich das grundlegende Problem der *Inkommensurabilität* der Ontologien, indem diese nicht auf metaphysischen Kategorien aufbauen, die den fundamentalen Strukturen aller Welten bzw. der Realität entsprechen. Mit komplexen IoX-Systemen als *Smart Web* bzw. Web 4.0 wird das populäre Ontologieverständnis Grubers (1993, 1995) bzw. jenes des *Semantic Web* als Web 3.0 von Berners-Lee/Hendler/Lassila (2002) *ad absurdum* geführt.^{271, 272} Das gilt damit verbunden vor allem auch insofern, als für Gruber bzw. für Berners-Lee und Hendler die Idee einer obersten ontologischen Referenzebene der Informatik, die zumeist als *Top-level Ontologie* (TLO) bezeichnet wird,²⁷³ unbedeutend ist bzw. gar explizit abgelehnt wird. Wenn in der Informatik auch ansonsten gerade in der SW-Fraktion größere Vorbehalte gegenüber der *Top-level Ontologie* bestehen,²⁷⁴ ist evident, dass diese genauso unmittelbar auf ein *an sich* defektes Ontologieverständnis zurückzuführen sind.²⁷⁵

²⁷¹ Vgl. zur WWW-Evolution zum *Web 4.0* Aghaei et al. (2012), K. Patel (2013), Choudhury (2014), Kujur/Chhetri (2015), Nath/Isary (2015) sowie Paschke/Teymourian (2015). Die Versionierung als *Web 4.0* ist insofern angezeigt, als etwa das *Internet of Things and Services* (IoTS) prinzipiell als *Evolutionsstufe des Internet* zu verstehen ist; nicht etwa als zusätzliches, separates Netz, vgl. hierzu auch Cisco (2011).

²⁷² Wenn AI-Veteranen wie P. Hayes maßgeblich an der Entwicklung von SW-Technologien wie dem RDF-Core, SPARQL oder OWL beteiligt sind, zeichnet sich die Transformation des *Semantic Web* zum AI-basierten *Web 4.0* bereits ab.

²⁷³ Alternativ wird diese als Abstract Ontology, Base Ontology, Common Ontology, Conceptual Ontology (general level), Content Ontology, Foundation Ontology resp. Foundational Ontology, General Ontology, Generic Ontology, Global Ontology, High-level Ontology, Meta Ontology oder als Upper Ontology resp. Upper-level Ontology bezeichnet. – Es sei darauf hingewiesen, dass einige der Bezeichnungen, etwa Conceptual Ontology oder Foundational Ontology, teils auch domänenbezogen genutzt werden.

²⁷⁴ Vgl. Mizoguchi (2003b: 373), Cuenca Grau et al. (2004: 622) sowie Borgo/Lesmo (2008); vgl. ferner Ferrario/Prévot (2007). Mit Keet (2011: 321) ist ihr Status nach wie vor umstritten: »Ontologists tend to be outspoken about the usefulness of foundational (toplevel) ontologies [...]: either they are perceived to be essential or an impractical burden« – in der Tat ist ihre Grundfunktion für viele Informatiker unklar.

²⁷⁵ Mit Blick auf die kritischen Prozesse in IoX-Systemen verlieren Argumente, die etwa auf den hohen Zeitaufwand oder die Kosten bei der Entwicklung von *Top-level Ontologien* abzielen, genauso an Bedeutung wie das Argument, dass ihre Entwicklung und Nutzung sehr spezielles, komplexes Wissen voraussetzt. Vgl. zu solchen Argumenten im Einzelnen Borgo/Lesmo (2008). Das gilt umso mehr, als gerade bei *Top-level Ontologien* die Möglichkeit der Wiederverwendung von Ontologien greift.

Dass die in der linguistischen Tradition Genesereth/Nilssons (1987) bzw. Grubers (1993, 1995) stehende Ontologieauffassung Berners-Lee/Hendler/Lassilas (2002) ein fundamentaler Irrtum ist, wurde bereits oben festgestellt. Wenn diese mit Berners-Lees Vision des *Semantic Web* als Web 3.0 gleichzeitig die eigentliche Ontologieauffassung des W3C wiedergibt, besteht bezüglich der Frage nach der ontologischen TLO-Referenz offensichtlich auch in den W3C-Positionen selbst ein Widerspruch. Denn die W3C *SSN Sensor Ontology* besitzt mit DOLCE+DnS Ultralight (DUL) bereits eine elementare TLO-Referenz, und diese besteht genauso hinsichtlich des *Semantic Web* als Web 3.0 mit SW-Technologien wie OWL insgesamt, wenn *Scientific Ontologies* auf OWL-Basis eine solche TLO-Referenz etwa im Zuge der *Semantic E-Sciences*, konkret etwa im Rahmen der biomedizinischen OBO-Foundry mit B. Smithens BFO ganz selbstverständlich voraussetzen. Wenn diese im Zeichen der Auswertung von Sensordaten in Echtzeit zunehmend auf dem *Smart Web* als Web 4.0 bzw. *Ambient Intelligence* (AmI) gründen,²⁷⁶ gilt dies umso mehr. Auch hier zeigt sich wiederum das Problem der Konkurrenz inkommensurabler TLO-Theorieanwörter, das für komplexe IoX-Systeme wie für die Informatik insgesamt inakzeptabel ist. Denn die OBO-Foundry referenziert dann auf einen anderen TLO-Ansatz als die W3C *SSN Sensor Ontology*, während es in anderen damit verbundenen Fällen wie dem *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) wiederum um gänzlich andere TLO-Zuschnitte geht.

Mit Blick auf *Scientific Ontologies* wird nachvollziehbar, warum auch B. Smith (2004) Grubers Ontologiekonzeption in fundamentaler Hinsicht angreift. Wenngleich auch jene B. Smithens selbst grundlegend defekt ist, liegt er in der Gruber-Kritik richtig. Dass Berners-Lee et al. (2002) dennoch glauben, ihre Vision des *Semantic Web* als Web 3.0 ontologisch in der Tradition Grubers begründen zu können, hängt indessen unmittelbar mit ihrem veralteten Verständnis vom Web an sich zusammen: Denn das Web 3.0 ist nichts weiter als ein Evolutionsschritt, der notwendig war, sich jedoch als solcher bereits nach kurzer Zeit selbst überlebt hat.²⁷⁷ Vielmehr gründet das *Internet of Everything* notwendig auf dem Web 4.0 – und dabei kann es ungeachtet der zu erwartenden technologischen Fortschritte speziell mit Blick auf die grundsätzliche Architektur auch an sich bleiben.²⁷⁸ Denn in *fundamentaler* Hinsicht ist mit dem cyber-physischen *Internet of Everything* (IoX), das im Zeichen einer hybriden Agentenarchitektur im AI- wie AL-Kontext steht, alles gesagt. Das gilt zumindest dann, wenn diese im Zeichen der im Folgenden erörterten *Klasse-4-Metaphysik* auf Basis von CYPO FOX als Mehrweltenontologie konzipiert ist.

²⁷⁶ Zwar geht es bei *Ambient Intelligence* (AmI) ebenso wie beim *Smart Web* als Web 4.0 um die Kombination von IoX- und AI-Technologien, vgl. etwa D.J. Cook et al. (2009) bzw. De Paola (2014), doch ist der AmI-Begriff etymologisch primär auf *Consumer Electronics* bzw. *Consumer Devices* fixiert und wird oftmals noch einschränkend in dieser Weise genutzt. Mit dem *Smart Web* als Web 4.0 sind indessen *alle* Dinge gemeint, also auch Investitionsgüter, etwa vernetzte Werkzeugmaschinen, wie es insgesamt auch dem Gedanken der *Closed-loop U-PLM-Systeme* als Referenzszenario entspricht.

²⁷⁷ Vgl. dazu auch die auf das *Semantic Web* bezogene Kritik McCools (2005, 2006).

²⁷⁸ Vgl. hierzu auch Berners-Lee (2008: 3): »The last level of abstraction is the Web of real things, built on top of the Web of documents, which is in turn built on the network of computers«.

Indessen wird Berners-Lees (1999) inferiore Vision des *Semantic Web* als Web 3.0 dann nachvollziehbar, wenn drei wesentliche Aspekte berücksichtigt werden: Das Web 3.0 geht (i) davon aus, dass das Internet ein rein *chaotisches System* darstellt, das keinerlei zentrale Steuerungsinstanzen besitzt und entsprechend auf rein lokale statt auf globale Abstimmungen setzen muss. Allerdings erweist sich dieser Gedanke bereits mit der W3C *SSN Sensor Ontology* des von Berners-Lee selbst angeführten W3C-Konsortiums als nicht haltbar, indem diese mit ihrer TLO-Referenz auf DOLCE+DnS Ultralight (DUL) faktisch auf einem globalen Weltmodell aufbaut. Unabhängig von der Tatsache, dass dieses globale Weltmodell CPSS-inadäquat ist, bilden solche ontologischen Quasi-Standards wie die W3C *SSN Sensor Ontology* bereits globale Steuerungsinstanzen, die bei Berners-Lee (1999) noch keinen Platz haben. Das hängt wiederum an einer anderen fundamentalen Entwicklung, nämlich (ii) an dem Umstand, dass der IoT-Gedanke erst mit Gershenfeld (1999a) ins Spiel gelangt, der noch dazu erst einige Jahre später im Zeichen der universalen Sensorik und Aktorik *Cyber-physischer Systeme* (CPS) in der Weise weiterentwickelt wird,²⁷⁹ die mit dem *Internet of Everything* (IoX) vorauszusetzen ist. Dieses ist im Zeichen des *Sense-and-Respond Model* bzw. des damit implizierten *Adaptive Enterprise Design* wie des mit dem *Sensing Enterprise* unmittelbar zusammenhängenden Aspekts der *Digital Analytics* andererseits hochintegriert: Die *Smart Data Analytics* (SDA) setzt wie die *Big Data Analytics* (BDA),²⁸⁰ sofern diese im Zeichen von Multisensorsystemen sachgerecht aufgebaut werden, mit dem zweiten Teil eine umfassende *Smart Enterprise Architecture* (SEA) notwendig voraus. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die *Digital Analytics* selbst IoS-basiert ist und entsprechend notwendig auf einer ereigniszentrischen *Service-Oriented Architecture* (ED-SOA) gründet,²⁸¹ und als *Web Services* in modellierte Prozesse einzubetten ist. Daneben muss es mit dem Kriterium der CPSS-Adäquanz prinzipiell um 4D-Datenmodelle gehen, die es in *Ubiquitous PLM-Systeme* (U-PLM) bzw. vorgeschaltete IoT-Plattformen zu implementieren gilt. Ferner steht gänzlich außer Frage, dass die SDA bzw. BDA nur dann wirklich sinnvolle Rückschlüsse erlauben, wenn sie auf die Basis einer realistisch-metaphysischen *Top-level Ontologie* (TLO) wie einer integrativen *Enterprise Ontology* (EO) gestellt werden.²⁸² So gesehen bilden komplexe IoX-Systeme nicht weniger als den genauen Gegenentwurf zu Berners-Lee (1999), indem sie *hochgradig integrierte Systeme* implizieren, die gewissermaßen Inseln bzw. feste Relationen im IoX-Meer *chaotischer*

²⁷⁹ Vgl. hierzu insbesondere ITU (2005). Demnach geht es auch um die Analyse verschiedenster Sensordaten: »Examples for sensor data include temperature, acceleration, localization, orientation, vibration, brightness, humidity, noise, smell, vision, chemical composition, and life signals«, vgl. Fleisch (2010: 9).

²⁸⁰ Big Data wird wahlweise zumeist anhand des 3V- oder 4V-Konzepts abgegrenzt, vgl. etwa Papadokostaki et al. (2017: 5 f.); hier wird das 5V-Konzept zugrundegelegt. Danach konstituiert sich Big Data entlang der fünf Kriterien *Volume*, *Variety*, *Velocity*, *Value* und *Veracity*, vgl. Lomotey/Deters (2016).

²⁸¹ In ED-SOA besteht die Kombination der komplementären EDA und SOA, was dann richtig verstanden ist, wenn diese im CEP- bzw. SCEP/OCEP-Sinne durch eine *Event Ontology* zur intelligenten Prozess/Service-Steuerung ergänzt wird, vgl. Erl et al. (2015: 74 f.); vgl. dazu ferner T. Zhu et al. (2010).

²⁸² M.G. Bennett (2013) fordert im BDA-Kontext explizit eine solche *realistische Top-level Ontologie* ein.

Systemrelationen bilden.²⁸³ Auch das gründet auf Metaphysik, indem sich im Sinne Leibnizens feststellen lässt:

»Monadology admits to one real universe. The Internet is a mechanism by which each isolated monad can come into harmony with that cosmos. The Internet is also a mechanism by which each monad can create its own chaos.«²⁸⁴

Schließlich bilden (iii) die Anwendungen, die Berners-Lee et al. (2002) mit ihrer Vision des *Semantic Web* als Web 3.0 im Sinn haben, nicht die ontologischen Kern-Anwendungen, die sich mit dem Web 4.0 in CPS-Kontexten stellen.²⁸⁵ Denn bei ihnen geht es um die vergleichsweise unproblematische *semantische Interoperabilität bzw. Kommunikation von Websites* im Zeichen von "Linked Data",²⁸⁶ oder um *Semantic Search Engines* (SSE), bei denen wiederum die *Human-Computer Interaction* (HCI) mit menschlichen Agenten im Vordergrund steht. Genauso kann auch noch für *Semantic Web Crawler* bzw. *Searchbots* ein linguistisches Ontologieverständnis auf den ersten Blick ausreichend erscheinen. Doch sind seine Grenzen bereits dann erreicht, wenn es um intelligente maschinelle Agenten geht, die sich im physischen Kontext *cyber-physischer "Reality Machines"* bewegen und dabei ggf. auch *Scientific Ontologies* mit einbeziehen. Eines der zentralen Probleme der Ontologiedebatte besteht darin, dass unklar zu sein scheint, dass weder zwischen komplexen und einfachen Kontexten separiert werden kann noch dass sich die Domänen des Web 3.0 vom Web 4.0 trennen lassen. Vielmehr indiziert nicht nur diese Versionierung, dass das Internet insgesamt zum *Internet of Everything* (IoX) mutiert,²⁸⁷ sondern es ist eins: Es ist das *Real World Internet* (RWI).²⁸⁸ Entsprechend lässt sich auch in der Frage des für die Informatik adäquaten Ontologieverständnisses bzw. der für sie passenden Ontologiearchitektur nicht differenzieren.²⁸⁹ Vielmehr ist *Ontologie* prinzipiell als explikative *Heavyweight-Ontologie* zu verstehen, woraus folgt, dass "Lightweight-Ontologien", die nicht von einer *Heavyweight-Ontologie* abgeleitet werden, gar keine Ontologien i.e.S. darstellen.

²⁸³ Vgl. dazu auch Barabási (2002: 166 f.).

²⁸⁴ Dessy (1995: 382).

²⁸⁵ Auch für Shadbolt/Berners-Lee/Hall (2006) wird deutlich, dass umfassendere Fragen zu stellen sind.

²⁸⁶ Vgl. dazu Bizer/Heath/Berners-Lee (2009) sowie Heath/Bizer (2011); vgl. ferner zum *Linking Open Data* (LOD)-Projekt Speiser/Harth (2011), mit deren *Linked Data Services* deutlich wird, dass die durch Hepp (2006b) aufgeworfene Verhältnisfrage von *Semantic Web* und *Semantic Web Services* klar zu beantworten ist: "*No Semantic Web without Services*".

²⁸⁷ Für unsere Zwecke ist eine Differenzierung zwischen dem *Internet of Things* (IoT) und dem *Web of Things* (WoT) nicht erforderlich; diese Unterscheidung wird zunehmend im Sinne einer Konkretisierung vorgenommen um zu unterstreichen, dass sich die Integration intelligenter Dinge nicht allein auf die *Netzwerkebene* (IoT) bezieht, sondern auf Basis von *Web Applications* vielmehr elementar auf die *Applikationsebene* (WoT), vgl. hierzu Duquennoy et al. (2009), Tridium (2009), Raggett (2010), Guinard (2011), Guinard/Trifa et al. (2011), Zeng et al. (2011), P. Sawyer et al. (2012), Mathew et al. (2013), Colitti et al. (2014), Corredor/Bernardos Barbolla (2014), Guinard/Trifa (2016) sowie Merkle (2016). Konsequenterweise müsste dann jedoch auch von einem *Web of Things and Services* (WoTS) gesprochen werden, was bisher nicht der Fall ist. Mit Blick auf komplexe Integrationszenarien ist in der Tat vor allem der WoT-Fall von Relevanz; indessen bedingt ein breites Verständnis der *Services* komplexer IoX-Systeme, dass sich diese sowohl auf die IoT- als auch auf die WoT-Ebene erstrecken.

²⁸⁸ Vgl. auch ABI Research (2014: 9).

²⁸⁹ Natürlich hat eine *integrierte Ontologiearchitektur* gerade in Bezug auf menschliche Agenten auch *Common Sense-Ontologien* zu berücksichtigen; allerdings können diese mit Blick auf die Vermeidung von Widersprüchlichkeiten nicht isoliert behandelt werden, vgl. hierzu den W3L-Typus in Pkt. 3.5.

Vielmehr handelt es sich um *semantische Netze*, womit die Informatik in der Ontologiedebatte auch in keiner Weise auf Gruber et al. setzen kann. Indem es heute allein um das Web 4.0 geht und nicht um veraltete Vorläufer, muss sich auch die Ontologiedebatte der Informatik zwingend auf eine höhere Ebene verlagern: sie ist insofern auf Basis der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu führen, als das *Internet of Everything* nach einer universalen *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie* verlangt.

Die *Top-level Ontologie* beschreibt die allgemeinsten Strukturen der Wirklichkeit, der Realität, genauso wie die fundamentalen Strukturen aller möglichen Welten, die durch die Metaphysik zu klären sind. Ihre Definition beruht dabei auf den allgemeinsten, domänenübergreifenden bzw. transdisziplinären Kategorien, die im *cyber-physischen* Sinne der physischen Realität wie allen Cyberwelten zugrundeliegen. Wenn im Gegensatz zu Genseareth/Nilsson, Gruber, Berners-Lee oder Hendler für anerkannte AI-Forscher wie Sowa (2000) oder Russell/Norvig (2010) die *Top-level Ontologie* als oberste Referenzebene elementar ist, kommt die Disziplin fünfzig Jahre nach Mealys (1967) Übernahme der Ontologie aus der Philosophie in die Informatik offenbar nicht um eine umfassendere Grundsatzdiskussion zur Ontologiefrage umhin. Castels (2002) *Ontological Computing* deutet dabei an, in welcher Tiefe eine solche Diskussion zu führen ist, um zu tatsächlich belastbaren Schlussfolgerungen gelangen zu können. Ohne einen Rekurs auf die für die Informatik adäquate Metaphysik einschließlich epistemologischer wie methodologischer Gesichtspunkte ist ein solcher Diskurs von vornherein zum Scheitern verurteilt. Allein auf dieser Basis lässt sich klären, welche der höchst verschiedenen Ontologieauffassungen für die Informatik die tatsächlich sachgerechte ist. Denn diese zentrale Frage ist überaus umstritten.

Das ontologische Fundamentalproblem, das aus differierenden Weltmodellen resultiert, erkennen derweil bereits solche Ontologen, die nur auf die Finanzindustrie fokussiert sind:

»It is [...] important to recognize that ontologies may be framed under different theories about the world. Not all ontologies can be used or referenced directly if these are based in different theories. However, a well-constructed upper ontology may provide the means for at least some seemingly incompatible ontologies to be integrated.«²⁹⁰

Gewiss ist auch der Finanzsektor auf die physische Realität bezogen, indem er unvermittelt auf reale Schocks der physisch-materialen Welt reagiert, doch stellen sich die ontologischen Probleme vor allem dann, wenn es um das *Internet of Things and Services* (IoTS) und damit um die verschiedensten *Cyber-physischen Systeme* (CPS) des *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) geht. Das berührt die AI-Ontologiedebatte entsprechend erst dann, wenn die Informatik auch ein *realitätsbezogenes* AI-Verständnis (RAI) voraussetzt. Demgegenüber werden die Probleme der linguistischen Position im *Ontology Engineering* (OE) mit H.A. Simon (1987c) im Kontext der *"toy problems"*, auf deren Basis die AI-Forschung lange Zeit ihre Konzepte entwickelte, in keiner Weise deutlich. Wie bereits Hayes (1979) fordert, muss es in jeder AI-bezogenen Grundsatzdiskussion demgegenüber vielmehr um *"nontoy worlds"* gehen, und das sind genau solche reale

²⁹⁰ M.G. Bennett (2014b: 8).

bzw. realitätsbezogene Welten, in denen ontologiebasierte *cyber-physische "Reality Machines"* operieren. Das gilt zumal im Grunde alle heutigen bzw. künftigen Computersysteme auf IoX-Basis bzw. identischen Grundlagen konzipiert sind und im Zeichen des *Service-Oriented Computing* (SOC) alle CPSS/SEA- bzw. MAS/CAS-Aspekte voraussetzen.

Damit steht die Ontologiefrage der Informatik voll und ganz im Zeichen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, und für sie kann folglich insgesamt nur jenes Ontologieverständnis tragfähig sein, das CPST- bzw. IoX-adäquat ist: Sofern sich dieses in den besonders diffizilen bzw. komplexen Kontexten in universaler Hinsicht bewährt, ist es auch für einfache Kontexte hinreichend. Demgegenüber ist die Klärung der Architekturfrage in umgekehrter Weise nicht möglich, da einfache Anwendungs- bzw. Integrationsszenarien nicht die komplette Bandbreite an Sachverhalten abdecken bzw. ihre Fragen erst gar nicht eröffnen. Tatsächlich lässt sich nicht einmal ein einfaches Anwendungs- bzw. Integrationsszenario isoliert betrachten, weil in komplexen Systemen, mit denen es die Informatik regelmäßig zu tun hat,²⁹¹ eine solche Trennung kaum opportun erscheinen kann. Indem in ihren Integrationsszenarien alle Domänen prinzipiell interdependent sind und nicht zwischen komplexen und einfachen Kontexten separiert werden kann, muss es in der Informatik um ein *universales Ontologieverständnis* gehen, das in einer *integrierten Ontologiekonzeption* mündet, was jeweils eine einheitliche wie allmächtige *Top-level Ontologie* voraussetzt.

Es ist die *Meta-Ontologie*, die die *Top-level Ontologie* spezifiziert; entsprechend rückt mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* naturgemäß die *cyber-physische Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* in den Fokus der Ontologiediskussion:

»A foundational ontology is a kind of (meta)ontology, independent of a particular problem or domain, that describes a set of real-world categories that can be used to talk about reality. It is constructed using the theories of Formal Ontology in philosophy. The main purpose of a foundational ontology is to aid in negotiating meaning and facilitating common understanding. Because of that, foundational ontologies have been acknowledged as an important means for dealing with semantic conflicts.«²⁹²

Der Terminus *Meta-Ontologie* geht auf Van Inwagen (1998a, 1999) zurück, und bezieht sich hierbei speziell auf die Quinesche *Meta-Ontologie*. Inzwischen wird in der Ontologiediskussion bzw. TLO-Debatte allgemein von *Meta-Ontologie* gesprochen,²⁹³ die auf die fundamentalen Fragen wie auf die allgemeine Grundlegung der Ontologie selbst zielt.²⁹⁴ In

²⁹¹ Das gilt generell wie speziell bzgl. der *Enterprise Integration*, vgl. etwa D. Romero/Vernadat (2016).

²⁹² Nardi et al. (2013: 238).

²⁹³ Vgl. etwa Wand (1996), Burek (2003), Herre/Loebe (2005), K. Bennett (2009), Garbacz/Trypuz (2011), Eklund (2013) sowie Berto/Plebani (2015).

²⁹⁴ Wand (1996: 281) spricht bei der BWW-TLO von einer "*Meta-Ontologie*", die er zu typischen AI-Ontologien als Domänenontologien abgrenzt. Wir differenzieren hier wie folgt: Mit *Meta-Ontologie* ist der allgemeine Diskurs um alle meta-ontologischen Aspekte gemeint, von der Frage nach dem adäquaten Realitätsbegriff bis hin etwa zu jener nach den Wahrmachern. Diese Ontologiediskussion ist in jedem Fall immer (auch) philosophisch und bezieht Disziplinen wie die Metaphysik, Epistemologie, Methodologie, Semantik sowie die formale Logik notwendig mit ein. Die *Meta-Ontologie* spezifiziert zusammen mit den metaphysischen Kategorien die *Top-level Ontologie*; diese stellt immer eine konkrete kategoriale wie meta-ontologische Spezifikation dar und wird repräsentiert durch einen spezifischen *TLO-Ansatz*, der im Sinne der Evaluierung und Selektion solange als *TLO-Theorieanwärter* zu verstehen ist, bis es einen echten "Gold Standard" i.S. eines Quasi-Standards gibt. Bei der *Top-level Ontologie* handelt es sich um die oberste Ontologieebene der Informatik, die in Relation mit ihrer ganzen Ontologiesystematik

diesem allgemeinen Sinne wird dieser Terminus hier im Zeichen der TLO-Debatte verwendet. Indem zwischen Ontologie und Metaphysik zu differenzieren ist, bleibt anzumerken, dass es konsequenterweise auch eine *Meta-Metaphysik* gibt, die entsprechend auf die fundamentalen Fragen wie auf die allgemeine Grundlegung der Metaphysik an sich zielt.²⁹⁵ Darauf kommen wir im vierten Teil zurück, wenn es mit Pkt. 4.1 etwa um eine Kritik der Metaphysikklassen geht,²⁹⁶ um im Zusammenspiel mit Pkt. 4.2 jenen Metaphysiktypus zu identifizieren, der für die Ontologieprobleme der Informatik allein wegweisend sein kann.

Mit *Cyber-physischen Systemen* (CPS) muss die Ontologiediskussion der Informatik wie auch die Praxis des *Ontology Engineering* (OE) mit einer Debatte um die oberste Ontologieebene als Referenzebene beginnen. Ohne sie lässt sich Minskys (1968c) "*unitary model of the world*" genauso wenig in CPSS-adäquater Weise begründen wie die durch Castel (2002) angemahnte Klärung der *Natur des Wissens* bzw. des semantischen Informationsbegriffs vollziehen. Dabei kommt die Disziplin nicht zuletzt aus dem Grunde nicht um eine ausführlichere metaphysische Diskussion umhin, als es zu der Frage, wie diese oberste Ontologieebene der Informatik zu konzipieren ist, überaus unterschiedliche Vorstellungen bzw. dezidierte, wenn auch selten universale Spezifikationen gibt. Dabei besticht die Diskussion nicht nur an sich durch höchst heterogene Positionen, sondern sie vollzieht sich auch noch auf mindestens fünf verschiedenen Ebenen bzw. Sphären, die wiederum direkt mit der in Pkt. 3.3.1 vollzogenen und dort in Abb. 3 illustrierten Ontologieklassifikation bzw. der in Pkt. 3.3.2 geführten Diskussion um die OE-Ansatzpunkte zusammenhängt: (i) zum ersten wird die Diskussion um die meta-ontologischen Aspekte sowie die Top-level Kategorien auf der Ebene geführt, auf der sie eigentlich auch zu führen ist, nämlich auf der Ebene der *Top-level Ontologie* (TLO) als oberster Referenzontologie bzw. oberste Ontologieebene der Informatik. Die Divergenz der Positionen wie das daraus resultierende Inkommensurabilitätsproblem kommt hier in der elementaren Heterogenität zum Ausdruck, die zwischen der Vielzahl der konkurrierenden TLO-Theorieanwörter besteht. Allerdings beschränkt sich die meta-ontologische *Top-level-Diskussion* nicht allein auf diese eigentlichen TLO-Ansätze, auch wenn diese natürlich den Kern der Sache bilden. Vielmehr wird sie – zumeist jenseits irgendeiner TLO-Referenz – in letztlich unqualifizierter Weise auch auf den unteren Ontologieebenen selbst geführt oder aber gar auf Grundlage eines an sich falschen Ontologieverständnisses. Entsprechend kommt zur Diskussion der eigentlichen TLO-Ansätze eine bald endlose Zahl an Ontologieansätzen hinzu, die selbst keine *Top-level Ontologie*, sondern vielmehr nachrangige Ontologien verkörpern. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie statt der eigentlich angezeigten TLO-Referenz einen eigenen, in aller

steht (vgl. Abb. 3 unter Pkt. 3.3.1). In diesem *top-down-Sinne* bildet sie den Ausgangspunkt jedes sachgerechten *Ontology Engineering*.

²⁹⁵ Vgl. etwa Manley (2009).

²⁹⁶ Wenn Magee (2011c: 266 f.) die metaphysischen Positionen von Partridge, Hayes oder Sowa analysiert, bringt das wenig Aufschluss ohne mit Verweis auf Pkt. 4.1 zuvor geklärt zu haben, um genau welche Metaphysik es dabei geht: Es gibt nicht "die" Metaphysik; sondern völlig disparate Metaphysikklassen.

Regel indessen wenig durchdachten *Top-level* besitzen bzw. damit zusammenhängende meta-ontologische Positionen postulieren, die jedoch meist genauso wenig reflektiert sind.

Unter Verweis auf Pkt. 3.3.1 bzw. die dortige Abb. 3 finden sich solche nachrangigen Ontologien mit eigenem *Top-level* auf den Ebenen der (ii) *Kern- und Domänenontologien*, der (iii) *Methoden- und Aufgaben- bzw. Funktionsontologien*, sowie schließlich auch der (iv) *Anwendungsontologien*. Mit Verweis auf das in Pkt. 3.3.1 behandelte systematische *Ontology Engineering* (OE) und die dort vollzogene Ontologieklassifikation handelt es sich dabei jedoch letztlich um falsch konzipierte Ontologien, indem diese mit der fehlenden TLO-Referenz die Ontologiearten nicht sachgerecht abgrenzen. Dennoch existieren all diese nachrangigen Ontologien mit eigenem *Top-level*, und sie sind in der Diskussion der Meta-Ontologie im *Internet of Everything* zwangsläufig mit zu berücksichtigen. Ferner kommt noch ein weiterer Ontologietypus hinzu, bei dem es sich mit Verweis auf die in Pkt. 3.3.2 geführte Diskussion um die OE-Ansatzpunkte allerdings gar nicht um die "Ontologie" im engeren Sinne handelt, sondern genauer besehen vielmehr um erweiterte semantische Netze, die ihren Ursprung in der Linguistik besitzen. Entsprechend handelt es sich um (v) linguistische bzw. lexikalische Ontologien, die auf dem *Natural Language Processing* (NLP) gründen. Diese sind hier insofern relevant, als sie über die tradierten semantischen Netze hinausgehen, indem sie nunmehr einen eigenen, allenfalls oberflächlich philosophisch begründeten *Top-level* besitzen. Somit wird bereits an dieser Stelle insgesamt deutlich, dass der Unterschied zwischen dem Fall (i) und den Fällen (ii) bis (v) darin besteht, dass letztere nicht im Zeichen der eigentlich relevanten *universalen Ontologie* stehen, sondern vielmehr allein auf die zumeist sehr speziellen Zwecke der jeweiligen Ontologie abstellen. Indem sie nicht systematisch auf die *universale Ontologie* zielen, steht außer Frage, dass sie nicht nur regelmäßig wenig durchdacht sind, sondern vielmehr auch das für die Informatik überaus relevante Inkommensurabilitäts- bzw. Transdisziplinaritätsproblem entsprechend elementar begünstigen bzw. geradezu bedingen. Demzufolge kann sich die Diskussion der Meta-Ontologie im *Internet of Everything* nicht allein auf die eigentlichen TLO-Ansätze beschränken, sondern hat sich vielmehr auf die ganze, mitunter konfuse Ontologiedebatte zu erstrecken. Zur Vorbereitung der Diskussion muss es zunächst gelten, Transparenz hinsichtlich aller TLO-relevanten Ansätze zu schaffen, die sich den genannten fünf Fällen zuordnen lassen. Für jeden der Fälle werden exemplarisch entsprechende Ansätze angeführt, die alle eine unmittelbare Relevanz für die Meta-Ontologie, die Top-level Kategorien wie insgesamt für das Inkommensurabilitätsproblem besitzen.

Ad (i): Zur Gruppe der echten *Top-level Ontologien*, um die es hier im Kern geht, gehören folgende TLO-Ansätze: die *Basic Formal Ontology* (BFO),²⁹⁷ die *Bunge-Wand-Weber*

²⁹⁷ Vgl. etwa B. Smith (2013). Die BFO-TLO wird insbesondere im biomedizinischen Bereich eingesetzt, vgl. etwa Ceusters/Smith (2010a, 2010b), sowie bei der semantischen Informationsauswertung von US-Geheimdiensten bzw. anderen staatlichen Institutionen, vgl. hierzu Smith/Vizenor/Schoening (2009), T. Janssen/Basik et al. (2010), Neuhaus/Andersen (2011) sowie Salmen et al. (2011).

Ontologie (BWW),²⁹⁸ die ähnlich orientierte *IOMIS-Ontologie*,²⁹⁹ Cyc bzw. OpenCyc mit der *Upper Cyc Ontology* (UCO),³⁰⁰ die *Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering* (DOLCE),³⁰¹ die *General Formal Ontology* (GFO/GOL),³⁰² die *Suggested Upper Merged Ontology* (SUMO),³⁰³ die *Unified Foundational Ontology* (UFO),³⁰⁴ die Prozessontologie von Sowa (2000), die *4D Upper Ontology* Russell/Norvigs (2010), die *Object-Centered High-level REference Ontology* (OCHRE),³⁰⁵ YATO bzw. YAMATO,³⁰⁶ die Chisholm-TLO Miltons,³⁰⁷ der *Analytic Approach* Ashenhursts,³⁰⁸ oder die *Standard Upper Ontology* (SUO) der IEEE SUO WG.³⁰⁹ Diese tradierten echten TLO-Ansätze kommen als Referenz im Bereich der konzeptuellen Modellierung (CM) sowie der Wissensrepräsentation (KR) zum Einsatz. Entsprechend bilden sie genauso die ontologische Referenzebene für die Daten- bzw. Informationsintegration. Darüber hinaus sind zu dieser ersten Gruppe jene Fusionsansätze zu zählen, mit denen versucht wird, einzelne der o.g. TLO-Ansätze zu mappen, also abzubilden, bzw. zu fusionieren. Hierzu gehören das inzwischen aufgegebene

²⁹⁸ Vgl. etwa Wand/Weber (1988, 1989b, 1990a), Wand (1989, 1996), R. Weber (1997a) sowie Fettke/Loos (2003a, 2003b, 2005). Vgl. auch Opdahl/Henderson-Sellers (1999), Rosemann/Green (2002), Rosemann/Wyssusek (2005), Gehlert et al. (2007), Goumopoulos/Kameas (2010) sowie Kiwelekar/Joshi (2010).

²⁹⁹ Vgl. Herrera et al. (2005).

³⁰⁰ Vgl. etwa Lenat et al. (1990), Lenat/Guha (1990), Lenat/Feigenbaum (1991), Guha/Lenat (1994), Lenat (1995) sowie Foxvog (2010: 262 ff.); wesentlich ist hier vor allem der *Upper Mapping and Binding Exchange Layer* (UMBEL).

³⁰¹ Vgl. z.B. Gangemi/Guarino et al. (2002), J. Lehmann/Borgo et al. (2004), Cimiano/Reyle (2006), Probst/Espeter (2006), Ghidini et al. (2008), Garbacz et al. (2009), Scherp et al. (2009), Borgo/Masolo (2010) sowie Hahmann/Brodaric (2012).

³⁰² Vgl. etwa Heller/Herre (2003a, 2003b), Herre/Heller (2006), Herre/Heller et al. (2006), Loebe/Herre (2008) sowie Herre (2010a, 2015a, 2015b).

³⁰³ Vgl. dazu Farrar (2003), Scheffczyk et al. (2006), Oberle et al. (2007), Pease (2007, 2011), Özorhan/Cicekli (2012) sowie Hnatkowska et al. (2015).

³⁰⁴ Vgl. dazu Guizzardi/Wagner (2004, 2008).

³⁰⁵ Vgl. hierzu L. Schneider (2003a, 2003c, 2008).

³⁰⁶ Vgl. Mizoguchi (2009, 2010).

³⁰⁷ Vgl. hierzu Milton (2004, 2007), Lamp/Milton (2005) sowie Keen/Milton/Keen (2013); dieser TLO-Ansatz wird insbesondere im IS-Kontext im Zuge der Meta-Modellierung der *konzeptuellen Modellierung* (CM) bemüht, vgl. Milton et al. (1998), Milton/Kazmierczak/Keen (2002) bzw. Milton/Kazmierczak (2004, 2006). Dabei liegt der Schwerpunkt auf der *Datenmodellierung*, vgl. etwa Milton/Kazmierczak/Keen (2002) bzw. Milton/Kazmierczak (2004). Mit den ontologischen Kategorien bei Milton/Johnston/Lederman (2005), die spezifisch für agentenbasierte *situative Systeme* ausgelegt sind, wird der KR-Aspekt weiter thematisiert; vgl. hierzu auch Johnston/Milton (2002). Die Chisholm-TLO baut auf der in Pkt. 5.4 erörterten Metaphysik Chisholms (1989) auf. Milton et al. legen dabei explizit den *metaphysischen* Ontologiebegriff E.J. Lowes (2005) zugrunde, vgl. etwa Kazmierczak/Milton (2005), die auf Honderich als Herausgeber verweisen. Mit Miltons (2004) Kritik an Bunges Naturalismus wird deutlich, dass es sich dabei jedoch um eine völlig andere Metaphysik als jene Bunges handelt: es geht explizit nicht um *Scientific Metaphysics* i.S. Bunges, sondern gemäß der Metaphysik Chisholms um aristotelischen *Common Sense-Realismus*, vgl. hierzu auch Taliaferro (1998). Dieser metaphysische Streit setzt sich mit Popper (1972a) auf Basis der entsprechenden Wissensarten unmittelbar fort. Auf dieser Basis begründen sich entsprechende Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen der Chisholm-TLO und der BWW-TLO, vgl. hierzu Milton/Kazmierczak (2000), Davies/Green/Milton/Rosemann (2003) sowie Davies/Rosemann/Milton/Green (2005).

³⁰⁸ Vgl. Ashenhurst (1996). Dieser auf der analytischen Ontologie beruhende eklektizistische Ansatz bzw. das "hybrid of ontologies", von dem Wand/Weber (2002: 366) sprechen, reicht von Davidson, Dummett, Kripke, Russell über Strawson bis zu Quine. Es ist vor allem die in Pkt. 5.1 behandelte Ontologie Quines, die dabei im Fokus steht. Wie bei der BWW-TLO bzw. der Chisholm-TLO zielt dieser Ansatz im IS-Sinne primär auf die Daten- resp. Informationsmodellierung, weniger im KS-Sinne auf KR-Aspekte.

³⁰⁹ Vgl. Nilés/Pease (2001a, 2001b).

OntoMap Project des OntoText Lab,³¹⁰ das *COmmon Semantic MOdel* (COSMO),³¹¹ die *Multi Source Ontology* (MSO) des Server WebKB-2, oder etwa das ROMULUS-Projekt.³¹² Demgegenüber gibt es Ansätze mit TLO-Anspruch, über deren ontologischen Status die Forschung mit Blick auf die Funktion als tatsächlich generische, *universale Ontologie* uneins ist. Diese Ansätze werden aufgrund ihres TLO-Anspruchs hier jedoch mit zu dieser ersten Gruppe gezählt. Das betrifft etwa die Highfleet *Upper Level Ontology* (ULO),³¹³ die *Business Objects Reference Ontology* (BORO) als explizit metaphysischer *4D-Ontology* (ISO 15926),³¹⁴ sowie *Gist* von Semantic Arts.³¹⁵ Ihr umstrittener Status ist insofern nachvollziehbar, als es sich in der Tat nicht um echte, wirklich universale TLO-Ansätze handelt,³¹⁶ sondern sie vielmehr zwischen diesen und integrativen Kernontologien mit eigenem Top-level zu verorten sind. Als solche sind sie im Allgemeinen philosophisch unreflektiert.

Ad (ii): Zu den Kern- sowie Domänenontologien mit eigenem, individuell ausgestaltetem *Top-level* lassen sich unzählige Beispiele nennen. Zwar besitzen sie für sich genommen gar keinen TLO-Anspruch, womit man sie auf den ersten Blick außen vor lassen könnte. Allerdings bedingen sie das TLO-Inkommensurabilitätsproblem genauso bzw. sind sie in dieser Sache letztlich als noch problematischer als das unter (i) genannte große Feld der konkurrierenden TLO-Theorieanwärter zu erachten. Denn die Problematik liegt gerade darin, dass sie nicht mit dem Anspruch konzipiert sind als *universale Ontologie* für sämtliche Ontologiezwecke der Informatik zu fungieren. Damit ist jedoch auch ihr *Top-level* kaum universal, womit jede Verschaltung mit anderen Ontologien bei automatisierten Systemen zum Elementarproblem wird. Auf der Ebene solch inferiorer Ontologieentwürfe treffen dann die individuell konzipierten *Top-level* verschiedenster Kern- bzw. Domänenontologien aufeinander, womit die Wahrscheinlichkeit außerordentlich hoch ist, dass sie sich mit dieser Top-level-Divergenz als fundamental inkompatibel erweisen. Zu dieser Gruppe gehört etwa der *Top-level* der *Unified Enterprise Modeling Language* (UEML)

³¹⁰ Vgl. etwa Dimitrov/Kiryakov/Simov (2001), Kiryakov/Simov/Dimitrov (2001) sowie Kiryakov/Dimitrov/Simov (2001); vgl. ferner Kiryakov/Simov (2000).

³¹¹ Vgl. Cassidy (2008).

³¹² Vgl. Khan (2013) bzw. Khan/Keet (2013a, 2013b), die ein Mapping von DOLCE, BFO und GFO prüfen. Vgl. hierzu ferner Mascardi et al. (2008, 2010).

³¹³ Die Highfleet ULO weist drei grundlegende Kategorien auf, die in (i) "*Particular*", (ii) "*SystemEntity*" sowie (iii) "*Universal*" gegeben sind, vgl. hierzu Chungoora (2010: 17). Dabei subsumiert die Kategorie "*Particular*" zwei Unterklassen, nämlich "*AbstractEntity*" und "*ConcreteEntity*", wobei diese Differenzierung auf einer Linie mit der SUMO-TLO ist, vgl. dazu Imran (2013: 74). Die auf *Common Logic* (CL) gründende Highfleet ULO ist für die *Smart Factory* von wesentlicher Relevanz, indem sie die MCCO-Basis stellt. Darüber hinaus besitzt sie auch direkte Bewandnis für das U-PLM-Referenzszenario, vgl. hierzu C. Palmer et al. (2014). Dabei wird die ULO durch die *Middle Level Ontology* (MLO) ergänzt.

³¹⁴ Darunter fallen sowohl die durch Partridge entwickelte *BORO Foundational Ontology* sowie das darauf aufbauende *4D-Paradigm*, das durch West et al. bei Shell entwickelt wurde. West (2004) weist darauf hin, dass die 4D-Perspektive seines 4D-Paradigmas von Partridges BORO 4D-Ansatz stammt. Vgl. hierzu ferner Partridge (1996), Batres/West et al. (2007), West (2002, 2003, 2008, 2009, 2011), West/Partridge/Lycett (2006) sowie Bailey (2011). Vgl. zur ISO 15926 Yacout/Ebrahimipour (2015).

³¹⁵ Vgl. hierzu Uschold/McComb (2013).

³¹⁶ So versteht Geerts (2016) die BORO-TLO explizit als *Enterprise Ontology* (EO), was zumindest von ihrer Bezeichnung her auch zutreffend ist; vgl. hierzu ferner die BORO-Kritik bei B. Smith (2006b).

Ontology.³¹⁷ Diese baut auf der BWV-TLO auf;³¹⁸ sie wurde auch auf SUMO bezogen.³¹⁹ Weitere Ansätze bestehen im *Top-level* des *Semantic Web for Earth and Environmental Terminology* (SWEET),³²⁰ im *Top-level* der *GeoLink Modular Oceanography Ontology*,³²¹ in jenem der *MarineTLO*,³²² im *Top-level* des *CIDOC object-oriented Conceptual Reference Model* (CIDOC CRM),³²³ im *Top-level* von PSIM,³²⁴ in der *FIBO Upper Ontology*,³²⁵ im *Top-level* der *SAW-Ontologie*,³²⁶ in der *GALEN Upper Ontology*,³²⁷ der *PSI Upper-level Ontology* von Ermolayev et al.,³²⁸ der *Manufacturing Service Description Language* (MSDL),³²⁹ oder etwa im *Top-level* der im Kontext des OMG-BMM stehenden *Common NFA Ontology*,³³⁰ unabhängig davon, dass dieser wiederum insgesamt unreflektiert bleibt.

Ad (iii): Als Beispiele für Methoden- und Aufgaben- bzw. Funktionsontologien mit eigenem *Top-level* ist etwa die *IoT-based Service Integration Ontology* (IIO) von M. Ryu et al. (2015) zu nennen. Allerdings wird auch diese dem artikulierten Anspruch eines TLO-Theorieanwärters nicht im Ansatz gerecht. Analoges gilt für die *General Ontology* der *AmI System Ontology* bei De Paola (2014). Hierunter fallen ferner die *Top-level* der *Reference Ontology for Semantic SOA* der OASIS (2008) bzw. der *SOA Ontology* (SOA-O) der Open Group (2010).³³¹ Daneben auch die *Upper-level Functional Design Ontology* (UFDO).³³² Darüber hinaus existieren mittlerweile eine ganze Reihe EA-bezogener Ontologien, die letztlich immer über einen *Top-level* verfügen. Denn das Herzstück einer jeden *Enterprise Architecture* bildet das *Metamodell*, und auch dieses basiert entweder explizit oder mindestens implizit immer auf TLO-Kategorien. Diese ontologische Relevanz besteht umso mehr, als die Metamodelle von EA Frameworks wie TOGAF zunehmend formalisiert werden,³³³ und selbst ältere EA Frameworks wie GERAM bereits über eine explizite ontologi-

³¹⁷ Vgl. hierzu Opdahl (2007, 2010, 2011), Opdahl/Berio (2007) sowie Grangel et al. (2010).

³¹⁸ Vgl. Opdahl (2007) sowie Y. Lin (2008).

³¹⁹ Vgl. Opdahl (2010).

³²⁰ Vgl. hierzu Raskin/Pan (2005) sowie Tripathi/Babaie (2008).

³²¹ Vgl. Krisnadhi et al. (2015), die auch explizit von einer TLO-Referenz absehen.

³²² Vgl. Tzitzikas et al. (2013).

³²³ Vgl. Doerr (2003) sowie Crofts et al. (2006).

³²⁴ Vgl. Goossenaerts/Pelletier (2002); vgl. zur Kritik des PSIM *Top-level* Ceusters/Smith (2007).

³²⁵ Vgl. M.G. Bennett (2014b); vgl. bzgl. des *EDM Council Semantics Repository* M.G. Bennett (2010).

³²⁶ Vgl. Baclawski et al. (2003).

³²⁷ Vgl. hierzu Rector/Rogers (2004). Richtiger ist diese mit ihrem domänenbezogenen Status als *GALEN Upper Domain Ontology* bezeichnet, wie es bei Rector/Rogers (2005) auch geschieht.

³²⁸ Die *PSI Upper-level Ontology* von Ermolayev et al. bezieht sich auf ein MAS-basiertes Ontologiesystem, das im Rahmen ihrer *Productivity Simulation Initiative* (PSI) auf die Analyse und Steigerung der Produktivität des *Dynamic Engineering Design Process* (DEDP) zielt, vgl. Ermolayev et al. (2005, 2006). Diese Analysen werden durch ein ontologiebasiertes Softwaretool gestützt, das im Rahmen des PSI-Projekts entwickelt werden soll, vgl. Ermolayev et al. (2005). Die *PSI Upper-level Ontology* setzt dabei auf DOLCE auf, der aufgrund ihres Possibilismus der Vorzug gegenüber SUMO gegeben wird, vgl. Ermolayev et al. (2008); vgl. hierzu auch Keberle et al. (2007).

³²⁹ Vgl. Ameri/Dutta (2006).

³³⁰ Vgl. Kabilan et al. (2007).

³³¹ Zur Klassenhierarchie der SOA-O der Open Group (2010) gehören unter anderem *System* und *Element*, *Ereignisse* sowie *ServiceContract* oder *ServiceInterface* als spezielle serviceorientierte Klassen.

³³² Vgl. G. Colombo et al. (2007).

³³³ Vgl. A. Gerber et al. (2010) bzw. Desfray/Raymond (2014); *EA Frameworks* stellen *Blueprints* zur EA-Entwicklung bzw. -Implementierung dar, vgl. Goikoetxea (2007: 3) sowie Perroud/Inversini (2013: 10).

sche Theorie verfügen. Wenn sich etwa die *IDEAS Ontology* explizit als extensionale 4D-basierte "*higher-order ontology*" positioniert, und in ihren metaphysischen Grundlagen dabei auf der BORO-TLO aufbaut, wird die TLO-Relevanz solcher Ansätze unmittelbar deutlich. Diese besteht in gleicher unmittelbarer Weise, wenn Methoden, Techniken bzw. Tools zum Einsatz kommen, etwa bei ereigniszentrischen CEP- bzw. SCEP-Engines, die es im Sinne von ED-BPM auf Basis von ED-SOA mit ereigniszentrischen BPMN-Engines zu kombinieren gilt. In solchen und anderen Fällen wird deutlich, dass die verschiedensten TLO-Ansätze bzw. *Top-level* einzelner Ontologien nicht isoliert behandelt werden können, indem sie Bestandteile semantisch interoperabler Systeme bilden. Im SEA-Zeichen steht außer Zweifel, dass alles zu orchestrieren ist. Indessen sind keine Bemühungen erkennbar, die TLO-Entwicklung, wie sie etwa speziell im Kontext des *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) konzipiert wird,³³⁴ mit dem *Top-level* etwa der BPMN Ontology von Rospocher et al. (2014) oder jenen der diversen ontologischen SOA-Ansätze abzustimmen.

Es sollte außer Frage stehen, dass eine durchgängige semantische Interoperabilität auf diese Weise nicht zu erreichen ist, und dass gerade die Nichtexistenz eines universalen "*general world view*" in praxi wesentliche Probleme impliziert. Diese Probleme sucht ein weiterer, theoretisch fundierter Ansatz insgesamt zu lösen, nämlich die *IFF Foundation Ontology* im *Information Flow Framework* (IFF) R.E. Kents,³³⁵ das auf dem *Information Flow* Barwise/Seligmans (1997) aufbaut.³³⁶ Doch auch bei diesem Ansatz ist festzustellen, dass er insgesamt betrachtet in keiner Weise an das Niveau der eigentlichen unter (i) genannten echten TLO-Theorieanwärtler heranreichen kann. Daneben kommen im Bereich der Methoden- und Aufgaben- bzw. Funktionsontologien zahlreiche weitere infrastrukturelle Ontologieansätze hinzu, die nicht auf die oberste Ontologieebene, also auf generische TLO-Ansätze referenzieren, sondern vielmehr die fundamentalen Kategorien für sich bestimmen. Das gilt etwa für solche Ontologieansätze, die auf die Kopplung von Wissensbasen bzw. auf den Wissensaustausch zielen: das beginnt historisch gesehen insbesondere mit dem *Knowledge Interchange Format* (KIF),³³⁷ anhand dessen die *Top-level* Problematik auch nochmals kurz bei dieser Art von Ontologien illustriert sei: analog der linguistischen Ontologiekonzeptionen der KIF-Entwickler finden sich als KIF-Kategorien allein *Objekte* sowie *Funktionen* und *Relationen* als deren Wechselbeziehungen.³³⁸ Demgegenüber gibt es weder eine Ereigniskategorie noch ist von Ereignissen überhaupt die Rede. Ein derart konzipierter *Top-level* ist für die Informatik indessen gänzlich unbrauchbar, indem jede ED-SOA kompatible infrastrukturelle Ontologiekonzeption an genau dieser Ereigniskategorie

³³⁴ Vgl. etwa Teymourian et al. (2010) sowie Paschke/Vincent/Springer (2011).

³³⁵ Vgl. R.E. Kent (2006).

³³⁶ Vgl. hierzu auch R.E. Kent (1999).

³³⁷ In die KIF-Entwicklung sind neben Genesereth/Fikes (1992) AI-Veteranen wie J. McCarthy, P. Hayes oder D. Bobrow sowie weitere bekannte AI-Forscher involviert, etwa R. Brachman, T. Gruber, V. Lifschitz, P. Norvig oder R. Patil. KIF weist dabei spezifische Subsets wie das *Legal Knowledge Interchange Format* (LKIF) auf, vgl. hierzu T.F. Gordon (2010).

³³⁸ Vgl. Genesereth/Fikes (1992).

anzusetzen hat. Das ist gleichsam für eine sachgerechte Konzeption von *Scientific Ontologies* zu fordern. Darüber hinaus ist der KIF-Ansatz in Bezug auf die KIF-Objektkategorie *an sich* grundsätzlich defekt. Denn die KIF-Objektkategorie ist nicht kategorial ausdifferenziert, wie es indessen die TLO-Diktion verlangt. Das führt jedoch zu überaus problematischen Konsequenzen, wenn KIF-Objekte gleichzeitig nach Lesart der Ontologieverständnisse Genesereth/Nilssons (1987) bzw. Grubers (1993, 1995) *alles* repräsentieren können.³³⁹ Konkret ist damit das entscheidende Inkommensurabilitätsproblem systematisch angelegt. Analoges betrifft modernere Ansätze wie die *Open Knowledge Base Connectivity* (OKBC) *Ontology*. Integrative Funktionen besitzt daneben die *ABC Ontology*,³⁴⁰ die auf die Integration spezifischer Metadatenmodelle abzielt, oder die *PROTo ONtology* (PROTON) des OntoText Lab,³⁴¹ die eine *Lightweight-Ontologie* verkörpert und dabei insbesondere auf die semantische Annotation, Indizierung und Wiederauffindung von Dokumenten zielt.

Wiederum anders akzentuierte, jedoch genauso integrative "*cross-domain ontologies*" bilden SW-Ansätze wie die *DBpedia Ontology* (DBPO),³⁴² deren Alternative in YAGO besteht.^{343, 344} Schon all diese exemplarisch bemühten integrativen Ontologieansätze besitzen einen jeweils gänzlich anders gearteten *Top-level*, doch endet die Inkommensurabilitätsproblematik integrativer Methoden- und Aufgaben- bzw. Funktionsontologien keineswegs hier. Vielmehr betrifft sie auch etwa solche Funktionsontologien, die tatsächlich bereits eine spezifische TLO-Referenz aufweisen, jedoch mit solchen infrastrukturellen Ontologien wechselwirken, bei denen dies nicht der Fall ist. Bspw. referenziert die *Enterprise Information Architecture Ontology* (EIAOnt) bei Ahmad/Odeh (2014) auf die BWW-TLO oder die *W3C SSN Sensor Ontology* auf die DUL-Variante von DOLCE, während beide in komplexen Anwendungs- und Integrationsszenarien mit einer Reihe anderer Methoden- und Aufgaben- bzw. Funktionsontologien zusammenspielen, die diese TLO-Referenz nicht aufweisen, während sie einen eigenen, jedoch dazu kaum kompatiblen *Top-level* besitzen.

Ad (iv): Anwendungsontologien mit eigenem *Top-level* als vermeintlicher Ersatz zur TLO-Referenz verschärfen das Inkommensurabilitätsproblem ganz erheblich, da dieser dann gar nicht mehr im Bereich der Referenzontologien zu finden ist. Entsprechend gibt es auch keine Referenz auf geprüfte bzw. bewährte Ontologien, sondern vielmehr Eigenentwicklungen bei denen davon ausgegangen werden kann, dass sie vermutlich nicht sachge-

³³⁹ Vgl. hierzu Genesereth/Fikes (1992: 13): »A *universe of discourse* is the set of all objects presumed or hypothesized to exist in the world. The notion of *object* used here is quite broad. Objects can be concrete (e.g. a specific carbon atom, Confucius, the Sun) or abstract (e.g. the number 2, the set of all integers, the concept of justice). Objects can be primitive or composite (e.g. a circuit that consists of many subcircuits). Objects can even be fictional (e.g. a unicorn, Sherlock Holmes)«, Hvh. im Orig.

³⁴⁰ Vgl. hierzu Lagoze/Hunter (2001); bei Astrova et al. (2014) findet sie im *CEP-Kontext* Anwendung.

³⁴¹ Vgl. Casellas et al. (2005) sowie P. Jain et al. (2011); bei PROTON handelt es sich um eine TLO-Konzeption, deren Vorläufer die *Base Upper-Level Ontology* (BULO) bildet, vgl. etwa Terziev et al. (2005).

³⁴² Vgl. hierzu Vaidya et al. (2015); vgl. zur DBPO-Referenz auf die DOLCE-TLO Gangemi/Nuzzolese et al. (2012) sowie Paulheim et al. (2015).

³⁴³ Vgl. Suchanek et al. (2007, 2008). Dabei handelt es sich um eine *Lightweight-Ontologie*, die automatisch aus Wikipedia und WordNet abgeleitet wird.

³⁴⁴ Neben dem weiter unten genannten *WordNet* sind beide im Zuge des *IBM Watson DeepQA Project* zum Einsatz gekommen, vgl. Ferrucci et al. (2010).

recht konzipiert sind. Denn die sachgerechte Konzeption des Top-levels einschließlich sämtlicher meta-ontologischer Aspekte ist keine einfache Angelegenheit, sondern setzt – wie die unter (i) genannten TLO-Ansätze zeigen – jahrelange Expertise voraus. Insofern ist die Verlagerung von Top-level Aspekten auf die Ebene der Anwendungsontologien die denkbar schlechteste aller praktischen Lösungen. Indem es sich nicht um Referenzontologien handelt, können solche Ansätze der individuellen Anwendungspraxis mit eigenem *Top-level* auch nicht benannt werden. Aber natürlich gibt es auch diese, womit sich auch in diesem vierten Fall die Vorteile einer strikten TLO-Referenz entsprechend deutlich zeigen.

Ad (v): Schließlich setzen auch linguistische bzw. lexikalische Ontologien, die in der Künstlichen Intelligenz überall dort Verwendung finden, wo natürliche Sprache im Spiel ist, einen *Top-level* voraus. Mindestens besteht dieser in den impliziten Annahmen der Alltagssprache. Allerdings wird in den meisten Fällen zumindest erkannt, dass ein linguistischer *Top-level*, der rein auf sprachlichen Kategorien gründet, keine adäquate Option darstellt. Daher bauen linguistische bzw. lexikalische Ontologien mit eigenem *Top-level* zunehmend auf einer mehr oder weniger oberflächlich reflektierten philosophischen Fundierung auf. Somit kommen in der überaus kontrovers geführten fundamentalen Ontologiedebatte noch die zahlreichen Ansätze zum *Natural Language Understanding* (NLU) hinzu.³⁴⁵ Diese Ansätze beginnen im Rahmen der bei Minsky verfassten Dissertation Bobrows (1964) mit einer in Lisp programmierten NLU-Lösung. Diese ist, wie auch der ebenfalls am MIT durch Weizenbaum (1966) entwickelte erste populäre Chatbot *ELIZA* noch nicht ontologiegestützt,³⁴⁶ was selbst für dadurch inspirierte Internet-Varianten wie den in AIML implementierten Chatbot *A.L.I.C.E.* gilt.³⁴⁷ Indessen sind jüngere Chatbots wie *OntBot* ontologiebasiert,³⁴⁸ und in diese Richtung wird sich auch diese Disziplin weiterentwickeln.³⁴⁹

Wenn dabei außer Frage steht, dass solche Chatbots mehr und mehr in *Cyber-physische Systeme* (CPS) Einzug halten, muss auch ihre Ontologie CPSS-adäquat sein, was indessen bislang kaum bedacht wird. Daraus folgt, dass eine universalisierte Chatbot-Ontologie ebenso dem Kriterium der CPSS-Adäquanz zu entsprechen hat. Indessen beschränken sich die NLU-Ansätze natürlich keineswegs auf Chatbots, sondern zielen ungeachtet einiger früherer Vorläuferarbeiten insbesondere seit den 1990er Jahren auf die ontologiegestützte Textanalyse sowie die Maschinenübersetzung: Es geht um das Feld des *Ontology-Based Text Mining* (OBTM), das für Zwecke der Textanalyse genauso auf dem *Natural Language Processing* (NLP) aufbaut wie die Disziplin der *Knowledge-Based Machine Translation* (KBMT), also die ontologiebasierte Maschinenübersetzung.³⁵⁰ Auf OBTM-Applikationen

³⁴⁵ Vgl. Trappl et al. (1982), die die Kategorien im Rekurs auf Wittgensteins (1921) *Tractatus* diskutieren.

³⁴⁶ *ELIZA* wurde durch Weizenbaum (1966) für den IBM 7094 Mainframe in MAD-SLIP programmiert; SLIP wurde als listenverarbeitende Programmiersprache durch Weizenbaum zunächst als Extension zu Fortran entwickelt, und später in MAD bzw. ALGOL eingebunden.

³⁴⁷ Vgl. Wallace (2009).

³⁴⁸ Vgl. Al-Zubaide/Issa (2011).

³⁴⁹ Vgl. etwa Augello et al. (2014).

³⁵⁰ Vgl. dazu Knight/Luk (1994).

zielt etwa die linguistische *Intelligent Text Processing (ITP) Ontologie* Dahlgrens,³⁵¹ das IBM-Projekt *LILOG*,³⁵² oder etwa das jüngere *OnTology-based Text mining framewOrk (OTTO)*.³⁵³ Zu den KBMT-Ontologien gehören u.a. *ONTOS*,³⁵⁴ das *Penman Upper Model* von Bateman et al.,³⁵⁵ das *Generalized Upper Model (GUM)* als dessen multilinguale Weiterentwicklung,^{356,357} *Pangloss* bzw. *Sensus*, die *Mikrokosmos Ontology*,³⁵⁸ sowie *WordNet (Cognitive Science Laboratory)*,^{359,360,361} All diese linguistischen Ontologien weisen einen *Top-level* auf, bei dem indes allein der Gegenstand mit jenem der echten TLO-Ansätze identisch ist.³⁶² Während es indessen hier im Zeichen der *konzeptuellen Modellierung* unmittelbar um die Modellierung realer Domänen geht, setzen OBTM bzw. KBMT primär an der Sprache an. Dabei geht es parallel zur *Ordinary Language Philosophy (OLP)* um Alltagssprache und damit ontologisch um das, was dem unzureichenden Standpunkt des *Common Sense* wie dem linguistischen Ansatzpunkt zum *Ontology Engineering (OE)* genügt.

Mit Blick auf den *Top-level* im NLU-Paradigma könnte man auf den ersten Blick geneigt sein zu glauben, dass sich McCarthys (1995) "*general world view*" mit Carlson/Nirenburg (1990) als "*World Modeling for NLP*" verstehen ließe. Allerdings würde man dann übersehen, dass man es bei IoX-Systemen keineswegs bei der Semantik belassen kann, wenn Computer zu *cyber-physischen "Reality Machines"* avancieren: Wie in allen anderen Fällen verwachsen KBMT-Funktionalitäten zunehmend mit anderen ontologiegestützten Diensten. Das lässt sich anhand des weiter unten erörterten U-PLM-Referenzszenarios illustrieren. Darüber hinaus ist es gängig, dass das Frontend von IoX-Systemen in Landessprache gehalten ist; etwa wenn erklärungsbedürftige Produkte in Konfiguratoren im Zuge von Losgröße-1-Szenarien der *Smart Factory* offeriert werden. Kommen demgegenüber KBMT-Funktionalitäten in Verbindung mit geographischen GIS-Funktionalitäten zum Einsatz, wird exaktes physikalisches Wissen genauso erforderlich wie im Feld technowissenschaftlicher Übersetzungen. Die Position, wonach für OBTM- bzw. KBMT-Applikationen der *Common Sense*, also die Alltagsrationalität ausreichend ist, hat sich mit dem cyber-physischen *Internet of Everything (IoX)* als *Real World Internet (RWI)* offensicht-

³⁵¹ Vgl. Dahlgren et al. (1991), Dahlgren (1995); ferner Dahlgren/McDowell (1986) und Dahlgren (1988).

³⁵² Vgl. E. Lang (1991).

³⁵³ Vgl. zu *OTTO* Bloehdorn et al. (2005); *OTTO* baut auf der *Karlsruhe Ontology and Semantic Web Tool Suite (KAON)* auf.

³⁵⁴ Vgl. Carlson/Nirenburg (1990).

³⁵⁵ Vgl. Bateman (1990) sowie Bateman/Kasper et al. (1990).

³⁵⁶ Vgl. hierzu Bateman/Henschel/Rinaldi (1995), Bateman/Magnini/Fabris (1995) sowie Bateman (2010a, 2010b). *GUM* verkörpert einen aufgaben- und domänenunabhängigen linguistischen Ansatz, vgl. Bateman/Henschel/Rinaldi (1995: 1), bzw. eine *interface ontology*, vgl. Bateman/Henschel/Rinaldi (1995: 5).

³⁵⁷ Vgl. hierzu ergänzend Mostefai/Bouras (2006), Ghidini et al. (2008) sowie Hois/Kutz (2008).

³⁵⁸ Vgl. Mahesh (1996).

³⁵⁹ Vgl. G.A. Miller et al. (1990) sowie G.A. Miller (1995).

³⁶⁰ Es bestehen u.a. Mappings zwischen *EuroWordnet* und der *Upper Cyc Ontology (UCO)*, vgl. Kiryakov/Simov (2000); zwischen *WordNet* und *DOLCE*, vgl. Gangemi/Guarino/Oltramari (2001) sowie Gangemi/Guarino et al. (2003); zwischen *WordNet* und *YAGO*, vgl. Suchanek et al. (2008).

³⁶¹ Vgl. hierzu ergänzend Gangemi/Guarino/Oltramari (2001) sowie Fellbaum (2010).

³⁶² Indes gibt es auch linguistische Ontologien, die eine TLO-Referenz aufweisen, etwa *GOLD* auf *SUMO*, vgl. Farrar/Langendoen (2003).

lich überholt. Echte Intelligenz in "*nontoy worlds*" erfordert vielmehr nicht nur den Einbezug von *Scientific Ontologies* in solche Anwendungen, sondern vor allem auch eine integrierte Ontologiearchitektur mitsamt einer einheitlichen TLO-Referenz aller Ontologien.

Indem es mit Blick auf die Integrationszwecke der Informatik wie auch in kosmologischer Hinsicht letztlich nur *ein "unitary model of the world"* bzw. nur *einen "general world view"* geben kann, der ihren universalen Anforderungen wie allen Gesichtspunkten universaler Ontologie entspricht, kann es letztlich auch nur *eine* tatsächlich adäquate *Top-level Ontologie* geben. Es steht außer Frage, dass es auf Dauer kein Nebeneinander der oben genannten wie weiterer TLO-Entwürfe geben kann. Das gilt umso mehr, als diese auch noch jeweils auf ihre Weise grundsätzlich defizitär bzw. defekt sind. Entsprechend sollte in der Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter eine vordringliche Aufgabe der Informatik bestehen, da ansonsten die Idee eines tatsächlich intelligenten wie stabilen *Internet of Everything* bzw. *Smart Web* in weite Ferne rücken muss. Mit dem universalen Zugang zur Ontologie der Informatik können für sie nur solche TLO-Ansätze von Relevanz sein, die *de facto* CPSS- bzw. IoX-adäquat sind. Eine solche Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter wird indessen erst dann in sachgerechter Weise möglich, wenn im Sinne des *Requirements Engineering* (RE) eine einwandfreie Anforderungsspezifikation vorliegt. Insofern der Dreh- und Angelpunkt der gesamten Ontologiediskussion in der fundamentalen Spezifikation IoX- bzw. CPSS-adäquater Ontologien resp. Top-level Ontologien liegt, besteht in ihrer Bestimmung das Ziel der vorliegenden Abhandlung: Auf Grundlage dieses Resultats lässt sich eine Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter genauso problemlos vornehmen wie ein rigoroser TLO-Neuentwurf, der tatsächlich allen Anforderungen der CPSS/SEA- resp. MAS/CAS-Adäquanz gerecht werden kann.

Da ein universales *Requirements Engineering* (RE) mitsamt einer einwandfreien Anforderungsspezifikation für eine CPSS- bzw. IoX-adäquate Top-level Ontologie als universale Ontologie kein einfach entscheidbares Unterfangen darstellt, bietet sich die Zugrundelegung eines Referenzszenarios an. Dieses muss jedoch genauso universal sein wie der Anwendungsbereich universaler Ontologie; in gewisser Weise muss also das Kriterium universaler Ontologie in das Referenzszenario inkorporiert sein. Wie in Pkt. 1.5 in allen Einzelheiten dargelegt, lässt sich ein solch universales Referenzszenario tatsächlich identifizieren; es ist in *Closed-loop U-PLM-Systemen* gegeben, die sich als *IoX-Totalmodell* prinzipiell stellvertretend für sämtliche ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarien der Informatik heranziehen lassen. PLM-Systeme gelangen in sämtlichen produzierenden Industrien zum Einsatz; typische PLM-Industrien sind dabei vor allem solche, für die komplexe Produktentwicklungs- bzw. Innovationsprozesse einerseits und gleichermaßen komplexe Produktrealisationsprozesse andererseits kennzeichnend sind. Hierzu gehören etwa die Luft- und Raumfahrt, die Medizintechnik, die Hightech- und Elektronikindustrie, die Automobilindustrie oder der Maschinenbau. IoT-Produkte reichen von automatisierten Fahrzeugen oder intelligenten Werkzeugmaschinen über einfachste Wearables bis etwa in

die Agrikultur, in der IoX-Szenarien etwa auf Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren basieren. Bei ihnen geht es um *Systemprodukte*, die *IoX-Produkte* bilden, um *allgegenwärtige IoX-Prozesse* wie um vernetzte *IoX-Ressourcen*, die mit IoX-Plattformen in Echtzeit Daten austauschen, was im Sinne der charakteristischen IoX-PLM-Integration als *Ubiquitous PLM* (U-PLM) bezeichnet wird.³⁶³ Auf Basis dieser Systeme werden Produktentwicklungs- bzw. Innovationsprozesse möglich, die auf den operativen Echtzeitdaten bereits beim Kunden eingesetzter Produktversionen bzw. Varianten aufbauen, womit Produktentwicklungs- bzw. Innovationszyklen in sich geschlossen sind (*Closed-loop PLM*).³⁶⁴

Indem solche *Closed-loop U-PLM-Systeme* etwa für Service- bzw. Wartungszwecke gleichzeitig auf ein *Realtime IoX-Monitoring* zielen, wird deutlich,³⁶⁵ dass es bei ihnen um die integrative Steuerung des gesamten Produktlebenszyklus (PLC) geht. Dazu gehört das *Beginning of Life* (BOL), das vom *Requirements Engineering* bis zur Produktrealisierung in der *Smart Factory* reicht. Indem die BOL-Phase konsequent als *prozessualer Lebenszyklus* zu konzipieren ist, sind damit dezidierte Herausforderungen für die *Metaphysics of Production* impliziert, wie sie mit Koskela/Kagioglou (2005) in Pkt. 7.2 dargelegt werden. Mit einer solchen Position wird unterstrichen, dass es in der Informatik gewiss nicht allein um wissenschaftliche, sondern immer um *techno-wissenschaftliche Metaphysik* geht. Mit Blick auf das *Middle of Life* (MOL) ist herauszustellen, dass physische Produkte als *Smart Objects* vermittels ihrer PEID-Natur (Product Embedded Information Device) im Zeichen maschineller Agenten über Intelligenz verfügen, womit eine *cyber-physische Metaphysik* den Cartesischen Dualismus für techno-wissenschaftliche Zwecke bzw. die Technopraxis genauso *ad acta* zu legen hat wie die klassische Subjekt-Objekt-Dichotomie. Solche intelligenten sensorbasierten PEID-Produkte speisen in der Nutzungsphase beim Kunden permanent Nutzungsdaten in *Ubiquitous PLM-Systeme* bzw. vorgeschaltete IoT-Plattformen ein,³⁶⁶ um Wartungs- bzw. Serviceaspekte zu optimieren bzw. die Datenerhebung auf Basis von *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) zu nutzen. Dieses Tracking ist von eminenter Bedeutung für Produktmodifikationen wie für das Produktengineering nachfolgender PLM-Zyklen. Solche PEID-Technologien finden sich bereits in zahlreichen Investitions- und langlebigen Gebrauchsgütern, und ihre weitere große Verbreitung ist absehbar. Schließlich gehört dazu auch das *End of Life* (EOL), das auf Nachhaltigkeitsaspekte wie das Recycling abstellt.³⁶⁷ Insgesamt sind alle BOL-, MOL- und EOL-Teilphasen in allen Richtungen zu koppeln.

³⁶³ D. Romero/Vernadat (2016) sprechen alternativ von *IoT enabled PLM*; vgl. dazu auch Cai et al. (2014).

³⁶⁴ Vgl. H.-B. Jun/Shin et al. (2007) und Yoo et al. (2016a); vgl. ergänzend Holler et al. (2016).

³⁶⁵ Vgl. etwa Thoben/Lewandowski (2016).

³⁶⁶ Vgl. hierzu J. Lee (2001), Anke et al. (2008), H. Cao et al. (2009), J. Holmström et al. (2009) sowie X. Yang/Moore/Chong (2009).

³⁶⁷ Die EOL-Phase ist insofern mit den anderen PLM-Phasen wie den BOL-Phasen unmittelbar verknüpft, als der Nachhaltigkeitsaspekt des PLM etwa in Bezug auf Recycling und Entsorgung von Produkten über eine ausgefeilte Produktmodularisierung realisiert wird, vgl. hierzu etwa Halstenberg et al. (2015).

Bei *Closed-loop U-PLM-Systemen* handelt es sich insofern um ein *IoX-totales Referenzszenario*, als nicht nur alle IoX-Facetten, sondern auch sämtliche Ontologiefacetten abgedeckt werden. Diese reichen von der SOA-basierten *Enterprise Architecture* über CPS-, IoT-, bzw. IoS-Aspekte bis zur *Smart Factory*, für die es die produktbezogene Integrationsplattform darstellt. Das gilt mit Blick auf das Variantenmanagement wie auf die Produktmodularisierung, denen mit der Idee der Losgröße 1, also *einer Variante pro Kunde*, ein elementares Moment der *Smart Factory* zukommt. Zumeist wird übersehen, dass es bei der Losgröße 1 nicht um Unikate, sondern um *Varianten* geht, die allein im Zeichen des in Pkt. 2.5 behandelten *PPR-Frameworks* zu behandeln sind. Das impliziert wiederum die Notwendigkeit zur SEA-basierten Datenintegration, die sich auf PPR-Basis vollzieht wenn es gilt, alle Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten der *Smart Factory* in integrativer Weise aufeinander zu beziehen. Indem darin ein Kernaspekt der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) besteht, sollte jede PLM-Ontologie auf die *Enterprise Ontology* (EO) referenzieren, da allein in dieser die integrative Kernontologie bestehen kann. *Closed-loop U-PLM-Systeme* sind damit nur vordergründig lediglich auf den Produktlebenszyklus bzw. im PDM-Sinne auf Produktdaten bezogen; tatsächlich geht es um alle PPR-Daten bzw. sämtliche PPR-bezogene Ontologien, womit sie im Kontext der BOL-, MOL- und EOL-Teilphasen die PPR-Integrationsplattform darstellen. Für diese ist der Aspekt der konzeptuellen Modellierung (CM) genauso entscheidend wie jener der damit unmittelbar zusammenhängenden Wissensrepräsentation (KR). Als PPR-bezogene Integrationsplattform mündet das U-PLM-Referenzszenario direkt in der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) als Integrationsparadigma.³⁶⁸ Somit illustriert dieses IoX-bezogene Referenzszenario sämtliche Anforderungen, die das SEA-basierte *Real-Time Enterprise* (RTE) impliziert.

Entsprechend wird bereits anhand des U-PLM-Referenzszenarios deutlich, dass es bei der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* nicht allein um die fundamentale TLO-Referenz geht, sondern mit Blick auf das IoX-basierte *Real-Time Enterprise* (RTE) genauso die integrative EO-Referenz im Fokus stehen muss. Mit Produktentwicklungs- bzw. Innovationsprozessen inkorporieren *Closed-loop U-PLM-Systeme* darüber hinaus den wesentlichen Ontologietypus der *Scientific Ontology*, wie er bereits bei Merrill (2007) im Kontext der Entwicklung pharmazeutischer Produkte thematisiert wird. Eine Vielzahl anderer PLM-relevanter Industrien wie die Luft- und Raumfahrt, die Biotechnologie oder die chemische Prozessindustrie macht das Erfordernis von exaktem objektivem Wissen bzw. von *Scientific Ontologies* genauso offensichtlich. Vor diesem Hintergrund zeigen *Closed-loop U-PLM-Systeme* in ihrer Funktion als Referenzszenario ein weiteres Erfordernis auf, nämlich die prinzipiell zwingende ontologische Integration von Informations- und Wissenssystemen (IS/KS). Mit dieser *IS/KS-Kombination* steht außer Frage, dass es keine zwei

³⁶⁸ Vgl. hierzu auch Marconnet et al. (2014: 709): »The actual difficulties in product / process design are linked to information exchange at the right time for the right person, often not exploited because of the heterogeneity of information data. The reuse of knowledge in a Product Lifecycle Management (PLM) is difficult without using a rationalization approach and methodology«.

IoX-Ontologiekonzepte geben kann, also nicht eines, das im Bereich IoX-basierter Wissenssysteme auf *Scientific Ontologies* zielt, und eines, das im Bereich von *Ontology-Driven Information Systems* (ODIS) Einsatz findet. Vielmehr läuft das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) auf Informations- wie auf Wissenssysteme hinaus, womit diese *IS/KS-Kombination* auch als Anforderung vorauszusetzen ist.

Natürlich kann es für das *Internet of Everything* nur genau *einen "general world view"* geben, wenn es gilt, komplexe IoX-Systeme bei semantisch vollumfänglicher Interoperabilität zu integrieren.³⁶⁹ Darüber hinaus ist der bisherige strikte Gegensatz zwischen Ontologiekonzepten, die sich einerseits streng allein auf das Realfaktische der aktuellen Welt beziehen, oder andererseits etwa für Innovationszwecke oder Planungsszenarien auf Basis möglicher Welten operieren, notwendig aufzuheben, was die Forderung nach einem einheitlichen Ontologiebegriff unterstreicht. Entsprechend wird deutlich, dass jede getrennte Betrachtung ontologischer IS- bzw. KS-Anwendungen an den eigentlichen elementaren Ontologieproblemen wie an der entscheidenden Frage, wie sich eine integrative Ontologiekonzeption bewerkstelligen lässt, vorbeigeht. Gegenwärtig besteht weder ein *universales Ontologieverständnis* noch eine *integrierte Ontologiekonzeption*, die gleichzeitig den multiplen Anwendungen einer solchen IS/KS-Kombination gerecht werden können. Ferner wird gerade im Zuge dieser *IS/KS-Kombination* des Referenzszenarios auch die Doppelfunktion deutlich, die die *Top-level Ontologie* als fundamentales Weltmodell besitzt. Denn sie stellt die oberste Referenzebene nicht nur im AI-Sinne für die Informations- bzw. Datenintegration sowie die Wissensrepräsentation (KR). Vielmehr besitzt sie eine maßgebliche Integrationsfunktion, indem sie bereits im Zuge der *konzeptuellen Modellierung* (CM) aller Systeme zum Einsatz kommt. Dabei bildet sie sowohl den Referenzpunkt für Modellierungssprachen und Notationen, für den gesamten Zuschnitt der *Enterprise Architecture* (EA), wie auch für jenen des *Computing* insgesamt.³⁷⁰ In diesem kombinierten Sinne der CM- bzw. AI-Referenz integriert sie in ihrer Doppelfunktion die CM- und die AI-Sphäre, wie es mit Blick auf die fundamentalen Strukturen sämtlicher cyber-physischer Diskurswelten bzw. Diskursuniversen (UoD) nicht anders sinnvoll wäre. Das betrifft insbesondere den bisher regelmäßig vernachlässigten Aspekt der Realitätsrepräsentation. Auch im Zuge des U-PLM-Referenzszenarios wird bereits in umfassender Weise auf die TLO-Ansätze

³⁶⁹ Mit einer *semantisch vollumfänglichen Interoperabilität* ist gemeint, dass sich in einem ontologischen Integrationsszenario jeder Ontologietypus und jede Ontologieart miteinander wie untereinander *ad hoc* verschalten lässt und mögliche ontologische Konflikte im Zuge einer einheitlichen TLO/EO-Referenz auf null reduziert sind. Dabei vollziehen sich solche Integrationsszenarien regelmäßig applikations- wie organisationsübergreifend. Entsprechend rückt hier die *Enterprise Architecture* (EA) in den Fokus, die dabei im Zeichen von *Extended Enterprise Applications* (EEA) steht. Messbar wird diese anhand von Rahmenwerken wie dem *Framework for Enterprise Interoperability* (FEI) sowie Reifegradmodellen (CEN/ISO 11354), anhand derer sich Interoperabilitätsniveaus bestimmen lassen, vgl. hierzu Ullberg et al. (2009) sowie D. Chen (2010).

³⁷⁰ Vgl. exemplarisch die *Unified Ontology of Cloud Computing* bei Youseff et al. (2008), bei der "*Ontologie*" im Sinne der *konzeptuellen Modellierung* der Domäne bzw. des Diskursuniversums des *Cloud Computing* zugerechnet wird, um auf dieser Basis zu funktionalen bzw. semantischen Modellen zu gelangen.

rekurriert, wobei diese für Zwecke der Integration von PLM-Systemen allgemein als notwendig erachtet werden.³⁷¹

Wie insgesamt, ist auch in Bezug auf *Closed-loop U-PLM-Systeme* als Referenzszenario noch völlig ungeklärt, in welchem TLO-Theorieanwärter die tatsächlich IoX-adäquate *Top-level Ontologie* besteht. Bisher wird dabei wahlweise auf die verschiedensten TLO-Ansätze verwiesen; systematisch untersucht wurde diese Frage im Zeichen einer umfassenden TLO-Explikation jedoch noch nicht. Obschon die Notwendigkeit einer geeigneten TLO-Referenz im U-PLM-Referenzszenario im Allgemeinen und mit der *Smart Factory* im Besonderen erkannt wird, gibt es im Bereich PLM-relevanter Ontologien heute allein Teillösungen. Indem es sich bei *U-PLM-Systemen* um ein universelles, komplexes wie hinreichend diffiziles Integrationsszenario handelt, das sich auf alle Kernsysteme gängiger Integrationsszenarien komplexer IoX-Systeme erstreckt, werden die Probleme einer fehlenden Referenz auf fundamentale bzw. integrierende Ontologien an ihm gut deutlich. Da zum einen die CPS- bzw. CPPS-Aspekte, zum anderen mit dem PPR-Framework die SEA-Aspekte in diesem Referenzszenario wie bei allen IoX-Systemen von primärer Relevanz sind, steht es außer Frage, dass eine IoX-adäquate *Top-level Ontologie* zum einen mit den fundamentalen Strukturen der Diskursuniversen mitsamt der Realitätsaspekte des eingehenden Diskurses der *Metaphysik*, zum anderen parallel dazu genauso des Diskurses der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) bedarf. Beide Diskurse sind dabei vor dem Hintergrund der notwendigen Integration Cyber-physischer Systeme integrativ zu führen; bei IoX-Systemen als *cyber-physische "Reality Machines"* gehören sie unabdingbar zusammen. Dass die Ontologiedebatte auf eine andere Ebene zu heben ist, wird daran deutlich, dass die TLO-Diskussion bisher weder auf metaphysischer Ebene noch auf der SEA-Ebene geführt wird. Auch der MAS/CAS-Zusammenhang wird in keinem der bestehenden TLO-Ansätze hinreichend reflektiert; der ganz überwiegenden Zahl der TLO-Ansätze sind Multiagentensysteme mitsamt der für sie erforderlichen Ontologiearchitektur fremd, was für moderne AI-Systeme unhaltbar ist. Insgesamt gehen sie damit an den eigentlich relevanten Fragen vollständig vorbei, während die gerade elementaren Ontologieprobleme ausgeklammert werden. Richtig intelligente wie ontologisch stabile AI-Systeme sind auf diese Weise nicht realisierbar. Sie erfordern eine andere Ontologiearchitektur.

Alle bisherigen TLO-Theorieanwärter entsprechen weder einem tatsächlich universalen Ontologieverständnis noch liegt ihnen eine integrierte Ontologiekonzeption oder etwa eine Mehrweltenontologie-Architektur zugrunde. Entsprechend ist ihr elementares Problem darin zu sehen, dass die TLO-Theorieanwärter in allen relevanten Fragen um die Spezifikation meta-ontologischer Kriterien im Sinne von "*Entweder-oder-Entscheidungen*" optieren. Sie sind nicht auf ein systematisch ineinandergreifendes "*Sowohl-als-auch*" ausgelegt,

³⁷¹ Vgl. Mostefai/Bouras (2006), Seo et al. (2006), Batres/West et al. (2007), Borgo/Leitão (2007), R.I.M. Young/Gunendran et al. (2007), Borgo/Lesmo (2008), Matsokis (2010), Matsokis/Kiritsis (2010b), Usman et al. (2010, 2011), R.I.M. Young/Chungoora et al. (2010), Chungoora/Young (2011a), Ouertani et al. (2011), Calhau/Falbo (2012) sowie Li (2012).

wie es multiple Ontologiezwecke indes erfordern. Was die Ontologie betrifft, muss Feyerabends (1975) "*anything goes*" gelten; denn es markiert nicht nur im epistemologischen und wissenschaftstheoretischen Zusammenhang das einzige Prinzip, das den Fortschritt nicht blockiert,³⁷² sondern auch in der metaphysischen Ontologiedebatte. Allerdings kann dieses "*anything goes*" gerade nicht mit Feyerabends anarchistischem Wissenschaftsverständnis korrespondieren; das integrative Moment der Informatik macht vielmehr eine universale wie integrative Systematik erforderlich. Somit hat das "*anything goes*" eine doppelte Bedeutung, nämlich zum einen in interoperabler Hinsicht die Fixierung aller Ontologien bzw. Welttypen auf ein "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*", während umgekehrt die Differenzierung spezifischer Welttypen samt Subtypen zum anderen sämtliche ontologischen Spielräume für die gänzlich disparaten ontologischen Einsatzzwecke eröffnet; denn diese durchdringen alle Bereiche der Informatik. Darin besteht der Grundgedanke der in Pkt. 3.5 erörterten integrierten CYPO FOX Ontologiearchitektur, die als Mehrweltenontologie und *integrierte metaphysische Wissensontologie* (IMKO OCF) nicht nur durch ein universales Ontologieverständnis besticht, sondern als integrierte Ontologiekonzeption eine vollumfängliche semantische Interoperabilität garantiert.

Wie im zweiten Teil dargelegt, laufen komplexe IoX-Systeme mindestens in zweifacher Hinsicht unmittelbar auf das *Real-Time Enterprise* (RTE) hinaus, nämlich in Bezug auf das bereits erwähnte *Sense-and-Respond Model* bzw. das damit implizierte *Adaptive Enterprise Design* einerseits und den Aspekt der *Digital Analytics* andererseits. Letzteres betrifft die IoX-basierte Datenauswertung in Echtzeit, die ein integratives ontologisches Anwendungsszenario begründet. Hier geht es mit der Masse an Sensordaten im Zuge des *Realtime IoX-Monitoring* vor allem um den Aspekt der *Big Data Analytics* (BDA). Damit wird deutlich, dass sämtliche Aspekte der *Smart Enterprise Architecture* (SEA), nicht zuletzt das *Event-Driven SOA* (ED-SOA) für die Ausgestaltung der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* von maßgeblicher Bewandnis sind. IoX-Integrationszenarien vollziehen sich entsprechend als *Smart Enterprise Integration* (SEI). Wenn es mit der oben erwähnten Doppelfunktion der *Top-level Ontologie* dabei gerade um die Integration von CM- und AI-Aspekten geht, müssen das CM-bezogene *Enterprise Model* (EM) und die AI-bezogene *Enterprise Ontology* (EO) als integrative IoX-Kernontologie entsprechende Korrespondenz aufweisen.³⁷³ Im Wesentlichen geht es bei diesem engen Zusammenspiel, dessen essentielle Relevanz paradoxerweise erst in den letzten Jahren etwa im Zuge der *Prozessintelligenz* (BPI) bzw. des *Business Activity Monitoring* (BAM) verstärkte Aufmerksamkeit erfährt, um die sachgerechte Modellierung des Realfaktischen aller relevanten Domänen. Es handelt sich dabei um die beiden Kernfacetten der *Smart Enterprise Architecture* (SEA), auf die sämtliche anderen Ontologien in integrativer Hinsicht zu beziehen sind. Entsprechend gilt für die *Heavyweight-Ontologie* der Grundsatz der *TLO-EO-Verkopplung*, der besagt,

³⁷² Vgl. Feyerabend (1975: 23).

³⁷³ Vgl. hierzu auch Gailly/Casteleyn/Alkhalidi (2013).

dass jedes IoX-Szenario einer doppelten Referenz bedarf, nämlich in integrativer Hinsicht der EO-Referenz wie in fundamentaler Hinsicht der TLO-Referenz. Heavyweight-Ontologien sind explikativ, indem sie über die zwingende TLO-Referenz kategorial sind und zusätzlich mit umfassenden Axiomen und Einschränkungen arbeiten, wodurch der KR-Bedeutungsgehalt erst definitiv wird. Entsprechend ist erst auf ihrer Grundlage eine sichere Inferenz bei potentiell kritischen Prozessen gewährleistet.

Das Erfordernis einer *integrierten Ontologiekonzeption* betrifft somit weder allein das transdisziplinäre Zusammenspiel aller Ontologien bzw. Domänen noch jenes der in Pkt. 3.3.1 abgegrenzten Ontologiearten bzw. Ontologietypen oder den Aspekt der IS/KS-Kombination. Vielmehr bezieht es sich auch auf die Doppelfunktion der *Top-level Ontologie* bzw. nachgeordneter Ontologien, wenn es um das enge Zusammenspiel zwischen der CM- und KR/AI-Sphäre bzw. von EM- und EO-Aspekten geht. All dies wird in einem IoX-Integrationszenario nur dann möglich, wenn alle Modelle, alle Sprachen, alle Notationen und vor allem alle Ontologien auf ein und dieselbe *Top-level Ontologie* referenzieren, die dann allerdings auch ihren dezidierten Anforderungen gerecht werden muss. Die Forderung nach einer *integrierten Ontologiekonzeption* ist in der Informatik nicht nur an sich neu, sondern vor allem auch insofern, als gerade in der CM- und KR-Sphäre auf völlig widersprüchliche Ontologiebegriffe und -konzepte gesetzt und die Ontologiediskussion in beiden Bereichen zudem mehr oder weniger isoliert geführt wird.³⁷⁴ Dabei steht eigentlich außer Frage, dass alle Ontologien eines jeden Integrationszenarios auf genau *eine* Top-level Ontologie zu referenzieren haben.³⁷⁵ Mit anderen Worten kann eine sachgerecht vollzogene *Smart Enterprise Integration* (SEI) nicht gleichzeitig auf zwei oder mehrere *Top-level Ontologien* referenzieren, indem eine durchgängige Integration einen in sich widerspruchsfreien, realitätsgerechten "*general world view*" voraussetzt, der gleichzeitig alle Erfordernisse der technischen Umsetzung erfüllen muss.

Das Postulat, dass sich alle Ontologien in integrativer Hinsicht auf genau *eine* Top-level Ontologie zu beziehen haben, wird durch Ontologen wie Guarino (1997c) oder Smith/Ceusters (2010) geteilt, wenn auch sie die Idee einer *Einheits-TLO* propagieren. Allerdings gibt es auch in dieser Sache gegenteilige Auffassungen, etwa wenn Milton/Kazmierczak (2006) die Ansicht vertreten, dass es keinen "Gold Standard" in der Ontologiefrage geben könne, da nicht die eine, am besten geeignete Ontologie existiere. Diese Position teilt auch Lenat (2005: 11) und mit ihm wird auch deutlich, dass die Klärung dieser Frage wiederum in der Metaphysik liegt, wenn er behauptet: »The ontological choices (of which metaphysi-

³⁷⁴ Vgl. exemplarisch Thomas/Fellmann (2009), wo es um Gruber (KR) vs. BWW-TLO (CM) geht.

³⁷⁵ Wir gehen damit über die TLO-Rolle, die M. Underwood et al. (2015: 357) der *Top-level Ontologie* in IoT-Kontexten zuschreiben, deutlich hinaus, indem sie nicht als optionale Erweiterung anderer IoT-Ontologien gesehen werden sollte, sondern als zentrale OE-Bezugsbasis, die für das jeweilige Integrationszenario von verpflichtender Natur ist. Alles andere kann in CPSS-basierten IoX-Kontexten mit Computern als kausal eingebundenen *Reality Machines* kaum akzeptabel erscheinen, da sich die Kritizität der Einsatzkontexte nicht im Vorhinein bestimmen lässt, wenn alles mit allem auf Basis autonom agierender Agenten vernetzt ist.

cal distinctions to make) have more of an effect on efficiency than correctness«. Das allerdings lässt sich in dieser Weise nicht verallgemeinern, weil es mit Pkt. 4.1 von der jeweiligen Metaphysikkategorie abhängt. Handelt es sich bei der Metaphysik um eine auf der empiristischen Universalsynthese des *Ratio-Empirismus* gründende *techno-wissenschaftliche* Metaphysik, dann liegt Lenat (2005) mit seiner Auffassung falsch, und tatsächlich wird der vierte Teil zeigen, dass gewiss nicht jede Metaphysik, sondern allein diese höchste Metaphysikkategorie für die Informatik wegweisend sein kann. Indem jedes IoX-Computing immer ein MAS-basiertes Computing bedeutet, ist ein ontologischer "Gold Standard" neben der universalen konzeptuellen Modellierung oder der transdisziplinären Wissensrepräsentation auch mit Blick auf die Agentenkommunikation vonnöten. Darauf stellen Uschold/Grüninger (2002) ab, wenn ihr Versuch zur Begründung eines "Gold Standard" auf der Idee fremder Agenten aufbaut, die nie zuvor miteinander interagiert haben, während sie *ad hoc* eine vollumfängliche semantische Interoperabilität herzustellen vermögen müssen. Entsprechend meinen sie mit ihrem "Gold Standard" die "*complete semantic integration*", die über ein System *verifizierter Ontologie* realisiert werden soll. Dem ist an sich zuzustimmen, doch lassen auch Uschold/Grüninger (2002) das eigentliche Problem außen vor, die Basis des Ganzen, nämlich McCarthys (1995) "*general world view*". Denn darauf gründet auch ein System *verifizierter Ontologie*, das mit Pkt. 3.3.1 über Uschold/Grüninger (2002) hinausgehend als *transdisziplinäres System integrierter Referenzontologien* zu konzipieren ist.³⁷⁶ Dieses ist mit Popper nicht falsifiziert bzw. mit Carnap zumindest verifiziert.

Tatsächlich sind die Standpunkte von Lenat (2005) bzw. Milton/Kazmierczak (2006) nicht nur inkorrekt, sondern für die Ontologiekonzeption auch in keiner Weise zielführend, während jener von Uschold/Grüninger (2002) unvollständig ist. Wenn das *Internet of Everything* (IoX) das cyber-physische *Real World Internet* (RWI) verkörpert, besteht in AI-Hinsicht die Grundvoraussetzung zunächst einmal darin, dass maschinelle Agenten im Zeichen von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* verstehen, was eigentlich diese "*Real World*" im RWI überhaupt ausmacht. Es geht mit Mitton/Simplot-Ryl (2011) dann nicht zuletzt um das *Internet of the Physical World*, auch wenn dieses nicht allein im RFID-Kontext thematisiert werden kann, wie es bei ihnen geschieht. Vielmehr muss dies im Leibniz-Whiteheadschen Zeichen einer universal verstandenen Sensorik und Aktorik erfolgen, also von Perzeption und Kausalität. Dabei muss es um die komplizierte autonome Interaktion cyber-physischer "*Reality Machines*" im kategorialen Kontext dezidierter Ereignisse und Objekte gehen.³⁷⁷ Mit anderen Worten verlangen IoX-fähige Computer nach einem fundamentalen Weltmodell, das in techno-wissenschaftlicher Hinsicht vollständig korrekt ist. Indem es mit Uschold/Grüninger (2002) um ein *System von Referenzontologien* gehen muss, steht mit Verweis auf Pkt. 3.3.1 außer Zweifel, dass dieses allein in der *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik gründen kann. Damit wird das

³⁷⁶ Ein solcher gemeinsamer Bezug auf Referenzontologien durch verschiedene Parteien findet sich auch im Konzept der *Mediator Ontology* bei Costa/Mendonça (2014); allerdings sind hier die Parteien bekannt.

³⁷⁷ Vgl. zu IoX-Systemen als *autonome, selbstorganisatorische Systeme* Al-Jumeily et al. (2014).

Kriterium der techno-wissenschaftlichen Korrektheit der Ontologie zum Prüfstein der ganzen Künstlichen Intelligenz. Dabei ist evident: geht es um das *Internet of Everything*, kann auch das IoX-Globalmodell allein in einem tatsächlich *transdisziplinären "general world view"* bestehen, wie ihn McCarthy (1995) fordert. Also geht es um das Problem der Begründung einer *universalen Ontologie* bzw. um das Transdisziplinaritätsproblem, das ontologisch allein auf Basis einer adäquaten Metaphysik zu lösen ist. Dabei steht außer Frage, dass ein solcher "Gold Standard" eine tatsächlich universale, allmächtige *Top-level Ontologie* zur Voraussetzung hat, die sämtliche in Pkt. 3.3.1 differenzierten Ontologietypen und –arten zu integrieren versteht, die eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation eröffnet und somit eine umfängliche ontologische Agentenkommunikation gewährleistet.

Auch diese Zusammenhänge lassen sich anhand des U-PLM-Referenzszenarios in geeigneter Weise illustrieren, wenn es in PLM-typischen Industrien etwa um das Engineering von Produkten in der Luft- und Raumfahrtindustrie geht, deren Entwicklung, Produktion und schließlich auch deren technologische Steuerung maßgeblich auf Ontologien aufbaut. Analoges gilt für alle anderen PLM-relevanten Industrien, etwa die Medizintechnik oder den Automobilbau, deren Produkte mehr und mehr auf AI-Basis autonom operieren. Damit ist gezeigt: geht es um den *"general world view"*, kommt man nicht an Metaphysik vorbei; geht es um das *Real World Internet (RWI)*, ist eine *techno-wissenschaftliche* Metaphysik gefordert, die auf Basis eines stetigen »interplay between science and metaphysics« operiert.³⁷⁸ Weder der Positivismus bzw. Empirismus hilft hier weiter noch ein Materialismus, Naturalismus oder Physikalismus. Vielmehr existieren mit Heisenberg (1989: 35) "Schichten der Wirklichkeit", und der *"general world view"* muss durch alle Schichten hindurch die fundamentalen Strukturen nach transdisziplinärer Maßgabe freilegen. Es geht also um die fundamentalen Kategorien, die für alle Domänen gelten, und diese sind allein Sache der Metaphysik. Grundsätzlich erkennen auch versiertere KR-Ontologen die Problematik, etwa wenn sie sich mit der Newtonschen vs. der Leibnizschen Sicht auf die Ontologie beschäftigen oder die »relationship between Newton and Leibniz and Plato and Aristotle« ins Spiel bringen.³⁷⁹ Allerdings übersehen sie dabei, dass dann – nicht nur mit Blick auf *Scientific Ontologies*, sondern für das Ontologieverständnis als Ganzes – insbesondere auch die dritte Revolution der Physik bzw. die *"New Physics"* zu berücksichtigen ist. Mit Blick auf die Cyber-Physik bestimmt sie als Physik der Evolutionsprozesse bzw. Komplexitätsphysik natürlich genauso maßgeblich die Sicht auf die Ontologiefrage wie auch alle anderen transdisziplinären Strukturwissenschaften. Vor diesem Hintergrund erkennen nicht nur einzelne KR-Ontologen, sondern gerade auch IoT-Protagonisten, dass mit den CPS-Aspekten von IoT-Systemen kein Weg an der Metaphysik vorbeiführt. Entsprechend stellt der *Cluster of European Research Projects on the Internet of Things (CERP-*

³⁷⁸ Vgl. hierzu Whitehead (1933: 164).

³⁷⁹ Vgl. Brewster/O'Hara (2004: 72); vgl. auch Fuller (2004b).

IoT) mit Vermesan et al. (2009) nicht nur die zentrale Relevanz der Ontologie in IoT-Kontexten fest, sondern fordert explizit die philosophische bzw. metaphysische Reflexion ein:

»Defining things and recognizing what a particular thing is and represents in the context of Future Internet requires a careful analysis of what philosophers like Aristotle and Philoponus had to say and how their philosophical thoughts can transcend into the future. [...] From the "philosophical definition" of "things" one can conclude that the word is not restricted to material things but can apply to virtual things and the events that are connected to "things". In the context of "Internet of Things" a "thing" could be defined as a real/physical or digital/virtual entity that exists and move in space and time and is capable of being identified.«³⁸⁰

Indessen kann eine solche Reflexion gewiss nicht in der naiven Weise angegangen werden, wie sie Vermesan et al. (2009) selbst versuchen, worauf wir am Ende von Pkt. 5.2 nochmals im Einzelnen eingehen. Denn unter strengem techno-wissenschaftlichen Gesichtspunkt ist es irrelevant, was Aristoteles oder Philoponos in der Metaphysikfrage sagen, indem diese nicht im Widerspruch zu den akzeptierten Schlüsseltheorien stehen kann. Zu komplexen IoX-Systemen können solche antiken Philosophien allein schon deshalb nicht sachgerecht beitragen, indem für das *Real World Internet* (RWI) die techno-wissenschaftlichen Aspekte nach alleiniger Maßgabe des heutigen Stands der Erkenntnis in ihren fundamentalen Strukturen von Relevanz sind. Darauf aber können solch altertümliche Philosophien naturgemäß nicht abstellen, womit es auch kein sachgerechtes »interplay between science and metaphysics« geben kann. Wenn diese antiken Philosophien in ihren Details regelmäßig nicht haltbar sind, dann sind sie unter techno-wissenschaftlicher Expertise insgesamt unhaltbar.³⁸¹ Techno-wissenschaftliche Metaphysik ist mit Pkt. 6.2.2 vielmehr *revisionäre Metaphysik*, die gemäß dem *Ratio-Empirismus* im kritischen Realismus besagt, dass die empiristische Universalsynthese als solche genauso der beständigen kritischen Prüfung zu unterziehen ist, wie alle auf ihr gründenden metaphysischen Kategorien.

Indem IoX-Systeme *Cyber-physische Systeme* (CPS) darstellen, spielt auch die Physik in realweltlicher Hinsicht eine primäre Rolle: »The physics domain is indeed at the core of the IoT, as it allows the approximation and estimation of functionalities usually provided by things«.³⁸² Dabei kann es sich selbstredend nicht um die Physik des Aristoteles handeln, während demgegenüber die sprachphilosophisch gehaltene *deskriptive Metaphysik* der Informatik noch heute in zentraler Weise auf den Kategorien des Aristoteles aufbaut. Doch auch darin besteht ein fataler Irrtum, indem allein die *revisionäre Metaphysik* primär sein kann. Auf dem heutigen Stand der Physik geht es damit um die "*New Physics*", also um das, was gemäß ihrer "*third revolution*" allgemein akzeptiert ist, worauf wir in Pkt. 4.2 zurückkommen. Wie das Referenzszenario offenbart, ist sie für die ontologische Fundierung von IoX-Systemen entscheidend, weil diese in der Luft- und Raumfahrt genauso zum Einsatz kommen wie in anderen Industrien. Selbstverständlich lassen sich die "*New Physics*" und ähnliche Sachverhalte nicht mit den Mitteln der aristotelischen Kategorienlehre sachgerecht beschreiben, indem ihre Kategorien nicht aus der empiristischen Universal-

³⁸⁰ Vermesan et al. (2009: 6).

³⁸¹ Wir teilen die Position T.W. Bynums (2012), wonach die Grundlagen der Philosophie im Informationszeitalter neu zu überdenken – und letztlich im Sinne metaphysischer Revision auch neu zu justieren sind.

³⁸² Vgl. Hachem et al. (2011: 1).

synthese des Ratio-Empirismus hervorgegangen sind, die dem *heutigen* Erkenntnisstand entspricht. Diese Kategorien sind mit Holland (1995b: 4) nicht zuletzt im Zeichen der Komplexitätsforschung zu sehen, wenn es gilt, jene *allgemeinen Prinzipien*, die allen komplexen Systemen in ihrem Systemverhalten inhärent sind, zu identifizieren: »Our quest is to extract these general principles«. Das aber hat mit dem neo-aristotelischen Objekt-, Ding- oder Substanzdenken, das führenden TLO-Ansätzen wie in gleicher Weise *Common Sense-Ontologien* als "*Furniture-Ontologien*" zugrundeliegt, nicht viel zu tun.

Indessen laufen CPSS-adäquate Ontologien mit Putnam (1980) darauf hinaus, dass die *Diskursuniversen* der Informatik kaum länger als "*furnished rooms*" aufgefasst werden können, wie es in der Disziplin jedoch landläufig noch geschieht. Wie im Folgenden im Einzelnen dargelegt, erfordern *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) und das *Internet of Everything* (IoX) vielmehr einen neuen, zeitgemäßen "*general world view*", der an der für die Informatik konstituierenden Komplexitätsforschung festmacht: In der physischen Welt wie im kausal interagierenden Cyberspace geht es nicht um gegenständliche materielle Dinge, sondern vielmehr um *Event Streams*, in denen es Beharrendes nur insofern gibt, als es sich aus der Reproduktion von Ordnungsmustern konstituiert. Insofern hat sich der für die Informatik adäquate "*general world view*" in einer prozessualen Perspektive an der spontanen Ordnungsentstehung zu orientieren. Somit ist jedes Objekt im Zeichen eines ereigniszentrischen, emergentistischen Objektlebenszyklus zu behandeln, was die bisherige ontologische Praxis der Informatik auf den Kopf stellt. Denn damit kann die Kategorie der Ereignisse in ihrer kategorialen wie meta-ontologischen Verhältnisbestimmung nicht mehr länger jener der Objekte nachgeordnet sein. Wenn jedoch auf Basis der Komplexitätsforschung deutlich wird, dass cyber-physische Ordnungsstrukturen spontan entstehen, dann steht außer Frage, dass für die Informatik ein radikaler ontologischer Neuentwurf erforderlich ist. Denn das Ontische ist nichts Statisches, sondern ein ewiges Werden, womit jedes Diskursuniversum erst dann richtig verstanden ist, wenn die ultimative Kategorie in Form der "*Creativity*" grundgelegt wird, mit der es auf das Prinzip des ewigen evolutionären Wandels gestellt wird. Damit aber muss die Informatik zu einer prozessualen Ontologie kommen, die die Objekte ereigniszentrisch als *raumzeitliche Objektlebenszyklen* begreift, wie es die Lebenszyklen des *U-PLM-Referenzszenarios* genauso erfordern wie es moderne EA-Referenzmodelle voraussetzen. Damit gilt: Alles *was es gibt*, ist nur im Prozess, mithin im Zeichen der Prozessmetaphysik zu begreifen, woraus im Umkehrschluss folgt, dass alles, was nicht prozessontologisch modelliert bzw. repräsentiert wird, falsch konzipiert ist.

Allerdings wird in weiten Teilen der Ontologie der Informatik tatsächlich genau diese unsachgemäße Position vertreten, indem in der *deskriptiven Metaphysik* allein der sprachphilosophische Gesichtspunkt zählt, während ein *Ratio-Empirismus* für irrelevant gehalten wird. Offenbar sind damit die grundlegenden Unterschiede zwischen dem linguistischen und realistischen Ansatzpunkt im *Ontology Engineering* (OE) nicht verstanden. Somit wird in Pkt. 3.3.2 der Diskurs um den Widerstreit sowie die zu konstatierenden elementaren

Defekte des linguistischen OE-Ansatzpunkts zu führen sein. Diese Notwendigkeit gilt umso mehr, als mit Pkt. 4.4 deutlich wird, dass unter techno-wissenschaftlicher Maßgabe die aristotelische Kategorienlehre in der Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis genauso irrt wie die ganze deskriptive Metaphysik – bis hin zum Ontologieverständnis Grubers. Natürlich gibt es neben der unzweckmäßigen bzw. sachlich falschen ontologischen Behandlung von Entitäten genauso inadäquate bzw. unsachgemäße Metaphysiken.

Eine für IoX-Zwecke wie insgesamt für die Zwecke der Informatik adäquate Metaphysik hat dem *cyber-physischen* Anspruch der Computer- bzw. Digitalmetaphysik gerecht zu werden, während sie gleichzeitig techno-wissenschaftliche Metaphysik ist. Dieses Erfordernis, wonach die Informatik mit dem vierten Teil sachgerecht allein auf der höchsten Metaphysikkategorie begründet werden kann, wird nicht etwa erst mit Zuses (1982) *Computing Universe* zwingend, sondern bereits mit der Technopraxis jeden Cyber-physischen Systems (CPS). Vor allem aber geht dieses Erfordernis im Zeichen von Castels (2002) *Ontological Computing* unmittelbar auf den "Grundstoff" der Informatik zurück, nämlich auf die Frage der Natur der Daten bzw. der Information sowie der Natur des Wissens. Wenn gleich es sich um ihren "Grundstoff" handelt, stellt sie diese Fragen in völlig unzureichender Weise. Insofern der AI-Kern in der *Knowledge Representation* (KR) besteht, betrifft dies insbesondere die *Natur des Wissens*, deren methodologische Qualität nicht zuletzt mit Poppers (1972a) *Objective Knowledge* offensichtlich wird. Somit bedarf die Informatik nicht nur in metaphysischer wie epistemologischer Hinsicht der Hilfe der Philosophie, sondern auch im methodologischen Zusammenhang. Erfordern CM-Ontologien die umfassende Auseinandersetzung mit der Realität bzw. dem Sein als solchem, müssen adäquate, d.h. *offen* konzipierte AI-Ontologien auf die *transdisziplinäre Einheit allen Wissens* zielen.

Während für die durch Hayes (1979) kritisierten "*toy problems*" der AI-Forschung Thomassons (2007) *Ordinary Objects* ausreichend waren, stellt sich die Situation in den "*nontoy worlds*" Cyber-physischer Systeme (CPS) grundlegend anders dar. Hier sind nicht nur die Grenzen von *Common Sense-Ontologien* schnell erreicht, sondern ihre Qualität ist in cyber-physischen Welten grundsätzlich in Frage zu stellen, indem Cyberwelten in kausaler Hinsicht letztlich genauso exaktes, geprüftes Wissen voraussetzen wie physische Welten. Insofern wird im Kontext von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* Poppers (1972a) qualitative Differenzierung zwischen falliblem objektiven Wissen einerseits und *Common Sense-Knowledge* andererseits relevant. Dabei sollte nicht verkannt werden, dass es Popper dabei nicht nur um einen methodologischen Unterschied geht, sondern gerade auch um einen kosmologischen. Dieser betrifft auch die Einheit der Erkenntnis bzw. die für die Informatik überaus zentrale transdisziplinäre Einheit allen Wissens. Im Zeichen der Whiteheadschen Kosmologie ist auch für Popper in der Frage der Natur des Wissens der metaphysische Realismus entscheidend, während beide ein linguistisches bzw. sprachphilosophisches Ontologieverständnis ablehnen, was die OE-Debatte neu justiert. Für weite Teile der Informatik ist diese Einsicht jedoch alles andere als selbstverständlich,

indem sie den prinzipiellen Unterschied, den Ontologien gegenüber Quillians (1968) *semantischen Netzen* aufweisen, auch nach fünfzig Jahren Ontologieforschung nicht verstanden haben. Ist die Natur des Wissens geklärt, ist evident, dass die AI-Wissensrepräsentation *Ontologien* gegenüber semantischen Netzen genau deshalb den Vorzug geben muss, weil nur erstere ganze Weltmodelle voraussetzen, die auf ein fundamentales Weltmodell, auf einen "*general world view*" bzw. ein im transdisziplinären Sinne vorauszusetzendes "*unitary model of the world*" referenzieren. Dabei ist für die Exaktheit aller KR-Praxis zu fordern, dass diese Referenz auf das fundamentale Weltmodell im Zeichen der Gewährleistung der Korrespondenz zwischen fundamentalen Weltstrukturen und Semantik- bzw. Wissensstrukturen immer explizit gemacht wird. Entsprechend hat alle Ontologie auf die *Top-level Ontologie* als oberste ontologische Referenzebene der Informatik zu referenzieren. Sie ist prinzipiell als metaphysisch bestimmtes "*ontological backbone*" zu verstehen.

Wie schon im Kontext der *Semantic Search Engines* (SSE) festgestellt, steht ungeachtet dessen mit Kutschera (1993) außer Frage, dass auch bloßes Alltagswissen zum Realitätsverständnis benötigt wird. Entgegen Thomasson (2007) kann jedoch keine "Rivalität" zwischen objektivem Wissen und Alltagswissen bestehen, weil dies mit Blick auf ontologische Widersprüche hinsichtlich der Integrationsanfordernisse der Informatik inakzeptabel wäre. Es kann sich daher entgegen P.M.S. Hacker (1982a: 6 f.) nicht um ein isoliertes Nebeneinander handeln; vielmehr muss es im Sinne Poppers (1972a) ein klares Hierarchieverhältnis geben,³⁸³ weil anders keine transdisziplinäre *Einheit allen Wissens* möglich wird, die indessen für autonom agierende AI-Systeme nicht erst mit der in Pkt. 6.3 thematisierten *Superintelligenz* zu fordern ist. Insofern lässt sich die Natur des Wissens für die Informatik nur dann sachgerecht schlussfolgern, wenn das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Technologie wie jenes zwischen Technologie und Praxis geklärt ist, indem dies in kombinierten IS/KS-Systemen das Verhältnis von Referenz- und Anwendungsontologien direkt betrifft. Im Zeichen komplexer Systeme konzipierte technologische Ontologien nehmen dabei eine Mittlerrolle zwischen Wissenschaft und Praxis ein, womit die Praxis zur Technopraxis mutiert. Im Zeichen der TLO-Referenz lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem nur dann ausschalten, wenn eine weitreichende Referenz der *praktischen Semantik* auf die präzisere *technologische Semantik* vollzogen wird, was zur semantisch expliziten Spezifizierung von Ontologien unabdingbar ist: Ontologietypen sind hierarchischer Natur.

Mit dem Whitehead-Popperschen *metaphysischen Realismus* ist *Ontologie* immer als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu verstehen, indem alle Wissensstruktur mit metaphysischer Struktur korreliert ist. Dabei weist die *integrierte metaphysische Wissensontologie* eine gänzlich andere, nämlich eine IoX- bzw. CPSS-adäquate Qualität als *se-*

³⁸³ Insofern lässt sich entgegen Smith (2002a: 87) auch nicht die »Commonsense-Welt für den Realismus« retten; vielmehr ist dies allein möglich, indem die Commonsense-Welt dieser Hierarchie entsprechend eine Vereinfachung wissenschaftlicher bzw. technologischer Sachverhalte bildet bzw. ihre Korrespondenz hiermit systematisch geprüft wird. Allerdings ist zu beachten, dass Smith (2002a) auch nicht Einsteins et al. (1935) Hypothese des universellen Realismus für die Physik gelten lassen will.

mantische Netze auf, während die Informatik mit den heute populären linguistischen Ontologieverständnissen Grubers bzw. Berners-Lees et al. noch an letzteren festmacht.³⁸⁴ Allerdings ist es ein Irrglaube zu meinen, von den Strukturen der Normalsprache auf die fundamentalen Strukturen der cyber-physischen Realität schließen zu können. Insofern ist die bisherige Ontologiepraxis mit der in Pkt. 3.5 erörterten *integrierten metaphysischen Wissensontologie CYPO FOX* genau auf den Kopf zu stellen, indem mit Heil (2003: 189) zu konstatieren ist: »the linguistic tail wagging the ontological dog«. Im Unterschied zu allen bisherigen Ontologieansätzen stellt CYPO im Zeichen der *TLO-EO-Verkopplung* eine integrierte Ontologiekonzeption dar, die einerseits mit einer *techno-wissenschaftlichen Metaphysik* transdisziplinär auf die physische Welt bzw. die fundamentalen Strukturen der Realität abstellt, andererseits gleichzeitig als *Digitalmetaphysik* systematisch alle denkbaren Cyberwelten adressiert. Auf Basis einer einheitlichen Ontologiearchitektur, einem universalen Ontologieverständnis wie einem vollumfänglich semantisch interoperablen IoX-Totalmodell wird die erforderliche Integration *cyber-* und *physischer* Welten in einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* als kausal interdependentes Gefüge durchgängig realisiert.³⁸⁵ Entsprechend können Ontologien auf linguistischer Alltagsbasis allein eine Vereinfachung bzw. Ergänzung objektiven Wissens darstellen, deren Korrespondenz bei CYPO als integrierter Ontologiearchitektur im Zuge einer gemeinsamen TLO-Referenz zu gewährleisten ist. Ontologien repräsentieren insofern *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle*, als sich diese immer auf ein fundamentales Weltmodell zu beziehen haben, nämlich auf die *Top-level Ontologie*, deren kategoriale wie meta-ontologische Verankerung wiederum in einer für die Informatik adäquaten Metaphysik gründen muss.

Vor diesem Hintergrund hat es nichts an Aktualität verloren wenn Steimann/Nejdl (1999: 5) im KR-Kontext konstatieren: »Es dürfte [...] inzwischen klar sein, daß es eine Universalontologie, die für alles passend ist, so schnell nicht geben wird, auch wenn es immer wieder Versuche gibt, solche "generischen Ontologien" zu erstellen [...]. Zu unterschiedlich sind im allgemeinen [sic!] die Probleme und die Ansätze, mit denen die Probleme gelöst werden sollen«. Doch darin besteht gerade die Crux von Castels (2002) *Ontological Computing*, indem im IoX-Hyperspace mit Uschold/Grüningers (2002) "Gold Standard" zur flexiblen Agentenkommunikation die *vollumfängliche semantische Interoperabilität* zu fordern ist. Indessen ist diese schon im Grundsatz nicht zu realisieren, wenn die Informatik weder über ein einheitliches Ontologieverständnis bzw. eine integrierte Ontologiekonzeption verfügt,³⁸⁶ noch allgemeine Klarheit besteht, inwiefern Daten, Informationen und Wissen als ihr "Grundstoff" metaphysisch, epistemologisch bzw. methodologisch präsupponiert sind. Offensichtlich besteht eine ihrer elementarsten wie vordringlichsten Fragen in dem Umstand, inwiefern sich eine *universale Ontologie* realisieren lässt bzw. wie eine CPSS-adäquate *Top-level Ontologie* als oberste Referenzebene zu konzipieren ist.

³⁸⁴ Das schließt technologisch anspruchsvolle Kontexte wie FMEA mit ein, vgl. bspw. Stålhane (2015).

³⁸⁵ Vgl. hierzu auch Ooi et al. (2009); vgl. ergänzend Jeffery et al. (2008).

³⁸⁶ Vgl. hierzu auch Wilks (2004).

Denn nur diese kann alle konzeptuelle wie semantische Modelle cyber-physischer IoX-Systeme auf eine einheitliche kategoriale wie meta-ontologische Basis stellen, worüber sich erst die vollumfängliche semantische Interoperabilität wie die Lösung des Inkommensurabilitätsproblems bewerkstelligen lässt.

Die Frage nach der *Metaphysik der Informatik* stellt sich zwar generell, erfährt aber durch Cyber-physische Systeme (CPS) als vernetzte eingebettete IoT-Systeme, wie sie bei Broy (2010: 22 f.) skizziert werden, nunmehr eine besondere Bewandnis. Universal betrachtet besteht der Gegenstand der Informatik im *cyber-physischen "Reality Computing"*, womit sich die Frage nach der cyber-physischen Realität als solche genauso stellt wie jene nach der Agenteninteraktion in der Realität. Dabei legt die MAS-Interaktion, wie sie bei vernetzten eingebetteten IoT-Systemen angelegt ist, es nahe, die Realität im Sinne von *Complex Adaptive Systems* (CAS) auszulegen. Es geht also um das in Pkt. 4.2 bzw. Pkt. 4.3 näher dargelegte Whiteheadsche organismische Automatenuniversum. Vernetztes, *cyber-physisches "Reality Computing"* basiert auf *Real-Time Computing Systems*,³⁸⁷ die im Allgemeinen als *Distributed Computing* konzipiert sind.³⁸⁸ Auf dieser Grundlage geht es in IoT-Szenarien um intelligente bzw. adaptive *Embedded Systems*,³⁸⁹ die nicht nur eine Auseinandersetzung mit der Frage der physikalischen Realität erfordern, sondern darüber hinaus zu einer *Event Triggered Architecture* führen,³⁹⁰ wie sie im Ganzen bei Whitehead als cyber-physische Realität entwickelt wird. Dabei bilden *Embedded Systems* ein charakteristisches CPS-Merkmal;³⁹¹ sie sind nicht nur für die Robotik elementar,³⁹² sondern für alle *Smart Product Service Systems* (SPSS), die im IoT-Sinne immer CPS-basiert sind. Über die Sensorik schließt sich das *Big Data Computing* unmittelbar an.³⁹³ Mit dem *cyber-physischen "Reality Computing"* wird vor diesem Hintergrund deutlich, dass die Informatik nach einer neuen, fundamentalen Grundlegung verlangt, die als *Ontological Computing Framework* (OCF) verstanden werden sollte. Es geht dabei um die einheitliche Fassung von physikalischer Welt und Cyber-Welten,³⁹⁴ um die Agenteninteraktion in dieser *Mixed Reality* einschließlich der MAS-Interaktion sozialer Systeme (CPSS). Die umfassenden Herausforderungen dieser neuen Form von Informatik, die im Leibniz-Whiteheadschen Sinne ihre ursprüngliche ist, verlangt nach einem eingängigen IoX-totalen Referenzszenario. Bei dem in Pkt. 1.5 erörterten Referenzszenario des *Closed-loop Ubiquitous PLM* (U-PLM) geht es um diese intelligenten sensorbasierten IoT- bzw. PEID-Produkte bzw. Services (SPSS), wobei PEID-Systeme wiederum als verteilte *Embedded Systems* konzipiert sind.³⁹⁵

³⁸⁷ Vgl. dazu etwa Buttazzo (2011) sowie K.C. Wang (2017).

³⁸⁸ Vgl. etwa Martorella et al. (2014) sowie Salibekyan/Panfilov (2015).

³⁸⁹ Vgl. hierzu Provan (2002), Schneider Beck et al. (2013), Alippi (2014), Furuichi/Yamada (2014), Jimenez et al. (2014), Wind River (2014), Bindal (2017) sowie Thalmann et al. (2018).

³⁹⁰ Vgl. dazu Hintenaus (2015: 3 ff.; 97 ff.).

³⁹¹ Vgl. Marwedel (2011).

³⁹² Vgl. etwa Jaber (2017).

³⁹³ Vgl. zur *Sensorik* D.P. Agrawal (2017); vgl. zu *Big Data* Delgado (2016) sowie Pop et al. (2016).

³⁹⁴ Vgl. dazu etwa Baloch et al. (2016).

³⁹⁵ Vgl. Kiritsis et al. (2003) sowie Anke/Wolf et al. (2008).

1.2 Inkommensurabilität IoX-relevanter Top-level Ontologien als Kernproblem

»The majority of work in knowledge representation has been concerned with the technicalities of relating predicate calculus to other formalisms, and with the details of various schemes for default reasoning. There has been almost an aversion to addressing the problems that arise in actually representing large bodies of knowledge with content. The typical AI researcher seems to consider that task to be "just applications work." But there are deep, important issues that must be addressed if we are to ever have a large intelligent knowledge-based program: What ontological categories would make up an adequate set for carving up the universe? How are they related? What are the important things most humans today know about solid objects? And so on. In short, we must bite the bullet.«

— Douglas Lenat/Ramanathan V. Guha (1990: xvii)

Während mit Pkt. 1.1 bereits zahlreiche Probleme offensichtlich geworden sind, die mit der Ontologiefrage der Informatik an sich zusammenhängen, ist das Kernproblem der Sache noch nicht hinreichend beleuchtet worden. Es hängt mit den aufgezeigten zahlreichen konkurrierenden TLO-Entwürfen zusammen, die allesamt auf die oberste Ontologieebene als fundamentale Referenzebene zielen. Indem Teilen der Disziplin dieses Problem der Koexistenz einer Vielzahl heterogener TLO-Theorieanwärter bewusst ist und genauso außer Frage steht, dass sich auf diese Weise keine *vollumfängliche semantische Interoperabilität* realisieren lässt, versucht man es in gewohnter Manier zu lösen: Man versucht also mit diesem Problem auf der obersten Ontologieebene genauso zu verfahren wie man bei heterogenen Ontologien auch sonst verfährt, indem die Lösung in einem *TLO-Mapping* bzw. einer *TLO-Fusion* gesehen wird. Dieser Lösungsweg korrespondiert mit einer linguistischen Ontologieauffassung, indem man meint, dass es um die Übersetzung begrifflicher Kategorien geht. Offenbar ist für die Informatik unklar, wie überhaupt mit der Vielzahl alternativer TLO-Ansätze umzugehen ist. Dabei ist festzustellen, dass die Disziplin auch in dieser Hinsicht irrt, indem das eigentliche Wesen der Top-level Ontologie ein völlig anderes ist als es der Idee eines *TLO-Mapping* entspricht: Dass diese Lösungsidee überhaupt ernsthaft in Erwägung gezogen wird, ist ein Indiz dafür, dass dieses eigentliche Kernproblem bisher nicht nur nicht sachgerecht erörtert wurde, sondern vielmehr weder verstanden noch überhaupt als solches richtiggehend erkannt zu sein scheint.³⁹⁶ Tatsächlich sind *Top-level Ontologien* im Allgemeinen gerade *nicht* interoperabel, was jedoch keineswegs heißt, dass sie nicht als Referenzbasis für interoperable Systeme fungieren können.³⁹⁷ Vielmehr muss es gelten, dass semantisch interoperable Systeme verbindlichen Bezug auf die *Top-level Ontologie* als grundlegender Referenzbasis nehmen, um jeden Fehler auszuschalten.

TLO-Kategorien sind erst dann sachgerecht verstanden, wenn sie als *metaphysische* Kategorien behandelt werden. Denn genau das sind sie, indem alle *Top-level Ontologie* notwendig *metaphysische* Ontologie ist. Entsprechend besteht das Kernproblem der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in der *Inkommensurabilität der TLO-Theorieanwärter*, indem metaphysische Kategorien nicht ineinander übersetzbar, also inkommensurabel sind. Diese

³⁹⁶ Magee (2010, 2011a, 2011b) bildet hier eine Ausnahme.

³⁹⁷ Vgl. zu einem solchen Einwand Borgo/Lesmo (2008).

grundsätzliche Unvereinbarkeit der zahlreichen konkurrierenden TLO-Theorieanwärter geht darauf zurück, dass die Kategorien im unmittelbaren Bezug zu den vorliegenden meta-ontologischen Dispositionen des jeweiligen TLO-Theorieanwärters stehen. Anders gewendet ist ein Ontologie-Mapping heterogener Top-level Ontologien insofern nicht möglich, als dieses Inkommensurabilitätsproblem der TLO-Theorieanwärter als Kernproblem der Informatik als solches nicht semantischer, sondern vielmehr meta-ontologischer bzw. kategorialer Natur ist, womit es sich um ein fundamental metaphysisches Problem handelt. Denn die ontologische Inkommensurabilität liegt in der jeweiligen Metaphysik begründet, indem die eine Metaphysik nicht in die andere übersetzbar ist. Somit sind genuine TLO-Ansätze nicht nur naturgemäß inkommensurabel sondern auch inkompatibel, was mit dem Ziel vollumfänglicher semantischer Interoperabilität konfligiert.

McCarthy's (1995) "*general world view*" bzw. Minskys (1968c) "*unitary model of the world*" und damit die *Top-level Ontologie* besitzen mit dem CM- und KR/AI-Gesichtspunkt der Ontologie eine Doppelfunktion und darauf grundend eine Integrationsfunktion: Indem Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* repräsentieren, inkorporieren sie zwei Momente der Modellierung, nämlich die konzeptuelle Modellierung (CM) der jeweiligen Diskursuniversen (UoD) einerseits und seine semantische Modellierung (KR) andererseits.³⁹⁸ Das Ausgangsproblem ist damit darin zu erachten, dass beide Momente der Modellierung bereits jeweils für sich genommen in praxi durch unterschiedliche Modellierer auf heterogene Art und Weise erfolgen und zudem auch untereinander nicht abgestimmt sind. Im Zuge der Modellierung der zu repräsentierenden Welten besteht somit (i) das *Problem konzeptueller Heterogenität* wie (ii) das *Problem semantischer Heterogenität* jeweils für sich, sowie (iii) das *Problem der fehlenden Integration konzeptueller und semantischer Modelle*. Alle drei Ausgangsprobleme konterkarieren das für Integrationsszenarien unentbehrliche Ziel vollumfänglicher semantischer Interoperabilität.

Ad (i) ist mit dem *Problem konzeptueller Heterogenität* gemeint, dass es bei konzeptuellen Modellen zu einer nicht einheitlichen Abbildung zentraler Sachverhalte bzw. Fakten kommt, die sich bei *cyber-physischen "Reality Machines"* zum einen auf reale Fakten, zum anderen auf Konzepte in Cyberwelten beziehen. Mit Blick auf das gerade für das Referenzszenario relevante PPR-Framework geht es um die nicht einheitliche Abbildung von Produkt-, Prozess- und Ressourcenstrukturen und ihre komplexen Verknüpfungen. Das betrifft z.B. die Frage, wie die Veränderung von Objekten in realen Transformationsprozessen informatorisch abzubilden ist, bis hin zur Frage, ob Prozesse unabhängige Kategorien bilden. Dieses kognitive Problem stellt sich damit in Form eines differierenden Reprasentationsgehalts konzeptueller Modelle dar.³⁹⁹ Indem sich in diesem ersten Fall die Modellierung auf das Diskursuniversum (UoD) als solches erstreckt, ist direkt offensichtlich, dass es sich um ein *metaphysisches* Problem handelt. Insofern verwundert es nicht, wenn

³⁹⁸ Vgl. hierzu auch Uschold (2011).

³⁹⁹ Vgl. hierzu Ramesh et al. (1999), Siau/Tan (2005), Khatri et al. (2006) sowie Kwon (2011).

der im CM-Kontext verbreitetste TLO-Ansatz, nämlich die BWW-TLO, explizit einen *metaphysischen* Ontologiebegriff zugrundelegt. Im Rekurs auf Angeles (1981: 198) wird Ontologie hier im Zuge der konzeptuellen Modellierung der Informatik verstanden als »[t]hat branch of philosophy which deals with the order and structure of reality in the broadest sense possible«. ⁴⁰⁰ In der Tat geht es um die Frage der Modellierung der fundamentalen Strukturen aller Welten, die Sache der Metaphysik ist. Damit wird bereits deutlich, dass der durch die BWW-TLO zugrundegelegte Ontologiebegriff nicht nur völlig an den Zwecken formaler Ontologie vorbeigeht, sondern bereits für sein eigentliches Feld, das der konzeptuellen Modellierung, ungeeignet ist. Denn es geht nicht allein um die Strukturen der Realität, sondern genauso um die Strukturen von Cyberwelten und letztlich um ihre Integration. Mit Pkt. 5.3 wird deutlich werden, dass dieser Defekt der BWW-TLO in direkter Weise auf eine falsche metaphysische Fundierung zurückzuführen ist. Dieses erste Problem geht insgesamt darauf zurück, dass im Zuge der konzeptuellen Modellierung entweder auf keine *Top-level Ontologie* referenziert wird, oder dass es sich um inkompatible TLO-Ansätze handelt, die durch mannigfache Modellierer bzw. Agenten im gleichen Integrationsszenario zugrundegelegt werden: Der "*general world view*" ist hier direkt im Spiel.

Ad (ii) besagt das *Problem semantischer Heterogenität*, dass der Bedeutungsgehalt von Daten, Informationen bzw. Wissen im Zuge seiner Interpretation durch natürliche oder maschinelle Agenten differiert. Das kann z.B. dadurch bedingt sein, dass Begriffe bzw. Klassen unscharf definiert sind oder in ambivalenter Weise genutzt, abgegrenzt und systematisiert werden. Dieses zweite Problem tritt prinzipiell immer auf, wenn es um Semantik bei einer Vielzahl von Agenten bzw. Modellierern geht, also bei allen Kommunikations- bzw. Interaktionsprozessen. Es besteht insbesondere bei *semantischen Netzen*, indem hier die grundlegenden metaphysischen Kategorien ungeklärt sind. Insofern kommt es zu diesem Problem entweder dann, wenn auf keine *Top-level Ontologie* referenziert wird, oder aber wenn es sich um inkompatible TLO-Ansätze handelt, die durch unterschiedliche Modellierer bzw. Agenten im gleichen Integrationsszenario zugrundegelegt werden. Mit der zentralen Rolle der Kategorien wird deutlich, dass es sich auch in diesem zweiten Fall der Modellierung semantischer Strukturen bzw. Wissensstrukturen im Zeichen der Wissensontologie um ein metaphysisches Problem handelt, indem es mit McCarthy/Hayes (1969) um die Frage *metaphysisch und epistemologisch* adäquater Repräsentationen geht. Mit den *Top-level Ontologien* hat damit die Frage des zugrundegelegten Kategoriensystems sowie die damit verbundenen meta-ontologischen Dispositionen im Fokus der Analyse zu stehen.

Ad (iii) Beide vorgenannten Probleme manifestieren jeweils unerwünschte Komplexitätsprobleme, die vor allem darauf zurückgehen, dass konzeptuelle und semantische Modelle nicht auf Grundlage einer einheitlichen *Top-level Ontologie* in fundamentaler Weise vereinheitlicht sind. Indessen ist mit Ausnahmen wie etwa Sowa (2000) als philosophisch umfassend geschultem AI-Experten in der Informatik bis heute allgemein unklar, dass

⁴⁰⁰ Vgl. Wand/Weber (1989b), Wand/Storey/Weber (1999) sowie Parsons/Wand (2000).

Ontologie in sachgerechter Weise allein als *integrierte metaphysische Wissensontologie* verstehbar und praktizierbar ist. Mit Thomasson (2007: 199 ff.) besteht die erste Aufgabe des Ontologen in der Tat in spezifischen Arten konzeptueller Analysen bzw. konzeptueller Modellierung. Damit muss das Ziel in der *Integration von CM- und AI-Ontologien* bestehen, das allein über die *Top-level Ontologie* führt. Das *Problem der fehlenden Integration konzeptueller und semantischer Modelle* besteht entweder darin, dass ad (i) bzw. ad (ii) entweder nicht auf eine *Top-level Ontologie* referenziert wird, oder aber dass es sich um inkompatible TLO-Ansätze handelt, die durch unterschiedliche Modellierer bzw. Agenten im gleichen Integrationsszenario zugrundegelegt werden. In diesem Sinne dient die *Top-level Ontologie* der fundamentalen Komplexitätsreduktion dann,⁴⁰¹ wenn das jeweilige Integrationsszenario auf der Idee einer *Einheits-TLO* gründet. Alle drei Probleme können in praxi gemeinsam oder jeweils einzeln auftreten und lassen auf zu hohe Freiheitsgrade im Rahmen der Modellierung schließen.⁴⁰² In jedem der drei möglichen Fälle können die Konsequenzen für komplexe IoX-Systeme, die mitunter auch neuralgische Prozesse der *Smart Factory* oder anderer *Reality Machines* betreffen, schwerwiegend sein. Im Referenzszenario können sie die Stabilität von U-PLM-Systemen in ihrer Eigenart als Prozess- und Wissenssysteme konterkarieren, indem die Heterogenität konzeptueller wie semantischer Modelle zu formalen Fehlschlüssen bzw. logischen Inferenzproblemen führen kann.⁴⁰³

Ohne Zweifel lassen sich die eigentlichen Potentiale von IoX-Systemen insbesondere in ihrer zentralen Eigenschaft als prozessuale Wissenssysteme zur Komplexitätsbewältigung nicht heben, solange das *Problem konzeptueller Heterogenität*, das mit ihm verbundene *Problem semantischer Heterogenität* sowie das Problem ihrer fehlenden Integration als die drei Ausgangsprobleme nicht grundsätzlich eliminiert sind. Wenn es gilt, diese drei Ausgangsprobleme auszuschalten, besteht der erste Schritt darin, auf das Ontologiekonzept zurückzukommen und zunächst den für IoX-Systeme notwendigen Ontologietypus zu klären. Dabei ist zunächst die Differenzierung von *Lightweight- und Heavyweight-Ontologien* von Relevanz. Wie erwähnt, unterscheiden sich *Lightweight-* und *Heavyweight-Ontologien* dadurch, dass letztere zusätzlich mit umfassenden Axiomen und Einschränkungen arbeiten, wodurch der Bedeutungsgehalt von Begriffen bzw. Aussagen erst definitiv wird.⁴⁰⁴ Entsprechend wird allein durch *Heavyweight-Ontologien* ein sicheres logisches Schließen sowie eine interoperable Robustheit ermöglicht, die bei organisations- und industrieübergreifenden kritischen Prozessen von IoX-Systemen notwendig vorauszusetzen sind. Dabei können für intelligente IoX-Systeme nur diese expressiven Ontologien als adäquat erscheinen, da im *Internet of Everything (IoX)* als *Real World Internet (RWI)* absolute Sicherheit bezüglich dem Bedeutungsgehalt der verarbeiteten Informationen bestehen

⁴⁰¹ Diese Idee findet sich bereits bei Ding/Fensel (2001) bzw. bei Tian et al. (2002).

⁴⁰² Vgl. auch Partridge (2002b).

⁴⁰³ Damit sind etwa die Inferenzprobleme bzgl. der *TBox* bzw. *ABox* der Beschreibungslogik gemeint.

⁴⁰⁴ Vgl. Corcho et al. (2003), Gómez-Pérez et al. (2004), Fürst/Trichet (2006) sowie J. Davies (2010); vgl. speziell zu *Axiomen* Staab/Mädche (2000).

muss. Analoges lässt sich mit Blick auf das U-PLM-Referenzszenario feststellen, indem in allen Phasen des Produktlebenszyklus (z.B. Entwicklung, Produktion, Distribution) diese Sicherheit bezüglich dem Bedeutungsgehalt gegeben sein muss. Tatsächlich besteht bzgl. dem Referenzszenario auch Einigkeit, dass die Ontologie auf expressiven *Heavyweight-Ontologien* basieren sollte.⁴⁰⁵ Diese sind für die Zwecke der *Smart Enterprise Integration* (SEI) wie für *cyber-physische "Reality Machines"* gleichermaßen unverzichtbar.

Wenn im PLM-Referenzszenario zuweilen Lightweight-Ontologien als Ontologietypus bemüht werden,⁴⁰⁶ dann vor allem deshalb, weil es der aktuelle Forschungsstand kaum anders zulässt. Daneben kann es durchaus sinnvoll sein, im PLM-Kontext rein versuchsweise mit Lightweight-Ontologien zu starten, um auf diese Weise zu den weitaus schwieriger zu realisierenden Heavyweight-Ontologien vorzudringen. In diesen muss jedoch das letztliche Ziel solcher Bestrebungen bestehen.⁴⁰⁷ Dass es der derzeitige Forschungsstand nicht zulässt, PLM-Ontologien auf der Basis von Heavyweight-Ontologien zu entwickeln, liegt in erster Linie an den vielen ungeklärten Fragen, die mit den *Top-level Ontologien* zusammenhängen. Ohne dass diese Fragen umfassend gelöst sind, kann es keine überzeugende Heavyweight-Ontologie für PLM-Systeme geben. Denn die oberste Heavyweight-Ontologie besteht in der *Top-level Ontologie*, die im Zuge der Grundlegung des fundamentalen Kategoriensystems und der Klärung ontologischer Grundsatzentscheidungen erst die umfassende Axiomatisierung eröffnet und in ihrer Eigenart als Referenzbasis für die ihr untergeordneten Ontologien sicherstellt.⁴⁰⁸ Auch wenn der Kern einer PLM-Ontologie nicht in der generischen *Top-level Ontologie*, sondern in der domänenbezogenen Kernontologie (PLM Core Ontology) besteht, ist es dennoch erste, die entscheidet. Inhaltlich wie methodisch ist es die *Top-level Ontologie*, die den ersten, grundlegenden Schritt bildet und für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zum alles bestimmenden Bezugspunkt avanciert.⁴⁰⁹

Die Entwicklung formaler Kernontologien ist nicht nur immer auf die fundamentale Top-level Ontologie als Referenzebene zu beziehen, sondern hat von dieser ausgehend *top-down* zu erfolgen, um die semantische Interoperabilität in offenen und evolvierenden Umgebungen zu garantieren.⁴¹⁰ Die Axiome der Kernontologie in ihrer Verfasstheit als Heavyweight-Ontologie sind damit in ihren fundamentalen Aspekten aus jenen der Top-level Ontologie zu gewinnen. Demgegenüber ist diese verbindliche Referenz bei Lightweight-Ontologien insofern verzichtbar, als sie nicht mit solchen Axiomen arbeiten; entsprechend kann hier aus Effizienzgründen teils auch eine eingehende Klärung grundlegender Frage-

⁴⁰⁵ Vgl. etwa Young/Gunendran et al. (2007a), Young/Chungoora et al. (2010) oder Usman et al. (2011).

⁴⁰⁶ Vgl. etwa Chen/Stuckenschmidt (2008, 2009); ferner lässt sich etwa die LinkedDesign Ontology (LDO) anführen, vgl. hierzu El Kadiri et al. (2013) sowie Kiritsis et al. (2013).

⁴⁰⁷ Chen/Stuckenschmidt (2008) weisen selbst darauf hin, dass rein deskriptive Ontologien nicht ausreichend sind, und dass es zusätzlicher Regeln bedarf, die ihnen die erforderliche Ausdruckskraft verleihen.

⁴⁰⁸ Vgl. hierzu Borgo/Lesmo (2008: 2).

⁴⁰⁹ Vgl. etwa G. Bruno et al. (2015: 42) sowie El Kadiri/Kiritsis (2015: 5665).

⁴¹⁰ Vgl. Fonseca/Egenhofer et al. (2002: 247), Oberle (2006: 47 f.), Borgo/Leitão (2007: 752) und Usman et al. (2011: 6). Demgegenüber wird es entgegen Agarwal/Petrie (2012) nicht möglich sein, das Inkommensurabilitätsproblem "*bottom-up*" zu überwinden; im Gegenteil würde es dadurch geradezu bedingt.

stellungen zu Top-level Kategorien entfallen, zumal keine Top-level-Deduktion erfolgt. Für Ferrario (2006) ist die zwingende Bezogenheit aller Heavyweight-Ontologien auf die Top-level Ontologie offenbar so prägnant, dass sie formale Ontologien gleich in Lightweight-Ontologien einerseits, und Top-level Ontologien andererseits gruppiert.⁴¹¹ In der Tat gelten beim Heavyweight-Ontologietypus die Axiome der Top-level Ontologie sowohl für die Kern- als auch für die Domänenontologien, die in einer hierarchischen Struktur auf erste bezogen sind.⁴¹² Vor diesem Hintergrund ist besser nachvollziehbar, warum die fundamentale Bedeutung der *Top-level Ontologie* bei integrativen Systemen unstrittig ist: Nicht zuletzt mit Blick auf die Interoperabilität und Intelligenz von U-PLM-Systemen wird durch die Referenz auf Top-level Ontologien eine qualitativ andere Stabilität, Flexibilität sowie Güte der gefolgerten Schlüsse erreicht. Daneben eröffnen standardisierte Top-level Ontologien nicht nur im PLM-Kontext die Möglichkeit eines effizienteren technologischen Ontologiedesigns, etwa durch normalisierte Ontologiemodule, die sich durch einen "plug-and-play Charakter" auszeichnen. Im Zuge der Wiederverwendung von Ontologien lässt sich ferner das Auftreten neuer Fehler und Inkonsistenzen minimieren resp. vermeiden.⁴¹³

Während sowohl die notwendige Elimination des oben beschriebenen Ausgangsproblems als auch das Heben der zukünftig wettbewerbsrelevanten Potentiale von U-PLM-Systemen über Heavyweight-Ontologien führen, hängt die eigentliche Problematik unmittelbar mit den *Top-level Ontologien* zusammen. Denn diese bilden nicht nur den zentralen Bezugspunkt in der CM-Sphäre, sondern offensichtlich auch in der KR-Sphäre, was im Zuge der *Smart Enterprise Integration* zwingend auf eine *integrierte Ontologiekonzeption* mit einer in allen Belangen einheitlich vollzogenen TLO-Referenz hinausläuft. Zwar sind die verschiedensten Ontologiearten für PLM-Systeme von Relevanz;⁴¹⁴ dennoch steht und fällt aufgrund der hierarchischen, systematischen Bezogenheit aller Ontologien auf die oberste Ontologie alles mit der *Top-level Ontologie*. Die erste Bestandsaufnahme in Pkt. 1.1 offenbart, dass mittlerweile nicht nur unzählige Top-level Ontologien existieren, sondern dass sich diese in fundamentalen Fragen wie auch qualitativ *grundsätzlich* unterscheiden. Dabei bilden diese Besonderheiten für die jeweiligen Top-level Ontologien gerade konstituierende Abgrenzungskriterien gegenüber anderen Ansätzen. Zuweilen wird ganz bewusst in kritischer Haltung eine gegenüber anderen Ansätzen fundamental abweichende TLO-Position artikuliert. Das zieht insofern problematische Konsequenzen nach

⁴¹¹ Anzumerken ist, dass diese Einteilung, wenn sie auch nicht falsch ist, dennoch unzweckmäßig erscheinen muss. Denn einerseits existieren selbstverständlich Heavyweight-Ontologien, die keine Top-level Ontologien darstellen. Andererseits existiert eine Reihe von Ansätzen, die gemeinhin als Top-level Ontologien verstanden werden, aber den Lightweight-Ontologien zuzuordnen sind, etwa PROTON – oder DOLCE+DnS Ultralite als Lightweight-Variante. Daneben kann sich die Integrationsleistung von Top-level Ontologien auch auf Lightweight-Ontologien beziehen, vgl. etwa Heer et al. (2009).

⁴¹² Vgl. etwa Panov et al. (2008: 753).

⁴¹³ Vgl. Smith/Ceusters (2010).

⁴¹⁴ Vgl. etwa Mostefai/Bouras (2006).

sich, als nahezu jede dieser heterogenen, sich teils widersprechenden Positionen meta-ontologischer Grundsatzentscheidungen selbstredend von fundamentaler Natur ist.⁴¹⁵

Indem an der Spitze jeden hierarchisch gegliederten Ontologiesystems nur *eine* Top-level Ontologie stehen kann, folgt daraus ein klares Konkurrenzverhältnis der diversen TLO-Ansätze. Sie bilden insofern nicht mehr als *Theorieanwärter*, als sie antreten, das adäquate Weltmodell für bestimmte Anwendungen der Informatik und letztlich für sie insgesamt in grundsätzlicher Weise zu konstituieren. Wenn Murdock et al. (2012) als unbeteiligte Dritte beim Wettstreit um den dominierenden TLO-Ansatz pointiert von "*ontology wars*" sprechen, ist dies weniger einer lebhaften wissenschaftlichen Debatte geschuldet als vielmehr unüberbrückbarer philosophischer Grundsatzentscheidungen. Es handelt sich um einen Widerstreit inkompatibler philosophischer Paradigmen. Der Kern des Problems ist dabei in einer mangelnden Bereitschaft zur Infragestellung der eigenen Position in Bezug auf die faktischen universalontologischen Zwecke der Informatik zu sehen. Besonders problematisch ist dabei der Umstand, dass ihre allgemeinen Anforderungen erst gar nicht neutral im Sinne eines universalen *Requirements Engineering* untersucht werden, und schon insofern regelmäßig aneinander vorbeidebattiert wird. Die These vom Konkurrenzverhältnis und dem damit verbundenen Widerstreit von TLO-Theorieanwärttern ließe sich nur dann relativieren oder ggf. ganz entkräften, wenn zutreffend wäre, was zuweilen behauptet und versucht wird, nämlich dass mit Top-level Ontologien in Bezug auf die Koexistenz diverser Ontologieansätze so verfahren werden kann wie mit jeder anderen Ontologie: Dass nämlich eine Fusion resp. ein Mapping von Ontologien auch bei *Top-level Ontologien* problemlos möglich sei.⁴¹⁶ Der Umstand, dass diese Lösungsidee zum Umgang mit konkurrierenden TLO-Ansätzen trotz zahlreicher Versuche bislang nicht überzeugend bewerkstelligt werden konnte, ist ein erster Indikator dafür, dass diese Position nicht haltbar ist. Vielmehr führt dieser Misserfolg geradewegs zum eigentlichen Kernproblem. Damit sind die Probleme, die mit einem solchen TLO-Mapping verbunden sind, etwas näher zu betrachten.

Grundsätzlich zeigt sich ein Ontologie-Mapping dann als unproblematisch, wenn die abzubildenden Ontologien auf die gleiche Top-level Ontologie referenzieren.^{417, 418} Das liegt darin begründet, dass es mit der Top-level Ontologie mitsamt ihrer Top-level Kategorien eine einheitliche Referenzebene gibt, auf die sich die unterschiedlichsten Ontologien beziehen können. Darin besteht gerade ein zentrales Argument für Top-level Ontologien, weil erst über sie die volle semantische Interoperabilität erreicht werden kann. Bei einem direkten Mapping mit fehlender Referenz auf eine einheitliche Top-level Ontologie lässt

⁴¹⁵ Vgl. exemplarisch Milton (2004).

⁴¹⁶ Vgl. zum *Ontology Matching* bzw. *Ontology Alignment* Noy (2004), Shvaiko/Euzenat (2005), Zimmermann et al. (2006), Kalfoglou/Schorlemmer (2010), Padilha et al. (2012) sowie Euzenat/Shvaiko (2013); vgl. speziell im jenseits von Top-level Ontologien stehenden *PLM-Kontext* Smirnov/Shilov (2013).

⁴¹⁷ Vgl. etwa Heller et al. (2004), Noy (2004, 2009: 578 f.), Mascardi et al. (2010), Anjum et al. (2012) sowie Padilha et al. (2012); vgl. auch Shvaiko/Euzenat (2005).

⁴¹⁸ Ein solches Mapping von Ontologien ist grundsätzlich entweder über eine geteilte Ontologie im Sinne einer TLO-Referenz machbar oder aber durch Heuristik-basierte Mapping-Verfahren bzw. maschinelles Lernen, daneben sind auch hybride Ansätze denkbar, vgl. etwa Noy (2004).

sich demgegenüber das *Problem konzeptueller Heterogenität* als auch das *Problem semantischer Heterogenität* nicht ausschließen, was mit Blick auf die kritischen Prozesse von IoX-Systemen inakzeptabel ist. Der Versuch eines TLO-Mappings gestaltet sich analog zu diesem zweiten Fall, nur mit dem grundsätzlichen Unterschied, dass es eine einheitliche Referenzebene nun nicht mehr gibt, und es diese in der Informatik selbst auch gar nicht geben kann. Denn diese Top-level-Ebene ist als oberste Ontologieebene der Informatik bereits auf die Bestimmung der meta-ontologischen Kriterien bezogen, die fundamental ist.

Würde es bei den Diskrepanzen der Top-level Ontologien lediglich um Nuancen gehen, müssten sich alle Beteiligten auf einen Standpunkt einigen können. Das aber ist gewiss nicht der Fall. Aus der Tatsache, dass es eine solche Einigung nicht gibt, die auf eine durch alle Beteiligten auch in Grundsatzfragen identisch geteilte Realitätsauffassung hinausliefere, folgern Borgo/Lesmo (2008) in Anbetracht der Koexistenz diverser Top-level Ontologien, dass die Lösung im *Ontologie-Mapping heterogener Top-level Ontologien* bestehen müsse:

»The goal, thus, is far from having everything under one single description of reality. The idea is that, in order to reliably communicate and interact, one needs to know what others (people, agents, organizations or artificial systems) believe about reality and, it is assumed, this result is effectively achieved once one has available the foundational ontology that best captures their view of reality. That is, to be able to interact with another system, we need to have available its foundational ontology. In this way one can build a formal interface to translate information from one system to another by coding the information in the first into the view of reality that the latter adopts.«⁴¹⁹

Da dieser Lösungsansatz zum einen explizit im hier interessierenden industriellen Kontext postuliert wird, sich mit Berners-Lees (1999) semantischer Vision einer kontrollierten Anarchie deckt, zum anderen das im Folgenden näher erörterte Kernproblem ad acta legen würde, ist eine eingehendere Auseinandersetzung mit diesem Gedanken unumgänglich. Dabei muss es zunächst gelten, den Lösungsvorschlag Borgo/Lesmos (2008) selbst zu rekapitulieren, um ihn dann einschließlich der praktischen Umsetzungsversuche zu reflektieren: Zentral an ihrer Überlegung ist, dass es für sie offenbar im Grunde unerheblich ist, auf welchen der diversen Top-level Ontologieansätze untergeordnete Ontologien referenzieren. Denn bei diesem Lösungsansatz geht man davon aus, dass ein Ontologie-Mapping heterogener Top-level Ontologien eine problemlose Option darstellt. Daraus folgt, dass nicht *eine* spezifische Top-level Ontologie die Referenzbasis für untergeordnete Ontologien bildet, sondern wahlweise beliebige alternative fundamentale Ontologien. Damit entfielen die schwierige Bestimmung geeigneter TLO-Theorieanwärter, die indessen auch in anderen Kontexten gerade als essentiell erachtet wird.⁴²⁰ Im PLM-Kontext würde dies bedeuten, dass der aufwändige Prozess des Vergleichs IoX-relevanter Top-level Ontologien, die tiefere Reflexion ihres Bezugs auf spezifische philosophische Ontologieansätze, die obligatorische Analyse ihrer praktischen Eignung und ihrer formalen Beschreibungssprachen jeweils allenfalls in einem Grad zu vollziehen wäre, der ein TLO-Mapping zulässt. Weder die aufwändige Evaluation und Selektion noch die schwierige Vereinheitlichung von Top-level Ontologien wäre damit erforderlich, die – wie sich zeigen wird – unvermeidlich ist.

⁴¹⁹ Borgo/Lesmo (2008: 3).

⁴²⁰ Vgl. etwa für *Middleware* Oberle (2006).

Implizit besagt die Position Borgo/Lesmos (2008), dass es keine grundlegenden qualitativen Unterschiede zwischen den Top-level Ontologien gibt, und dass es auch keinen Unterschied macht, mit welcher Top-level Ontologie bei diesem Procedere gestartet wird. Denn alles ist problemlos in alles übersetzbar, wobei diese These auch für kritische Prozesse Bestand haben müsste, die IoX-Systeme regelmäßig kennzeichnen. Ohne Frage ist der Gedanke Borgo/Lesmos (2008) überaus verheißungsvoll, denn in einem vollständigen TLO-Mapping bestünde der Schlüssel zur totalen semantischen Interoperabilität intelligenter Systeme im Allgemeinen und zur *Smart Enterprise Integration* im Besonderen. In einer ersten Kritik ist jedoch gegen diesen Lösungsvorschlag einzuwenden, dass der Charakter von *Top-level Ontologien* gerade darin besteht, dass sie einen spezifischen Blickwinkel auf die Realität geben; sie manifestieren in fundamentalen Fragen den Wirklichkeitsbezug, der indessen zwischen den TLO-Theorieanwärttern *de facto* höchst heterogen konzipiert wird.

Insofern liegt die Vermutung nahe, dass es sehr wohl überaus entscheidend ist, welche der diversen Top-level Ontologien für die Zwecke komplexer IoX-Systeme bemüht wird, was die Diskurse im dritten, vierten, fünften und sechsten Teil belegen werden. Die Inkommensurabilitätsthese ist deshalb zutreffend, weil heterogene TLO-Theorieanwärtter in konzeptueller wie semantischer Hinsicht das technologische Design komplexer IoX-Systeme in allen fundamentalen Fragen völlig unterschiedlich bestimmen. Fehlen bspw. in der ursprünglich bemühten Top-level Ontologie wesentliche Kategorien oder Aspekte, sind solche Defekte auch nicht durch ein TLO-Mapping mit einem geeigneteren TLO-Ansatz korrigierbar. Die qualitativen Unterschiede von Top-level Ontologien spielen also offenbar eine *essentielle* Rolle, weil Top-level Ontologien als fundamentale Ontologien auch von *fundamentalem* Einfluss auf das technologische Design von Informations- und Wissenssystemen sind. Insofern ist auch von grundlegender Relevanz, welche der zahlreichen Top-level Ontologien in einem spezifischen Kontext zugrundegelegt wird und inwiefern diese speziell für diesen Kontext als adäquat gelten kann. Bei Top-level Ontologien sind durchaus qualitative Abstufungen festzustellen; einzelne TLO-Ansätze sind von ihrer Konzeption her gewiss für bestimmte Zwecke ungeeignet. Schließlich kann auch insofern Inkompabilität gegeben sein als einzelne TLO-Theorieanwärtter auf Basis inkommensurabler formaler Ontologiesprachen operieren. Dabei muss eine *universale* Lösung das Ziel sein.

Im Anschluss an diese erste Reflexion eines solchen TLO-Mappings ist in einem zweiten Schritt der Fokus auf bisherige praktische Umsetzungsversuche zu richten. Dabei ist festzustellen, dass solche Initiativen zu einem TLO-Mapping entweder wieder aufgegeben wurden (OntoMap) oder sich aber noch in der Versuchsphase befinden (COSMO, MSO, ROMULUS). Vor allem aber ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass keinerlei praktische Evidenz, ganz besonders auch nicht im Hinblick auf die kritischen Prozesse von PLM-Systemen, besteht. Es steht außer Frage, dass sich ein solches TLO-Mapping in zahlreichen, den komplexen Praxiskontext in geeigneter Weise simulierenden Testläufen umfassend bewährt haben muss. Praktische Experimente mit einem TLO-Mapping im laufenden

Betrieb sind riskant und nichts für sicherheitskritische Prozesse in produzierenden Industrien wie der Luft- und Raumfahrtindustrie oder der chemischen Prozessindustrie. Allein schon deshalb bildet die durch Borgo/Lesmo (2008) im Industriekontext vertretene Position zumindest zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Alternative. Mit den folgenden Ausführungen muss es mehr als fraglich erscheinen, ob sie je zu einer Option avancieren wird.

Diese Einschätzung wird gestützt durch spezielle Analysen, die sich mit einem solchen TLO-Mapping kritisch auseinandersetzen: Mascardi et al. (2007) kommen zu dem Schluss, dass solche Versuche eines TLO-Mappings durch fundamentale Probleme begleitet werden. Konform dazu konstatiert Abbas (2013) in seiner Untersuchung, dass Top-level Ontologien entweder schwach kompatibel oder schlicht inkompatibel sind. Im Kontext von Heavyweight-Ontologien, in dem semantische Technologien auf die Interoperabilität und Intelligenz kritischer Prozesse im *Smart Enterprise* zielen, ist das ein vernichtendes Urteil. Festzuhalten ist, dass einige wenige Top-level Ontologien durchaus einen gewissen Verwandtschaftsgrad aufweisen, so dass im Zuge einer möglichen Homogenisierung zumindest prinzipiell eine Fusion realisierbar erscheint. Ohne umfassende Zugeständnisse ihrer Proponenten zur Vereinheitlichung der Sichtweisen wird dies aber nicht zu erreichen sein.

Die bei Borgo/Lesmo (2008) offenbarte Idee eines problemlosen Mappings über sämtliche jeweils relevante Top-level Ontologien im Sinne eines "plug-and-play Charakters" muss indessen auch in sehr langfristiger Betrachtung als abwegig erachtet werden. Wie die Ausführungen im fünften und sechsten Teil im Einzelnen zeigen werden, ist eine ganze Reihe von Top-level Ontologien derart heterogen konzipiert, dass ein auch bei kritischen Prozessen problemloses TLO-Mapping niemals möglich sein wird. Auch werden sich die Ansätze aufgrund ihrer fundamentalen Unterschiede nicht ohne weiteres homogenisieren lassen. Insofern zeigt sich mit dem Schaffen immer neuer, letztlich konkurrierender Top-level Ontologien und dem heute real existierenden breiten Spektrum entsprechend heterogener, teils widersprüchlicher Ansätze die ursprüngliche Intention der Verbesserung der Interoperabilität durch eine TLO-Referenz grundsätzlich konterkariert. Auch wenn durchaus weiterhin zu erforschen bleibt, inwieweit ein TLO-Mapping resp. eine TLO-Fusion einzelner TLO-Ansätze durch Modifikation möglich ist, besteht im TLO-Mapping offenbar kein Weg, der im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* beschritten werden kann.

Der Grund für die Tatsache, dass der Glaube an ein totales Mapping aller Top-level Ontologien eine zwar wünschenswerte, aber letztlich naive Vorstellung ist, liegt nicht nur in dem enormen Aufwand eines solchen Unterfangens, sondern vielmehr in dem Kernproblem der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* begründet: Das prinzipielle Scheitern eines TLO-Mappings auf breiter Basis oder gar als Totalansatz ist bedingt durch die *paradigmatische Inkommensurabilität* der Top-level Ontologien. Damit besteht in der paradigmatischen Inkommensurabilität aller Top-level Ontologien das eigentliche Kernproblem. Mit dieser Inkommensurabilität ist hier eine teilweise oder gar vollständige Unübersetzbarkeit der Begriffe bzw. Kategorien zwischen den verschiedenen Top-level Ontologien gemeint.

Während der Inkommensurabilitätsbegriff eigentlich aus der Mathematik stammt, wurde er Anfang der 1960er Jahre gleichzeitig, wenn auch unabhängig durch die Wissenschaftstheoretiker Kuhn (1962) und Feyerabend (1962) aufgegriffen, mit jeweils subtil anderer Interpretation.^{421, 422} Hier wird der Inkommensurabilitätsbegriff auf den Ansatz Kuhns (1962) beschränkt, weil es um eine *paradigmatische* Inkommensurabilität geht. Mit Blick auf die semantische Wende resp. ontologische Revolution der Informatik bietet es sich insgesamt an, auf Kuhns (1962) Phasenlehre zur Wissenschaftsentwicklung und ihrer Termini aufzubauen. Denn das Inkommensurabilitätsproblem ist in Kuhns (1962) Phasenlehre unmittelbar mit seinem Paradigmenkonzept verbunden, und dies gilt für das Inkommensurabilitätsproblem von Top-level Ontologien in der Smart Enterprise Integration analog.

Der Rekurs auf Kuhn (1962) erfolgt hier unter der wesentlichen Einschränkung, dass sein Werk weder für die Zwecke einer technologischen Disziplin wie die Informatik verfasst wurde, noch speziell auf den in einem nicht unmittelbar empirischen Zusammenhang stehenden wissenschaftlichen Fortschritt in Sachen der Top-level Ontologie zielt. Insofern wäre es gewiss verfehlt, seine Phasenlehre eins zu eins auf diesen Kontext übertragen zu wollen. Einzelne Aspekte, wie etwa das Auftreten von Anomalien und dergleichen mehr, sind in diesem Kontext im eigentlichen Kuhnschen Sinne nur bedingt zu beobachten, da es sich bei Ontologien nicht um erklärende Theorien und damit verkoppelte Fragen wissenschaftlicher Entwicklung handelt. Insofern es im Folgenden explizit um eine bedingte Projektion der Kuhnschen Phasenlehre auf den Widerstreit der TLO-Theorieanwärter geht, ist hier nicht auf die spezifisch im Zusammenhang erklärender Theorie vereinzelt hervorgebrachte Kritik an Kuhns Inkommensurabilitätsthese einzugehen.⁴²³ Auch stellt das Paradigmenkonzept im Ontologiekontext weniger auf einen Paradigmenwechsel und eine entsprechende Herausforderung des alten durch das neue Paradigma ab als vielmehr auf die Konkurrenz neuer paradigmatischer Theorieanwärter. Dennoch steht außer Frage, dass sich einzelne zusammenhängende Termini der Kuhnschen Phasenlehre, etwa jene des Paradigmas, der paradigmatischen Inkommensurabilität oder der Theorieanwärter in treffender Weise auf den Widerstreit der Top-level Ontologien übertragen lassen. Dabei ist auch Kuhns Betonung der *semantischen* Inkommensurabilität wie auch seine aus der paradigmatischen Inkommensurabilität geschlossene Inkompatibilität der Paradigmen hervorzuheben.

Der Bezug auf Kuhns (1962) *Structure of Scientific Revolutions* erfolgt hier aus dem Grunde, weil es im Zuge der *ontologischen Revolution* der Informatik ebenfalls um we-

⁴²¹ Dabei reicht die *Inkommensurabilitätsthese* der Mathematik bis auf Platon zurück, vgl. Fritz (1945); in der Wissenschaftstheorie war sie eine der am kontroversesten diskutierten Thesen und Schlagworte der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts, vgl. Hoyningen-Huene/Sankey (2001) und Carrier (2001).

⁴²² Vgl. hierzu auch T.S. Kuhn (1982). Feyerabend sieht die Verbindung zwischen *Ontologie und Inkommensurabilität* dergestalt, dass der Übergang von einer Theorie T' zu einer mit ihr inkommensurablen Theorie T einen vollständigen Ersatz der Ontologie mit sich bringt mitsamt entsprechender Änderung in der Bedeutung aller beschreibenden Begriffe, vgl. Feyerabend (1962: 29, 59).

⁴²³ Vgl. zur Kritik der Inkommensurabilitätsthese *im Kontext erklärender Theorie* Watkins (1970), M. Martin (1972) sowie MacIntyre (1977); vgl. hierzu auch Amsterdamski (1975: 160 ff.), Sankey (1994), Hoyningen-Huene/Sankey (2001) sowie Gattei (2008), insbes. p. 73 ff.

sentliche Fragen des Wissenschaftsfortschritts geht, der gerade durch die paradigmatische Inkommensurabilität der Top-level Ontologien wesentlich ins Stocken geraten ist. Ungeachtet seiner eingeschränkten Verwendbarkeit bietet Kuhns (1962) Phasenmodell zur Wissenschaftsentwicklung für die Informatik daher nutzenswerte Erkenntnisse und eine gewisse Orientierung bei der Frage, worin die Probleme im Wissenschaftsfortschritt der Ontologiekonzeption und speziell der Top-level Ontologie bestehen. Tatsächlich erscheint dieser Fall, wenn man ihn rein auf die paradigmatische Inkommensurabilität bezieht, gar weitaus besser geeignet als die durch Kuhn (1962) selbst bemühten multidisziplinären Fälle aus dem naturwissenschaftlichen Bereich. Denn im Fall der Top-level Ontologien geht es um viel mehr als um *Multidisziplinarität*, also um den Wissenschaftsfortschritt in sich isolierter Disziplinen, wie er durch Kuhn (1962) einerseits und den Kritischen Rationalismus andererseits umfassend thematisiert wurde.⁴²⁴ Vielmehr steht bei Top-level Ontologien die Fortschrittsfrage jenseits aller Multidisziplinarität im Zeichen kollaborativer Kontexte der *Pluri-*, *Quer-*, und *Interdisziplinarität* – sowie der *Transdisziplinarität*.⁴²⁵ In der Tat besitzt die paradigmatische Inkommensurabilität der Top-level Ontologien ihren Ursprung nicht wie bei Kuhn (1962) in vergleichsweise problemlosen disziplinären Kontexten, sondern sie hängt in weiten Teilen gerade damit zusammen, dass die TLO-Theorieanwärter aus äußerst heterogenen Kontexten stammen und ihre Proponenten eine höchst divergente disziplinäre Prägung aufweisen. Teils versagt diese echtes Reflexionsvermögen.

Wie im fünften und sechsten Teil deutlich werden wird, treffen im Diskurs um die Top-level Ontologie höchst heterogene Sichtweisen ihrer jeweiligen Befürworter aufeinander, die von der Informatik über die Philosophie, Linguistik, die Ingenieurwissenschaften bis hin etwa zur Medizin oder Biomedizin reichen. In einzelnen Disziplinen wie der Informatik kommen dabei zusätzlich differente Sichtweisen einzelner Teildisziplinen wie etwa der Informations- und Datenmodellierung einerseits oder der Wissensrepräsentation und Künstlichen Intelligenz andererseits zum Tragen: Das Problem heterogener Auffassungen zur Ontologie besteht also gewissermaßen darin, dass sie im Grunde für *jede* Disziplin und Teildisziplin – und das nicht nur in der Informatik selbst – von Relevanz ist. Darüber hin-

⁴²⁴ Vgl. neben Kuhn (1962) und Popper (1963a) hierzu auch Stegmüller (1987: 279 ff.).

⁴²⁵ Vgl. zur Abgrenzung dieser Konzepte Jantsch (1970, 1972); *Multidisziplinarität* beschreibt ausdifferenzierte spezialisierte Disziplinen, die zueinander in einem isolierten Nebeneinander ohne Kooperation stehen. *Pluridisziplinarität* meint eine vollkommen unkoordinierte disziplinäre Kooperation, die lediglich temporär, punktuell und problembezogen sein kann. Demgegenüber zielt die *Querdisziplinarität* (*Cross-disciplinarity*) auf die Dominanz einer oder weniger Disziplinen als Leit- resp. Grundlagenwissenschaften. Mit der *Interdisziplinarität* geht es um die temporäre Kooperation einer Gruppe von Disziplinen, die insofern als zusammenhängend zu bezeichnen sind, als sie gemeinsame Forschungsprojekte oder Problemlösungsvorhaben verfolgen. Dabei können durchaus mehrere punktuelle, teilweise zueinander inkompatible interdisziplinäre Paradigmen koexistieren. Demgegenüber ist allein die *Transdisziplinarität* im Sinne von Leibnizens *Scientia generalis* universal, als sie zielgerichtet nach der Einheit aller Erkenntnis, allen Wissens und aller Wissenschaften strebt, indem sie auf Basis universaler Grundlagen operiert, die die Grenzen sämtlicher Disziplinen transzendieren. Neben komplexen Systemen, strukturwissenschaftlichen Theorien sowie – im Sinne von Leibnizens *Mathesis universalis* – mathematischen Methoden und mathematischer Logik usw. spielen dabei mit Blick auf die Einheit der Erkenntnis und des Wissens insbesondere damit korrespondierende universale resp. formale Ontologien eine elementare Rolle.

aus vollzieht sich dieser Diskurs nicht nur in den Reihen der Wissenschaft, sondern auch in der praktischen Sphäre, aus der ebenfalls einzelne TLO-Ansätze stammen. Auch hier gilt, dass Ontologien im Grunde für genauso zahlreiche Bereiche relevant sind, wie es IT-Systeme an sich sind. Dabei beginnen sich die mit heterogenen Auffassungen zur Ontologie verbundenen Probleme im U-PLM-Referenzszenario etwa in der produzierenden Industrie erst allmählich abzuzeichnen, während die fundamentale Änderungsproblematik gesetzt ist.

Top-level Ontologien stehen im Zeichen der oben genannten kollaborativen Kontexte, wobei sie ihrem Wesen nach eine *universale Ontologie* verkörpern. Denn sie setzen sich mit den grundlegenden Strukturen des Seienden und damit der Wirklichkeit auseinander. Mit ihrem Wesen als universale Ontologie im klassisch philosophischen Sinne ist offensichtlich, dass die *Top-level Ontologie* nicht multi-, pluri-, quer-, und auch nicht interdisziplinär veranlagt sein kann, was gerade ihre problematische paradigmatische Inkommensurabilität bedingt. Vielmehr lässt sich dieses Inkommensurabilitätsproblem allein aufheben durch eine integrierte Ontologiekonzeption, die tatsächlich *transdisziplinärer Natur* ist, als sie in universaler und ganz grundsätzlicher Weise auf die *Einheit der Erkenntnis und allen Wissens* zielt.⁴²⁶ Auch für Piaget (1972) steht in wissenschaftstheoretischer Hinsicht bereits außer Frage, dass das Ziel in der *Transdisziplinarität* bestehen muss:

»[W]e may hope to see a higher stage succeeding the stage of interdisciplinary relationships. This would be 'transdisciplinarity', which would not only cover interactions or reciprocities between specialised research projects, but would place these relationships within a total system without any firm boundaries between disciplines.«⁴²⁷

Mit Mittelstraß (1989b) ist also »Interdisziplinarität [...] nicht das letzte Wort der Wissenschaft; dieses lautet vielmehr *Transdisziplinarität*«. ⁴²⁸ Nicht nur ist jede echte Einheit der Wissenschaft erst eine *transdisziplinäre Einheit*,⁴²⁹ sondern es kann für die Informatik in ihrem natürlichen Integrationsstreben allein angezeigt sein, sich an der Transdisziplinarität zu orientieren. Die für die Informatik notwendige *transdisziplinäre Wissenschafts- und Wissenspraxis* steht in engstem Zusammenhang mit der durch Hedrich (1994, 1999) skizzierten *strukturwissenschaftlichen Revolution* und dem damit verbundenen Denken in komplexen Systemen. In der Tat ist für das Transdisziplinaritätskonzept, das nicht umsonst ursprünglich mit Jantsch (1970, 1972) von einem Komplexitätsforscher stammt, von Anfang an das *Systemdenken* maßgeblich, das Jantsch (1972: 107) als »systems approach« mitunter in Anlehnung an Churchman (1968) entwickelt. Auch für Piaget (1972: 138 f.) ist der Transdisziplinaritätsbegriff entsprechend als »general theory of systems or structures« definiert, was nicht nur auf Piagets (1973) eigenen Strukturalismus weist, sondern insgesamt die *Komplexitätsforschung als transdisziplinäre Strukturwissenschaft* begründet. Das impliziert mit Wallerstein et al. (1996) nicht weniger als eine neue Wissenschaftspraxis:

⁴²⁶ Das gilt für Wissenschaft und Praxis gleichermaßen, wobei für erstere damit gleichzeitig das Ziel der *Einheit der Wissenschaften* impliziert ist.

⁴²⁷ Piaget (1972: 138).

⁴²⁸ Vgl. Mittelstraß (1989b: 77), Hvh. des Verf.

⁴²⁹ Vgl. Mittelstraß (1987: 156), Mainzer (1993: 18) sowie Nicolescu (2002: 44).

1. Zur Funktion der Top-level Ontologie (TLO) im Internet of Everything (IoX)

»Perhaps we are witnessing the end of a type of rationality that is no longer appropriate to our time. The accent we call for is one placed on the complex, the temporal, and the unstable, which corresponds today to a transdisciplinary movement gaining in vigor.«⁴³⁰

Möglich wird eine solch transdisziplinäre Wissenschaftspraxis aber erst durch ein einheitliches wissenschaftstheoretisches Fundament, das im Sinne von Ladyman (2002) epistemologische und ontologische Aspekte mit umschließt. Das aber ist nur möglich auf Basis eines *metaphysischen Fundaments*, von dem sich alles andere systematisch herleitet. Der Kern dieses Fundaments repräsentiert genau das, was unabhängig von dieser metaphysischen Diskussion als Kern des Transdisziplinaritätskonzepts erachtet wird, nämlich ein »common system of axioms«,⁴³¹ wobei auch von einer »generalized axiomatics« gesprochen werden kann.⁴³² Denn eine solche Axiomatik, die sich auf alle Wissenschaften bezieht, kann nur eines verkörpern, nämlich metaphysische Dispositionen. Im Komplexitätsparadigma beinhalten solche Dispositionen etwa die Basisentscheidungen, dass die Welt relational ist und selbst eine komplexe Struktur aufweist, dass diese Komplexität über die Relationalität ihrer Elemente entsteht, dass die Welt aktiv und nicht passiv ist, dass die Welt prozessual und nicht stationär ist, dass ihre Prozesse irreversibel und nichtlinear sind, dass sie damit historisch einmalig wie pfadabhängig sind, dass es im Sinne der Emergenz Neues in der Welt geben kann, dass Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft als *prozessuale Einheit* zu sehen sind und so fort. Methodologisch lässt sich unmittelbar ableiten, dass ein entsprechendes Weltverständnis komplexes Systemdenken erfordert. Eine solche Axiomatik muss einheitlich für alle Wissenschaft, Technologie und Praxis gelten, da sich alle auf dieselbe Welt – oder fragmentierter: auf dasselbe Diskursuniversum beziehen. Das aber kann ohne eine metaphysische Fundierung nicht gelingen, weil es dazu einer CPSS-adäquaten, universalen Ontologie bedarf, die eine integrierte Ontologiekonzeption eröffnet.

Transdisziplinarität zielt auf die Einheit aller Wissenschaften und Technologie. Sie lässt sich allerdings nicht allein methodologisch verfolgen, weil eine Einheit der Erkenntnis wie die Einheit des Wissens in kategorialer wie in meta-ontologischer Hinsicht eine metaphysische Einheit voraussetzt. Deshalb ist Transdisziplinarität ohne eine Axiomatik unmöglich, und entsprechend ist diese von Beginn an auch essentieller Teil des Transdisziplinaritätskonzepts. Wenn Lichnerowicz (1972) *Transdisziplinarität* allein auf Grundlage der Mathematik zu realisieren sucht, liefe eine solche Axiomatik auf eine rein logico-mathematische Axiomatik hinaus. Eine rein mathematische Methodologie ist jedoch mit Verweis auf den nichtontologischen und nichtepistemologischen Charakter der Mathematik aus wissenschaftstheoretischer Sicht als nicht ausreichend zu werten. Tatsächlich lässt sich die mathematische Methodologie komplexer Systeme deshalb nicht isoliert von der Ontologie, Epistemologie und damit von einer metaphysischen Referenzbasis konzipieren, weil komplexe Strukturen sich auf ein Sein und Werden beziehen, dessen Einheit es zunächst unter

⁴³⁰ Wallerstein et al. (1996: 79).

⁴³¹ Vgl. Berger (1972: 26).

⁴³² Vgl. Jantsch (1972: 106).

Berücksichtigung des Allgemeinen wie des Besonderen zu begründen gilt. Offenbar muss Transdisziplinarität zuvorderst auf eine *metaphysische Axiomatik* der Wissenschaften hinauslaufen, die auf Basis der wissenschaftlichen Metaphysik zugleich eine logico-mathematische Axiomatik impliziert. Denn die mathematische Logik wie insgesamt die mathematische Methodik ist inhärenter Teil jeder techno-wissenschaftlichen Metaphysik. Mathematik kann jedoch keine metaphysischen Probleme lösen, die für die Verwirklichung einer Transdisziplinarität wie auch der Ansprüche der Komplexitätsforschung insgesamt zwingend zu lösen sind. Lichnerowicz (1972) ist der nichtontologische Charakter der Mathematik durchaus bewusst; eine ontologische Referenz der Mathematik ist aber unabdingbar, um eine methodologisch begründete Einheit der Wissenschaften verwirklichen zu können.⁴³³ Die in Pkt. 4.2 erörterte *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads (1929a) verbindet nicht nur Mathematik und Ontologie, sondern diese Verbindung repräsentiert gerade den wesentlichen Kern des *metaphysischen Logizismus*, in dem letztlich die Lösung besteht.

Mit Schelling (1794: 50) ist »Wissenschaft überhaupt [...] ein Ganzes, das unter der Form der Einheit steht«. Geht die *Einheit des Wissens* im Sinne der Whitehead-Popperschen Kosmologie Hand in Hand mit der *Einheit aller Wissenschaften*, einschließlich der wissenschaftlichen Philosophie und der Technologie, stellt sich die Frage, wie diese Einheit zu realisieren ist. Es ist heute vielfach die Ansicht von Wissenschaftstheoretikern, dass sich diese Einheit allenfalls *methodologisch* vollziehen lässt. So konstatiert etwa Agazzi (2001: 10): »the idea of an *ontologically* based unity of science cannot be defended seriously«, während für D’Avis (1989) die »Alternative zwischen einem ontologischen und einem methodologischen Lösungsweg [...] eine Scheinalternative [ist]«, weil »[o]ntologisch angelegte Einheitsversuche [...] an der Vielfalt der Untersuchungsobjekte« scheitern würden;⁴³⁴ was insbesondere »an der irreduziblen Vielfalt der Phänomene« liege.⁴³⁵ Offensichtlich wird bei solchen Positionen regelmäßig übersehen, dass eine *ontologische* Einheit dann nicht ausgeschlossen ist, wenn man diese auch tatsächlich über eine entsprechend mächtige Ontologie realisiert. In Bezug auf die jüngeren wissenschaftlichen Metaphysiksysteme, wie sie etwa Whitehead (1929a), Bunge (1977a) oder Rescher (2000a) vorgelegt haben, scheint es ein gewisses Unverständnis zu geben, was sich etwa bei D’Avis (1989) erkennen lässt, wenn mit Blick auf die Transdisziplinarität allein die *methodologische* Einheit als "logisch ausgezeichnet" erachtet wird, »da nur hier das Abstraktionsniveau erreicht wird, das den Übergang vom Interdisziplinären zum Transdisziplinären möglich macht.«⁴³⁶

Wenn gerade auch für die Informatik das Ziel der *Transdisziplinarität* in ihrer Eigenschaft als Strukturwissenschaft letztlich als selbstverständlich vorauszusetzen ist, steht das Erfordernis einer transdisziplinären Ontologie der Informatik vollends außer Frage. Dabei ist Ontologie immer *universale Ontologie* insofern, als alle Ontologie auf eine oberste Re-

⁴³³ Vgl. Castonguay (1973).

⁴³⁴ Vgl. D’Avis (1989: 3).

⁴³⁵ Vgl. D’Avis (1989: 53).

⁴³⁶ Vgl. D’Avis (1989: 3).

ferenzebene zu beziehen ist, die als *Universalontologie* fungiert. Als universale Ontologie hat die *Top-level Ontologie* mit der klassisch philosophischen Ontologie zu korrespondieren, wobei zu berücksichtigen ist, dass die paradigmatische Inkommensurabilität in entscheidender Weise auch darauf zurückzuführen ist, dass sie – wie im fünften Teil dargelegt – in der Sphäre der klassischen Ontologie selbst existiert. Neben der Fülle an Ontologiesystemen ist auf Quines (1968) *ontologische Relativität* zu verweisen. Diese Feststellung ist mit Blick auf die aktuelle Kontroverse um die Inkommensurabilitätsthese von einigem Stellenwert: Zwar unterstreicht Kuhn (1962) selbst, dass hinter dem Inkommensurabilitätsproblem eine *semantische* Inkommensurabilität steht. Daraus allerdings wie Devitt (2001: 145) zu folgern, sie sei eine *semantische Doktrin* ist genauso verkürzt wie Sankeys (1994: 197) These, wonach die Inkommensurabilität ein linguistisches Problem sei – und kein metaphysisches. Richtig ist vielmehr, dass die Inkommensurabilität nur oberflächlich ein linguistisches Problem verkörpert, während es tatsächlich im Kern metaphysischer Natur ist.⁴³⁷ Umgekehrt besitzt jede Inkommensurabilität mit Perovich (1981) entsprechende ontologische Konsequenzen; in Bezug auf Kuhn kann mit Gattei (2008: 106 ff.) daher auch von einer *ontologischen Inkommensurabilität* gesprochen werden, als sich diese auf veränderte Welten im Zuge von Revolutionen resp. Paradigmenwechsel bezieht.⁴³⁸

Zutreffend ist mit Sankey (1994) und Devitt (2001) auch, dass der hinter dem linguistischen Ontologiekonzept stehende Konstruktivismus der problematischen Inkommensurabilität genauso zuträglich ist wie der Idealismus, während der hinter dem realistischen Ontologiekonzept stehende Realismus die Kommensurabilität tendenziell fördert. Tatsächlich ist die Inkommensurabilität der Top-level Ontologien nur auf den ersten Blick ein linguistisches Problem; im Wesentlichen markiert sie ein *metaphysisches* Problem: Denn sie zeigt sich bedingt durch eine Divergenz der jeweiligen meta-ontologischen Kriterien, woraus folgt, dass diese für einen allgemein voraussetzbaren Referenzkontext konkret zu spezifizieren sind. Nur auf diese Weise wird auch das metaphysische Problem überwindbar. Dieser Referenzkontext besteht in komplexen U-PLM-Systemen im Kontext der IoX-basierten *Smart Enterprise Integration*. Damit ist insgesamt evident, dass sich die paradigmatische Inkommensurabilität von Ontologien der Informatik, deren Bedeutung mit ihrer unkoordinierten Verbreitung gewiss noch zunehmen wird, nicht ohne ein metaphysisches Fundament auflösen lässt. Daraus folgt schließlich, dass die Top-level Ontologie der Informatik nahtlos mit der philosophischen Sphäre verwoben ist, was wiederum auch in diesem Fall die Notwendigkeit eines einheitlichen Ontologiebegriffs impliziert, der *universal* ist.

Zur konkreten Überwindung des Inkommensurabilitätsproblems ist es erforderlich, die TLO-Theorieanwörter einem rationalen Theorienvergleich zu unterziehen. Kuhn (1962) selbst ist vereinzelt unterstellt worden, dass Paradigmen bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit

⁴³⁷ Vgl. hierzu auch Boros (1990).

⁴³⁸ Diese *ontologische Inkommensurabilität* ist bei Gattei (2008: Fn. 155) *nicht* metaphysisch gemeint.

unvergleichbar wären.⁴³⁹ Dabei ist auch hier zwischen einem erfahrungswissenschaftlichen und einem technologischen Anwendungskontext zu differenzieren, da die Theorienvergleiche methodisch jeweils anders zu vollziehen sind. Im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* geht es bei solchen Theorienvergleichen um einen technologischen Anwendungskontext, für den sich relativ problemlos Anforderungskriterien bzw. Vergleichsschemata entwickeln lassen, anhand derer sich die Adäquanz der jeweiligen Theorieanwörter objektiv evaluieren lässt. Tatsächlich sind Top-level Ontologien im Sinne eines rationalen Theorienvergleichs dann objektiv vergleichbar, wenn diese auf einen spezifisch konkretisierbaren, für alle Seiten geeigneten und hinreichend komplexen Referenzkontext bezogen werden. Dieser ist mit *Closed-loop U-PLM-Systemen* im Kontext der *Smart Enterprise Integration* gegeben, dem die konkurrierenden Top-level Ontologien als komplexestem und zugleich diffizilstem ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenario der Informatik gerecht zu werden haben. Dieser Referenzkontext bietet nicht nur für Befürworter linguistischer AI-Ontologien oder realistischer CM-Ontologien unmittelbare Anknüpfungspunkte, sondern sorgt auch für ausreichend kontroverse Berührungspunkte zwischen ihnen.

Aufgrund des inflationären Gebrauchs des Paradigmenbegriffs in der Informatik, aber auch mit Verweis auf die Kritik an seiner uneindeutigen Verwendung sei er mit Kuhn (1974: 460) nochmals konkretisiert:⁴⁴⁰ ein *Paradigma* ist »what the members of a scientific community, and they alone, share«. Paradigmen repräsentieren Gruppen von Vertretern wissenschaftlicher Spezialgebiete mit kohärentem Verständnis hinsichtlich Fragen insbesondere zum Weltmodell, zu Erkenntnismethoden, wissenschaftstheoretischen Aspekten, zur Semantik oder etwa zur Methodik des technologischen Systemdesigns. Mit Blick auf die paradigmatische Inkommensurabilität stellt Kuhn (1962, 1974) gleichzeitig darauf ab, dass die fachliche Kommunikation über Gruppengrenzen hinweg schwierig ist und oft – etwa durch unterschiedlich verwendete Begriffe – zu Missverständnissen führt,^{441, 442} die zuweilen in grundsätzlichen Meinungsverschiedenheiten münden.⁴⁴³ Gegenstand der Kontroversen sind nicht zuletzt die nichtempirischen Voraussetzungen, die Befürworter konkurrierender Paradigmata zur Vertretung ihrer jeweiligen Standpunkte benötigen.⁴⁴⁴ Der damit verbundene grundlegendste Aspekt der Inkommensurabilität konkurrierender Paradigmata besteht für Kuhn indessen darin, dass ihre jeweiligen Befürworter ihre Tätigkeit insgesamt in verschiedenen Welten ausüben.⁴⁴⁵ All dies ist in der Diskussion der inkommensurablen Top-level Ontologien zweifelsohne gegeben; aufgrund der kollaborativen Kontexte vermutlich noch mehr als in den durch Kuhn (1962) selbst bemühten disziplinären Beispielen.

⁴³⁹ Vgl. hierzu Hoyningen-Huene (1990).

⁴⁴⁰ Vgl. zur Kritik des *Paradigmabegriffs* Masterman (1970).

⁴⁴¹ Vgl. Kuhn (1962: 149).

⁴⁴² Vgl. zu konkreten Beispielen etwa Ahmad (2007).

⁴⁴³ Vgl. Kuhn (1974: 461 f.).

⁴⁴⁴ Vgl. Kuhn (1962: 148).

⁴⁴⁵ Vgl. Kuhn (1962: 150).

Dass die Natur des Ontologiebegriffs auch insgesamt richtig im Sinne des Paradigmas zu erschließen ist zeigt sich daran, dass es außer Frage steht, dass ontologische Konzeptualisierungen und Konstruktionsakte im Allgemeinen *soziale* Konstrukte darstellen. Mit Uschold/Grüniger (1996) geht es bei Ontologien um ein *intersubjektiv* geteiltes Verständnis der realen Welt. Das steht ähnlich auch für Gruber (2004: 5) außer Frage, wenn er auf den Gedanken *sozialer Gemeinschaften*, weniger jedoch auf wissenschaftliche Paradigmen abstellt: »Every ontology is a treaty – a social agreement – among people with some common motive in sharing«, was sich durchaus im Sinne von Quines (1948) *ontologischer Verpflichtung* interpretieren lässt. Allerdings wird mit Pkt. 3.4 bzw. Pkt. 3.5 deutlich werden, dass mit Blick auf Grubers *epistemische Ontologie* eine solche Einschränkung auf das *Intersubjektive* wenig sinnvoll ist. Genauso wird sich mit Pkt. 6.2.8 zeigen, dass ein einfacher Konsens im Sinne der *Konsenstheorie der Wahrheit* gerade mit Blick auf wissenschaftliche Paradigmen verfehlt ist. Im dritten Teil wird herausgearbeitet, dass mit Blick auf die Referenzontologie techno-wissenschaftliche Paradigmen wesentlich sind und damit ein paradigmatisches Ontologieverständnis, von dem sich dann auf eine paradigmatische Inkommensurabilität einer Ontologie schließen lässt, wenn es sich um konkurrierende Paradigmen bzw. um ontologische Theorien handelt, die zueinander in einem Konkurrenzverhältnis stehen. Anders gewendet gibt es in einem Einheitsparadigma keine Inkommensurabilität,⁴⁴⁶ womit *prinzipiell* sämtliche semantischen Interoperabilitätsprobleme entfallen. Daraus folgt, dass alle Ontologie den Grundsätzen *universaler Ontologie* entsprechen sollte, was nur auf Basis einer integrierten Ontologiekonzeption gelingen kann, die in ihrer Referenz auf eine geeignete Top-level Ontologie von transdisziplinärer Natur ist. Die in ihrer TLO-Referenz *universale Ontologie* einerseits und die *Einheit der Erkenntnis bzw. allen Wissens* andererseits bedingen sich also gegenseitig. Gerade rein konsensbasierte linguistische Ontologien laufen dadurch, dass sich dieser Konsens im Sinne Grubers (2004) lediglich auf eine wodurch auch immer motivierte Vereinbarung wie auch immer abgegrenzter einzelner Gruppen handelt, besonders Gefahr, solche Inkommensurabilitätsprobleme zu induzieren.⁴⁴⁷ Die für die *Smart Enterprise Integration* relevante umfängliche semantische Interoperabilität, etwa auch über technologische und wissenschaftliche Ontologien hinweg, lässt sich auf diese Weise kaum realisieren. Gilt es in solchen Fällen die paradigmatische Inkommensurabilität mitsamt ihrer gerade relevanten Grundsatzfragen aufzulösen, kommen somit auch linguistische Ontologien weder um eine Referenz auf die Top-level Ontologie noch damit verbunden auf die techno-wissenschaftliche Metaphysik und klassische Ontologie umhin. Diese grundsätzliche Konsequenz wird durch ihre Verfechter im Widerstreit linguistischer vs. realistischer Ontologie allerdings kaum bedacht.

Die Frage, worin mit Blick auf die ontologische Revolution der Informatik nun die Paradigmen bestehen, ist somit leicht zu beantworten: Wenn Kuhn (1962) im Rahmen seiner

⁴⁴⁶ Vgl. auch Brown (2001: 123).

⁴⁴⁷ Das ist nicht zuletzt dadurch bedingt, dass *linguistische Konzepte* wesentlich *konstruktivistischer* Natur sind; diese Problematik räumen auch linguistische Ontologen wie Pustejovsky (1998: 330) ein.

Struktur wissenschaftlicher Revolutionen von einer *Inkommensurabilität konkurrierender Paradigmen* spricht,⁴⁴⁸ es also um eine *paradigmatische* Inkommensurabilität geht, wird deutlich, dass jede Top-level Ontologie ein solches Paradigma konstituiert.⁴⁴⁹ Denn es sind die Top-level Ontologien, die mit grundsätzlichen Unterschieden im Weltmodell, in den Erkenntnismethoden, im Theorie- resp. Systemdesign bzw. mit ihrer kategorialen Semantik erst die Inkommensurabilität bedingen. Wenn Kuhn (1962) hervorhebt, dass die Befürworter der jeweiligen Paradigmen ihre Tätigkeit in verschiedenen Welten ausüben, wird deutlich, dass Paradigmen explizit oder mindestens implizit regelmäßig metaphysische und erkenntnistheoretische Überzeugungen beinhalten. Gerade in Bezug auf die Top-level Ontologien ist evident, dass jeder TLO-Theorieanwärter explizit oder implizit mit disparaten philosophischen Positionen aufwartet, die damit erst ihre Inkommensurabilität bedingen.

Dass sich neben dem Paradigmbegriff vor allem auch der Inkommensurabilitätsbegriff Kuhns (1962) für das Problemverständnis konkurrierender Top-level Ontologien anbietet, liegt darin begründet, dass dieser explizit auf die *semantische* Inkommensurabilität abstellt. Mit dieser semantischen Inkommensurabilität meint Kuhn (1962) nichts anderes, als dass das eine Paradigma nicht ohne weiteres in das andere *übersetzbar* ist. Wird versucht, Informations- oder Wissenssysteme auf der Grundlage widersprüchlicher Top-level Ontologien zu interoperationalisieren, kann dies zu Problemen führen, die auf den ersten Blick gar nicht ersichtlich sind und sich erst im Zeitablauf offenbaren. Hier ist etwa auf heterogene Zeitkonzepte, auf vollkommen disparate Entitätstypen, auf divergente Bedeutungskontexte sowie auf Ambivalenzen und entsprechende Interpretationsfehler zu verweisen.

Ein Mapping auf der Ebene der Top-level Ontologien ist nicht zu vergleichen mit einer einfachen Übersetzung auf Ebene der Anwendungsontologien, wie man sie von Lightweight-Ontologien kennt. Denn Top-level Ontologien bilden keine bloße Agglomeration einzelner Klassen oder Kategorien, sondern sie sind vielmehr als komplexe *Kategorien-systeme* zu verstehen, die als Heavyweight-Ontologien zusätzliche Axiome und Einschränkungen besitzen. Damit sind Top-level Kategorien nicht ohne weiteres ineinander übersetzbar, ohne ihren semantischen Gehalt zu verlieren. Inkommensurabilität bedeutet also in diesem Fall, dass auf der Ebene der Top-level Ontologien selbst eine grundsätzliche konzeptuelle wie semantische Heterogenität gegeben ist, die mit der teilweisen oder gar vollständigen Unübersetzbarkeit von Begriffen bzw. Kategorien tatsächlich fundamental ist. Vor allem aber wird diese fundamentale Inkommensurabilitätsproblematik durch solche Übersetzungen divergenter Ontologien nicht gelöst, sondern nur auf eine andere Ebene

⁴⁴⁸ Vgl. etwa Kuhn (1962: 150).

⁴⁴⁹ Diese Feststellung gilt – wie dargelegt – allein mit Blick auf die *ontologische Revolution der Informatik*. Da sich im Zuge der Wissenschaftspraxis ein zunehmender Rückgriff auf die Wissensrepräsentation abzeichnet, und die Wissenschaftspraxis der Zukunft gegebenenfalls insgesamt auf eine formale Wissensrepräsentation hinausläuft, wird es nicht nur Paradigmen im Bereich der Top-level Ontologie geben, sondern auch auf anderen Ontologieebenen, insbesondere bei *wissenschaftlichen Ontologien*, die auf der Ebene der Domänenontologien zu verorten sind. Analoges kann für *technologische Ontologien* gelten.

verschoben:⁴⁵⁰ Denn es bleibt ein erkenntnistheoretisch ungelöstes Problem, wie zwischen inkommensurablen Wahrnehmungen resp. Konstruktionen desselben Realitätsausschnitts eine bedeutungserhaltende Übersetzung geleistet werden kann.⁴⁵¹ Auf jeden Fall müssten operationale Kriterien zur Überprüfung der Bedeutungserhaltung bei Übersetzungen inkommensurabler Paradigmen angeführt werden. Und dies ist in diesem Fall nicht möglich.

Mit Verweis auf Stegmüllers (1979a) strukturalistische Überlegungen zur Übersetzbarkeit von Theorien im Kontext von Quines (1968) *ontologischer Relativität* wird deutlich, dass eine solche Übersetzung von Top-level Ontologien nicht einmal im Ansatz versucht werden könnte, ohne dass dabei eine entsprechende *Rahmentheorie* als Minimalanforderung vorausgesetzt würde.⁴⁵² Die Frage der konkreten Umsetzung bleibt bei Borgo/Lesmo (2008) auch entsprechend offen, und das kann deshalb nicht verwundern, weil es eine solche Rahmentheorie für die bedeutungserhaltende Übersetzung von Top-level Ontologien nicht gibt – und wohl auch nie geben wird. Denn eine solche Rahmentheorie müsste an den Unterschieden ansetzen, die zwischen den philosophischen Ontologien resp. metaphysischen und epistemologischen Positionen bestehen, auf denen die diversen Top-level Ontologien mindestens implizit gründen.⁴⁵³ Praktisch betrachtet heißt das, dass die für die Top-level Ontologie relevanten Fundamente, nämlich die philosophischen Systeme etwa von Aristoteles, Brentano, Bunge, Chisholm, Hartmann, Husserl, Kant, Peirce, Rescher, Russell, Strawson oder Whitehead weder komplett noch in Teilen ineinander übersetzbar sind.

Aus dem Paradigmenkonzept sowie der paradigmatischen Inkommensurabilität folgert Kuhn die These der paradigmatischen Inkompatibilität.⁴⁵⁴ Diese Inkompatibilitätsthese, die in direkter Verbindung zum Inkommensurabilitätsproblem der Top-level Ontologien steht, ist deswegen von Belang, als damit nochmals deutlich wird, dass inkompatible Top-level Ontologien auch diametral dem Ziel semantischer Interoperabilität entgegenstehen, das für die *Smart Enterprise Integration* von elementarem Stellenwert ist. Wie oben dargelegt, ist mit der Inkommensurabilitätsthese die teilweise oder gar vollständige Unübersetzbarkeit der Begriffe bzw. Kategorien zwischen den verschiedenen Top-level Ontologien gemeint, was auch hier tatsächlich in der Inkompatibilitätsthese mündet. Im Zuge der Erörterungen im dritten, vierten, fünften und sechsten Teil wird sich die Inkommensurabilitäts- bzw. Inkompatibilitätsthese bestätigen, womit nochmals deutlich wird, dass in einem TLO-Mapping keine mögliche Alternative für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* besteht.

Top-level Ontologien repräsentieren mit ihren ontologischen Grundsatzentscheidungen *metaphysische Positionen*, für die bereits Popper (1979: 218) im Sinne des Kritischen Rationalismus festgestellt hat, dass sie zwar nicht (bzw. im Sinne Bunges wissenschaftlicher

⁴⁵⁰ Vgl. Schütte/Zelewski (1999: 12, Fn. 4).

⁴⁵¹ Vgl. zu diesem Problem bereits Schütte/Zelewski (1999) sowie Dittmann/Schütte/Zelewski (2003).

⁴⁵² Vgl. Stegmüller (1979b: 301 f.).

⁴⁵³ Zwar gehen die *Metaphilosophical Criteria for Worldview Comparison* bei C. Vidal (2012) in diese Richtung, doch bleibt eine Übersetzung metaphysischer bzw. philosophischer Ansätze unerreichbar.

⁴⁵⁴ Vgl. etwa Kuhn (1962: 92); vgl. hierzu ergänzend Watkins (1970).

Ontologie: nur indirekt) empirisch überprüfbar sind,⁴⁵⁵ aber dennoch mit rationalen Argumenten kritisiert oder unterstützt werden können. Wenn sie mit Popper (1979: 321, No. 242) *nicht falsifizierbar* sind, muss eine komparative Analyse der TLO-Theorieanwörter auf die Frage hinauslaufen, ob die eine Theorie – vor dem Hintergrund der Anforderungskriterien – einer rationalen Kritik besser standhält als die konkurrierenden.⁴⁵⁶ Diese Anforderungskriterien sind für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* gegeben, die im Kontext der *Smart Enterprise Integration* anhand von *Closed-loop U-PLM-Systemen* als Referenzszenario im Detail erörterbar sind. Dabei lassen sich diese dezidiert universal spezifizieren.

Wie die obigen Ausführungen zur Rahmentheorie andeuten, wird das Scheitern eines TLO-Mappings auf breiter Basis oder gar als Totalansatz dann direkt offensichtlich, wenn im fünften Teil die hinter den Top-level Ontologien wie BFO, BWW, DOLCE oder Sowa liegenden philosophischen Ontologieansätze in den Fokus der Betrachtung rücken. Denn die Inkommensurabilität der Top-level Ontologien ist primär bedingt durch die Inkommensurabilität der jeweiligen philosophischen Ontologien, die explizit oder zumindest implizit hinter ihnen stehen: Sein vs. Werden, Substanz vs. Prozess, Materialismus vs. Idealismus, Nominalismus vs. Realismus, Endurantismus vs. Perdurantismus – um nur einige zu nennen – bilden in der Philosophie klassische Gegensätze, die sich kaum auflösen lassen. Top-level Ontologien sind damit genauso heterogen und widersprüchlich, wie die metaphysischen Positionen resp. philosophischen Ontologien, auf die sie referenzieren. Bei einem TLO-Mapping wäre nicht nur in einem aufwändigen Prozess Kategorie für Kategorie zu prüfen. Vor allem wäre dabei jeweils genau zu untersuchen, in welcher Gesamtsystematik und in welchem Bedeutungskontext diese Kategorien stehen: gleich bezeichnete Kategorien bedeuten noch lange nicht, dass diese tatsächlich problemlos kompatibel sind. Sie können sich allein schon dadurch fundamental unterscheiden, dass hinter zwei Top-level Ontologien einmal eine Substanzontologie, und einmal eine Prozessontologie steht oder im einen Fall ein linguistisches Ontologieverständnis, im anderen hingegen ein realistisches.

Diese kategoriale Divergenz sei an einem einfachen Beispiel illustriert: die für PLM-Systeme überaus bedeutende Top-level Kategorie "Prozess" existiert zwar in solch unterschiedlichen Top-level Ontologien wie DOLCE, BFO, SUMO, Cyc, BWW oder Sowa. Doch wäre es ein folgenschwerer Trugschluss, daraus auf eine Kompatibilität der Ontologien schließen zu wollen. Vielmehr ist diese Kategorie in jedem Ansatz qualitativ divergent: so bezieht sich ein Prozess in BWW (im Rekurs auf Bunges Substanzontologie) immer auf ein materielles Ding; die Kategorie ist hier entsprechend nicht unabhängig. Demgegenüber ist sie dies (im Rekurs auf Whiteheads Prozessontologie) bei Sowa. Während sich die Prozesskategorie in BFO (als realistischer Ontologie) allein auf reale Sachverhalte

⁴⁵⁵ Diese Auffassung deckt sich mit jener Ayers (1947: 41) als Vertreter des *Logischen Positivismus*, wonach metaphysische Sätze wahre Aussagen zum Inhalt haben, aber weder Tautologien noch empirische Hypothesen. Letzteres ist jedoch in der *wissenschaftlichen Metaphysik* anders.

⁴⁵⁶ Vgl. Popper (1979: 217).

bezieht, muss sie im Zeichen der modalen Logik bei DOLCE weder notwendig auf materielle noch überhaupt auf reale Sachverhalte abstellen. Und selbst wenn es sich wie im Fall von DOLCE und SUMO um zwei linguistische Ontologien handelt, können Inkompatibilitäten der Prozesskategorie beispielsweise aufgrund differierender Zeitkonzepte entstehen, da SUMO – im Gegensatz zu DOLCE – keine vierdimensionalen Prozesse adressiert. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass Top-level Ontologien nicht etwa in Nuancen abweichen, sondern divergente ontologische Grundsatzentscheidungen die Ansätze trennen.

Für die Informatik ist diese kategoriale Divergenz der TLO-Theorieanwörter nicht nur von direkter praktischer Relevanz, sondern sie kann bei der Interoperabilität verschiedener Systeme zu fatalen Konsequenzen führen, wenn sie nicht beachtet wird. Diese praktische Relevanz ist in vielen Bereichen schon heute *de facto* gegeben, etwa im Bereich von Kosteninformationssystemen – bzw. international gängiger: *Accounting Information Systems* (AIS). Wenn sich Wand/Weber (1989a) mit ihrer BWW-TLO nicht nur auf Informationssysteme im Allgemeinen, sondern speziell auch auf AIS beziehen, geschieht dies im Lichte einer spezifischen Substanzontologie. Demgegenüber ist speziell im AIS-Bereich die REA-Ontologie weit verbreitet, die als *Enterprise Ontology* wiederum auf die Sowa-TLO referenziert.⁴⁵⁷ Bei dieser handelt es sich aber um eine Prozessontologie, die etwa die Top-level Kategorie "Prozess" ganz anders auslegt als dies bei der BWW-TLO geschieht. Was den Gesichtspunkt der im AIS-Kontext gewichtigen Interoperabilität betrifft, ist ferner darauf zu verweisen, dass sowohl die Verfechter der BWW-TLO als auch die Sowa-TLO zwar einen kombinierten CM/AI-Ontologieansatz favorisieren, aber jeweils ihren Schwerpunkt im CM-Kontext (BWW) bzw. KR-Kontext (Sowa) besitzen. Partridge (2002a) kritisiert darüber hinaus mit speziellem AIS-Bezug, dass die dahinterstehenden philosophischen Ontologien von Bunge (BWW) bzw. Peirce (Sowa) weder philosophische Hauptströmungen darstellten noch in hinreichender Weise wesentliche Fragestellungen beantworteten.⁴⁵⁸

Tatsächlich ist es sowohl bei der konzeptuellen Modellierung als auch im Rahmen der Künstlichen Intelligenz von umfassend methodischer Relevanz, mit welcher Top-level Ontologie gearbeitet wird. So unterscheiden sich bspw. linguistische und realistische Ontologien fundamental. Ohne Frage ist die realistische BWW-Ontologie, hinter der Bunges materialistische Ontologie und sein wissenschaftlicher Realismus steht, etwa vollkommen verschieden von der linguistischen DOLCE-Ontologie, die selbst vor Fiktion und Mythologie nicht Halt macht und dem wissenschaftlichen Realismus entsprechend ablehnend gegenübersteht. Beide Ontologien implizieren nicht nur eine andere Methodik. Sie unterscheiden sich vor allem auch inhaltlich: Die durch die Analytische Philosophie inspirierten Debatten über mögliche Welten und kontrafaktische Aussagen, die für linguistische Ontologien wie DOLCE selbstverständlich sind, werden durch Bunge (2006: 236) gerade ganz entschieden als wissenschafts- und realitätsfern kritisiert. In gleicher Weise ist es für

⁴⁵⁷ Vgl. Geerts/McCarthy (2002).

⁴⁵⁸ Konkret nennt Partridge (2002a) Identität, Individuationsprinzip und Mereologie.

Bunge sinnlos, über andere Welten als unsere eigene zu spekulieren;⁴⁵⁹ die Multiversum-Hypothesen sind für ihn vielmehr realitätsfern und pseudowissenschaftlich.⁴⁶⁰ Wenn selbst ausgewiesene Ontologieexperten wie Colomb (2007: 90) die Ansicht vertreten, dass DOLCE und BWW nicht zuletzt deshalb miteinander kompatibel seien, weil sie beide auf die aristotelische Ontologie zurückgehen, greift dies offenbar entschieden zu kurz. Solche Positionen sind schlichtweg unhaltbar, da ihre Unterschiede als deskriptive bzw. revidierende Metaphysik grundlegend sind. Wird ein TLO-Mapping leichtfertig durch solche Irrtümer inspiriert, kann dies mit Blick auf kritische Prozesse in Industrie, Medizin, Militär und anderen sensiblen Bereichen, in denen Ontologien zum Einsatz kommen, weitreichende bis fatale Konsequenzen nach sich ziehen, die durch eine Einheits-TLO vermieden werden.

Anhand Kuhns (1962) *semantischer Inkommensurabilität* wird deutlich, dass der durch Borgo/Lesmo (2008) im Industriekontext vorgeschlagene Weg eines TLO-Mappings keine Alternative darstellen kann. Als zentrale Ausgangshypothese kann festgehalten werden, dass die wichtigsten alternativen TLO-Ansätze *nicht* ineinander übersetzbar sind. Dass das Inkommensurabilitätsproblem dennoch nicht ungelöst bleiben muss, veranschaulicht Kuhns (1962) Phasenmodell zur Wissenschaftsentwicklung: Dieses Modell bietet Orientierung bei der Frage, wie mit der Vielfalt an Top-level Ontologien umzugehen ist. Aus ihm lässt sich folgern, wie sich auf dem ursprünglichen Spezialgebiet der Ontologien, das mittlerweile ins Zentrum der Informatik gerückt ist, Fortschritt erzielen lässt: Kuhns (1962) Phasenmodell besteht aus drei elementaren Phasen,⁴⁶¹ nämlich aus jener der Normalwissenschaft, der Krise und der Revolution; diese mündet nach erfolgreichem Abschluss des Paradigmenwechsels wiederum in der Phase der Normalwissenschaft. Mit Blick auf die Akzeptanz dieses Modells muss es gelten, die Bedeutung seiner zentralen Begriffe der "Krise" und der "Revolution" zu relativieren. Diese sind insofern wenig spektakulär, als ein nicht-linearer Ablauf der Wissenschaftsentwicklung bei Kuhn den Normalfall darstellt. Jenseits aller Normalwissenschaft kommt es immer wieder zu kleineren bis größeren "Krisen" und "Revolutionen", wobei die Intensität ihres Auftretens freilich von der Abgrenzung der Gegenstandsbereiche abhängig ist, auf die sich der Paradigmenbegriff bezieht. Im Zustand der Normalwissenschaft bestimmt ein oder einige koexistierende Paradigmen das jeweilige Gebiet. In der "Krise" weichen Anomalien diese Paradigmen auf. Schließlich setzt sich im Zuge einer "Revolution" ein neues Paradigma durch und das betroffene Spezialgebiet findet somit zur Normalwissenschaft zurück, was für die *Top-level Ontologie* unabdingbar ist.

Was heißt das für die Informatik, insbesondere im Zusammenhang mit der elementaren Ontologiefrage? Vor allem ist damit impliziert, dass es in der Informatik nur *einen* allgemein akzeptierten Ontologiebegriff und *ein* allgemein akzeptiertes elementares Ontologieverständnis geben kann. Denn die Realisierung einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität ist natürlich schon im Ansatz ausgeschlossen, wenn der Bedeutungsgehalt des

⁴⁵⁹ Vgl. Bunge/Ardila (1990: 74).

⁴⁶⁰ Vgl. Bunge (2012: 153).

⁴⁶¹ Von Kuhns (1962) vorparadigmatischer Phase der *Protowissenschaft* sei hier abstrahiert.

Ontologiebegriffs an sich bereits in fundamentaler Weise differiert. Zur allgemeinen Werkstellung semantischer Interoperabilität muss der Ontologiebegriff also an sich notwendig bis ins Detail geklärt sein und keinen Diskussionsspielraum mehr zulassen. Das allerdings hat die Disziplin bisher noch nie in tatsächlich rigoroser, systematischer Weise versucht. Doch das muss sie im Zeichen von Castels (2002) *Ontological Computing* vollziehen, denn allein dann kann sie mit Kuhn (1962) nicht mehr außerordentliche Wissenschaft, sondern reife Wissenschaft sein bzw. im Kuhnschen Sinne wieder den Status der Normalwissenschaft für sich reklamieren. Wie oben dargelegt steht es außer Frage, dass sich Kuhns Phasenmodell nur bedingt auf eine technologische Disziplin wie die Informatik im Allgemeinen und den Wissenschaftsfortschritt im Bereich der Top-level Ontologien im Besonderen übertragen lässt. Zwar wird erst jüngst von einer *semantischen Wende* der Informatik gesprochen. Mit Blick auf die hier relevanten Fragen zum Wissenschaftsfortschritt ist jedoch festzustellen, dass diese seit langem angelegt und auch bereits eingetreten ist: sie hat begonnen, nachdem der rein *syntaktische* Informationsbegriff Shannons (1948) bzw. Shannon/Weavers (1949) der Informationstheorie mit Bar-Hillel/Carnap (1953) bzw. Bar-Hillel (1955) von philosophischer Seite nach und nach durch einen primär *semantischen* Informationsbegriff ersetzt wurde. Ungeachtet der Tatsache, dass graphenbasierte Repräsentationen bereits früher eingesetzt wurden, mündet der semantische Informationsbegriff schließlich bei Quillian (1966, 1968) in *semantischen Netzen*, die hier zum ersten Mal für Zwecke der Wissensrepräsentation eingesetzt werden.^{462, 463} Erklärtes Ziel Quillians (1962: 17) ist die »representation of the meaning of natural language words«. Wenn Quillian (1967: 410) von "commonplace words" spricht, wird bereits deutlich, dass es sich dabei um eine Vorläufertradition linguistischer *Common Sense-Ontologien* handelt. Demgegenüber geht es bei Mealy (1967) resp. McCarthy/Hayes (1969) nicht wie bei Quillian als Computerlinguisten um einfache Wortbedeutungen, auch nicht um mitunter problematische bloße *is_a*-Relationen,⁴⁶⁴ sondern um mehr. Es geht um die Übernahme der Ontologie resp. Metaphysik aus der Philosophie in die Informatik, die sich anfänglich insbesondere auf die Analytische Philosophie erstreckt, und sich in der Folge an philosophisch fundierten Kategoriensystemen orientiert, auf deren Grundlage auch eine komplexe, transdisziplinäre Wissensrepräsentation wahrer Aussagen möglich wird. Es gilt: *AI ist Philosophie*.

Mit der *ontologischen Revolution* der Informatik ist entsprechend mehr gemeint: Für sie sind drei zentrale Merkmale konstituierend, die in ihrem konzertierten Zusammenspiel erst seit jüngerer Zeit die Disziplin bestimmen: (i) die Herausbildung der *Top-level Ontologie* (TLO) als solcher, die aus dem Grunde den Kern dieser Revolution markiert, als sie im Zuge der verschiedensten TLO-Theorieanwärtler für die Informatik mit McCarthy (1995) oder Castel (2002) ganz neue Fragestellungen mitsamt erforderlicher Rekurse auf philoso-

⁴⁶² Vgl. hierzu auch Brachman (1979: 5 ff.).

⁴⁶³ Quillian (1966) spricht von "Semantic Memory"; bei Quillian (1969: 459) heißt es: »This memory is a "semantic network" representing factual assertions about the world«.

⁴⁶⁴ Vgl. hierzu Brachman (1983); vgl. ergänzend Johansson (2008b).

phische Sachverhalte impliziert. Ferner (ii) der Gedanke der *Heavyweight-Ontologie*, mit der Axiome, Einschränkungen und vor allem schließlich die verbindliche TLO-Referenz aller nachgeordneten Ontologien im Zuge des *Ontology Engineering* (OE) zwingend wird. Darüber hinaus (iii) die mit der Selektion einer geeigneten *Top-level Ontologie* verbundene Notwendigkeit eines *universalen Ontologieverständnisses*, das unter anderem auch in einheitlicher Weise für die Zwecke konzeptueller Modellierung (CM) einerseits und der Wissensrepräsentation (KR) bzw. Artificiellen Intelligenz (AI) andererseits angelegt ist. Dieses hat sich dabei auf das *Internet of Everything* (IoX) zu beziehen, das mit Pkt. 1.1 auf einer *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) basiert, die das *Adaptive Enterprise Design* und damit das ontologiebasierte *Sensing Enterprise* mitsamt der *Digital Analytics* erst eröffnet. Das dazu erforderliche *integrierte Ontologiekonzept*, das sämtliche Ontologiearten und -typen eint, setzt wiederum einen *einheitlichen Ontologiebegriff* der Informatik notwendig voraus. Mit der *ontologischen Revolution* der Informatik ist demnach nicht nur gemeint, dass Ontologien im Zeichen von Pisanelli et al. (2002: 125) sämtliche Bereiche der Informatik regelrecht durchdringen, sondern dass die semantischen Netze der Informatik ausgehend von Mealy (1967) durch ein sachgerechtes universales Ontologieverständnis ersetzt werden. Es sind entsprechend diese drei Entwicklungen, die erst die ontologische Revolution in inhaltlicher Hinsicht ausmachen, indem sich erst auf ihrer Basis umfassend intelligente und robuste Informations- und Wissenssysteme und schließlich das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) begründen lassen. Diese Entwicklung lässt sich dabei anhand des Referenzszenarios der *Closed-loop U-PLM-Systeme* eingehend diskutieren, da es – wie in allen komplexen IoX-Szenarien – auch hier um die Realisierung des im zweiten Teil behandelten ED-SOA basierten *Real-Time Enterprise* (RTE) geht, das insgesamt eine vollumfängliche *Smart Enterprise Integration* voraussetzt.

Während das Kontinuum hinsichtlich der mehr oder minder qualifiziert beantworteten Frage bezüglich des Umgangs mit Ontologien in der Informatik von der strikten Standardisierung bis zur vollkommenen Anarchie reicht,⁴⁶⁵ ist für die *Top-level Ontologie* evident: Ungeachtet der Tatsache, dass es immer alternative paradigmatische Top-level Entwürfe geben wird,⁴⁶⁶ die für die Fortentwicklung der Disziplin auch ihre Relevanz besitzen, sollte es mit Smith/Ceusters (2010) für jede Domäne der Realität genau *eine* Referenzontologie und insgesamt *eine* allgemeine Top-level Ontologie geben. Smith/Ceusters (2010) ist auch darin zuzustimmen, dass die Zukunft der *Top-level Ontologie* mindestens auf eine koordinierte Weiterentwicklung der diversen Ansätze hinauslaufen sollte,⁴⁶⁷ was durch Guarino (1997c) ähnlich gesehen wird. Eine Standardisierung von Ontologien durch den Rekurs auf die *Top-level Ontologie*, die mit Ding/Fensel (2001) entsprechend als *Standardisierungsmethode* fungiert, ist ohne Frage nur dann umfassend möglich, wenn die TLO-Ansätze ihrerseits einer Vereinheitlichung unterzogen werden. Eine solche Vereinheitlichung ist

⁴⁶⁵ Vgl. etwa Uschold/Grüninger (2004).

⁴⁶⁶ Dieser Einwand wird etwa durch Borgo/Lesmo (2008) vorgebracht.

⁴⁶⁷ Vgl. hierzu auch die Bestrebungen von Obrst/Cassidy et al. (2006).

nicht nur für das technologische Systemdesign resp. für das *Ontology Engineering* von wesentlichem Belang. Vielmehr ist sie mit Smith/Ceusters (2010: 153) auch essentiell für den transdisziplinären Vollzug aller Erfahrungswissenschaft, und damit für alle Technologie und Praxis, wie es auch das U-PLM-Referenzszenario mit komplexen Produktentwicklungsprozessen deutlich macht. Diese fordern etwa in der Luft- und Raumfahrtindustrie, in der Biotechnologie oder in der Medizintechnik eine direkte bzw. indirekte Referenz auf *Scientific Ontologies* ein. Somit läuft auch in solchen pragmatischen Hinsichten der Ontologiedanke der Informatik unmittelbar auf jenen der Philosophie hinaus, indem dieser im Zeichen universaler Ontologie seit jeher auf das Allgemeine wie Transdisziplinäre zielt.

Die *ontologische Revolution der Informatik* ist als wissenschaftliche Revolution im Sinne Kuhns in vollem Gange. Sie kann aber erst dann im Wesentlichen als abgeschlossen erachtet werden, wenn in Bezug auf den Ontologiebegriff, das Ontologiekonzept und insgesamt in Bezug auf die alles grundlegende *Top-level Ontologie* ein neues Einheitsparadigma entstanden ist. Vor diesem Hintergrund muss ihr gemäß der Kuhnschen Terminologie der Status der Normalwissenschaft letztlich versagt bleiben, solange das Inkommensurabilitätsproblem der Top-level Ontologien nicht überwunden ist. Insofern handelt es sich bei dem Inkommensurabilitätsproblem nicht nur um das Kernproblem der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, sondern es avanciert darüber hinaus in Wissenschaft und Praxis zum Fundamentalproblem der Informatik. Mit Blick auf den Stellenwert der ontologischen Revolution handelt es sich gegenwärtig wohl gar um ihr Fundamentalproblem schlechthin.⁴⁶⁸

Angefangen bei der Datenintegration sind Ontologien zentral für Daten,⁴⁶⁹ Information und Wissen – dem Grundstoff der Informatik. Insofern ist es nicht vermessen zu behaupten, dass sich gemäß der Kuhnschen Terminologie die ganze Disziplin im Grunde gegenwärtig in einer "Krise" befindet. Denn die fundamentalen Widersprüche der *Top-level Ontologien* mitsamt der vor allem auch durch sie bedingten Konfusion der Ontologiebegriffe und Ontologiekonzepte deuten darauf hin, dass die Disziplin gewissermaßen in einer *Phase der Anomalien* zu verorten ist.⁴⁷⁰ Im Zuge der "Krise" konkurrieren die zahlreichen paradigmatischen Top-level Ontologien letztlich darum, an die Stelle des alten Paradigmas zu treten, also jenes Paradigmas, das zwar die Merkmale der semantischen Wende, nicht aber die obigen umfassenderen drei Merkmale der *ontologischen Revolution* aufweisen kann.

Insgesamt betrachtet veranschaulicht und unterstreicht die Kuhnsche Phasenlehre, dass es sich bei den diversen Ansätzen zur Top-level Ontologie um nicht mehr als um konkurrierende *Theorieanwärter* handelt, die sich an einem spezifischen, allgemein voraussetz-

⁴⁶⁸ Das gilt nicht zuletzt für den ontologischen CPS-Gesichtspunkt, der metaphysischer wie semantischer Natur ist; entsprechend konstatieren Estrin et al. (2002: 68): »Interfacing to the physical world is arguably the single most important challenge in computer science today«.

⁴⁶⁹ Vgl. hierzu etwa Dou/LePendu (2005), Chang/Terpenny (2009) oder Skjæveland et al. (2013).

⁴⁷⁰ Im TLO-Kontext sind *Anomalien* nicht in dem Sinne zu verstehen, dass einzelne Phänomene durch ein wissenschaftliches Paradigma *nicht mehr erklärt* werden können; Anomalien im TLO-Kontext meinen vielmehr, dass einzelne TLO-Paradigmen ungeachtet ihrer Verfassung bzw. ihres Anspruchs als auf alle Realitätsbereiche anwendbare *universale Ontologie* an der sachgerechten Realitätsrepräsentation relevanter Realitätsausschnitte und ihrer semantischen Abbildung scheitern, also für diese inadäquat sind.

baren und hinreichend komplexen Referenzkontext wie schließlich der mit Pkt. 7 dargelegten IoX-bezogenen universalen Anforderungsspezifikation zu bewähren haben. Es sollte außer Frage stehen, dass das große Feld der TLO-Theorieanwärter die Notwendigkeit der umfassenden Evaluierung und Selektion bedingt, indem die Selektion mit Blick auf die in Pkt. 1.1 dargelegte *fundamentale Änderungsproblematik* bzw. das *Lock-in-Problem* nicht "blinder Selektion" überlassen werden sollte. Dieses Argument lässt sich untermauern, indem gerade die drei verbreitetsten TLO-Ansätze, nämlich BFO, DOLCE und im Bereich der konzeptuellen Modellierung BWB, die größten Defizite und Defekte aufweisen. Dabei sind alle drei genannten TLO-Theorieanwärter für komplexe IoX-Systeme nachweislich unhaltbar. Schon dieser Umstand impliziert die Notwendigkeit, an die Stelle "*blinder Selektion*", die sich allein über positive Netzwerkexternalitäten in der Diffusion bestimmt zeigt, im Zeichen Poppers (1979: 218) in praxi eine *rationale Selektion* treten zu lassen, die mit Pkt. 7 an einem systematischen *Requirements Engineering* und damit an einer dezidierten IoX-bezogenen universalen Anforderungsspezifikation festmacht. Auf ihrer Basis lassen sich sämtliche TLO-Theorieanwärter umfassend evaluieren und ihre oftmals nicht direkt ersichtlichen Schwächen transparent machen. Es ist also eine komparative Analyse der TLO-Theorieanwärter zu vollziehen, die darauf hinausläuft, inwiefern der eine Theorieanwärter vor dem Hintergrund der universalen Anforderungskriterien einer rationalen Kritik besser standhält als der andere. Dieses Vorgehen ist nicht nur für die Anwendungspraxis unabdingbar, sondern auch für das theoretische Feld zu fordern, indem es dieses im Zuge wissenschaftlicher Diskurse fortwährend zu bereinigen gilt. Auch hier müssen aktive Selektionsmechanismen greifen, um das heillose Nebeneinander konkurrierender TLO-Theorieanwärter zu beenden. Allerdings ist festzustellen, dass solche aktiven Diskurse bisher kaum stattfinden, obschon es um das Fundamentalproblem der Informatik geht, das mit der *ontologischen Änderungsproblematik* wenig Aufschub erduldet.

Im Kontext der Kuhnschen Phasenlehre besteht die Lösung des Inkommensurabilitätsproblems somit darin, die TLO-Theorieanwärter im Zuge eines rationalen Theorienvergleichs einer aktiven Selektion zu unterziehen. Bei dieser Selektion muss es darum gehen, die für die im Rahmen des *Requirements Engineering* erarbeitete universale Anforderungsspezifikation passenden TLO-Theorieanwärter zu identifizieren. Dieses Vorgehen wird unterstützt durch das Referenzszenario der *Closed-loop U-PLM-Systeme*, an dem sich jeder TLO-Ansatz gleichsam zu bewähren hat. Im *Internet of Everything* lässt sich die Diffusion einer adäquaten *Top-level Ontologie* gewiss nicht verordnen, nicht zuletzt, weil die Anwendungskontexte mitunter höchst unterschiedlich sind. Entsprechend kann in der Selektion von Quasi-Standards der einzige Weg bestehen, um eine *de facto* Standardisierung der *Top-level Ontologie* zu erreichen, um also im Kuhnschen Sinne ein neues Einheitsparadigma zu realisieren. Allerdings spricht einiges dafür, diese Selektion gerade auch mit Blick auf die Zukunftsoffenheit der Ontologiearchitektur von Seiten der Wissenschaft aktiv zu begleiten. Denn diese Selektion muss vor dem Hintergrund von McCarthys (1995)

"*general world view*" und Castels (2002) *Ontological Computing* gesehen werden; sie sollte nicht in die falsche Richtung führen, wenn es bei ihr im Leibniz-Whiteheadschen Sinne um die Grundfragen der Informatik insgesamt geht. Das gilt umso mehr, als bereits in Pkt. 1.1 festgestellt wurde, dass der Disziplin zumeist das notwendige Rüstzeug fehlt um die Ontologiedebatte überhaupt in sachgerechter Weise führen zu können: Das zeigt die von Informatikern propagierte Idee des TLO-Mappings, indem es eine naive Annahme ist, dass sich unterschiedliche metaphysische Weltansichten über ein semantisches Mapping nivellieren und sich die heterogenen TLO-Ansätze somit vereinbar machen lassen. Dass jeder echte Informatiker notwendig zum versierten Ontologen arrivieren muss steht spätestens mit Computern als *cyber-physischen "Reality Machines"* außer Zweifel. Allerdings setzt dieses Erfordernis entsprechende Änderungen in der Informatikausbildung voraus, die indessen über die Programmierung bei Neuhaus/Florescu et al. (2011) hinausgehen sollten.

Demgegenüber setzt eine zukunftsorientierte TLO-Selektion den intensiven Diskurs der TLO-Theorieanwörter, eine eingehende Reflexion ihrer philosophischen Fundamente, sowie einen rationalen Theorienvergleich auf Basis der in Pkt. 7.2 dargelegten universalen Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwörter voraus. Dieses Unterfangen lässt sich darüber hinaus in jeder der genannten Hinsichten exemplarisch anhand des universalen U-PLM-Referenzszenarios untermauern. Letztlich wird sich nur auf diese Weise die *ontologische Revolution* der Informatik in grundsätzlicher Hinsicht abschließen lassen, womit die Disziplin auf das neue *Einheitsparadigma des TLO-basierten Ontological Computing* gebracht wird. Dabei ist zu unterstreichen, dass es nicht um irgendein "Paradigma" geht, sondern vielmehr um das Leibniz-Whiteheadsche "Einheitsparadigma" der Informatik, indem bereits gezeigt wurde, dass Castels (2002) Frage, "*what computing is*", dahingehend zu beantworten ist, dass *Computing* im Zeichen von Mealy (1967), McCarthy/Hayes (1969), Kent (1978), Hirschheim et al. (1995), McCarthy (1995) sowie Pisanelli et al. (2002) immer ein *Ontological Computing* ist. Indem dieses prinzipiell explizit oder mindestens implizit metaphysisch fundiert ist, besitzt die Informatik auch generell eine metaphysische Wurzel, ohne die sie sich nicht sachgerecht verstehen lässt. Insofern ist evident, dass Castels (2002) *Ontological Computing* allein dann in richtiger Weise aufgesetzt ist, wenn diese metaphysische Fundierung über die oberste Ontologieebene der Disziplin, also über die *Top-level Ontologie*, auch explizit gemacht wird. Die Praxis, darüber hinwegzusehen, ist im Zeitalter des *Ontological Computing*, das sich auf Grundlage von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* vollzieht, nicht mehr aufrechtzuerhalten. Denn solche "*Reality Machines*", die im *Internet of Everything (IoX)* als *Real World Internet (RWI)* mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, können allein dann verlässlich agieren, wenn ihnen ein adäquater "*general world view*" inkorporiert ist. im cyber-physischen *Internet of Everything (IoX)* muss dieser jenseits ggf. kognitiv verzerrter subjektiver Agentenwelten in techno-wissenschaftlich, mitunter physikalisch korrekter Weise realisiert sein.

1.3 IoX-adäquate Spezifikation der Top-level Ontologie als Ziel

»Despite considerable effort on the part of philosophers and information scientists, to create a top-level ontology that seamlessly relates to all possible domain ontologies still appears to be an elusive goal. The logical, semantic and syntactic complexities to attain such a goal turned out to be much greater than expected.«

— Richard Mattessich (2014: 214)

Indem das Kernproblem der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* mit Pkt. 1.2 in der *Inkommensurabilität der TLO-Theorieanwärter* identifiziert wurde und diese in ihrer disparaten metaphysischen Fundierung letztlich inkompatibel sind, muss in einer *IoX-adäquaten Spezifikation der Top-level Ontologie* das Ziel dieser Abhandlung bestehen. Denn allein auf diese Weise wird es möglich, einzelne TLO-Theorieanwärter einer Evaluierung und Selektion zu unterziehen, die an objektiven wie universalen Anforderungskriterien festmacht. Entsprechend bestehen in diesen Anforderungskriterien zugleich die relevanten Evaluierungs- und Selektionskriterien. Damit liegt im *Requirements Engineering* zur Entwicklung der Anforderungsspezifikation für eine CPSS- bzw. IoX-adäquate Top-level Ontologie der alles entscheidende Schritt: Er ist Grundvoraussetzung, um das *Smart Web* als Web 4.0 im Zeichen des *Internet of Everything (IoX)* als *Real World Internet (RWI)* Wirklichkeit werden zu lassen. Indem diese Anforderungsspezifikation im Sinne universalen Ontologie auf Basis einer für die Informatik tatsächlich adäquaten Metaphysik vollzogen wird, ist sie für ihre Ontologie insgesamt vorauszusetzen; sie ist für alle Ontologie gültig.

Wenn das Kernproblem in der Inkommensurabilität der TLO-Theorieanwärter zu sehen ist, läuft seine Lösung letztlich auf das Erfordernis zur Etablierung eines "Gold Standard" hinaus: Die Informatik kommt nicht um die Top-level Ontologie umhin, jedoch kann es nur genau eine tatsächlich universale Ontologie der Informatik geben. Die Lösung des Inkommensurabilitätsproblems bzw. das Ziel dieser Abhandlung kann allein in der Herausarbeitung der CPSS- bzw. IoX-adäquaten Anforderungsspezifikation der Top-level Ontologie bestehen, nicht in einer Detailkritik aller TLO-Ansätze. Ein detaillierter Nachweis für jeden der in Pkt. 1.1 genannten TLO-Theorieanwärter ist aus Gründen des Umfangs hier nicht möglich. Stattdessen wird ein verkürzter Nachweis geführt der die Gründe aufzeigt, warum alle bisherigen TLO-Theorieanwärter nicht CPSS- bzw. IoX-adäquat sind und insofern nicht zum "Gold Standard" avancieren können. Dieser verkürzte, exemplarisch in Pkt. 7.3 vollzogene Nachweis erscheint jedoch hinreichend aussagekräftig, indem die Fundamentalprobleme der Ansätze bereits mit der Kritik ihrer philosophischen Basis im fünften Teil und ihren darauf aufsetzenden meta-ontologischen Dispositionen im sechsten Teil offensichtlich werden. – Auf Basis der im siebten Teil entwickelten Anforderungsspezifikation lässt sich alles vollziehen: die Evaluierung und Selektion jedes einzelnen TLO-Theorieanwärters wie die Entwicklung eines IoX-adäquaten TLO-Neuentwurfs. Während das Ziel dieser Abhandlung in der CPSS- bzw. IoX-adäquaten Anforderungsspezifikation der Top-level Ontologie besteht, kann es hier indessen nicht um den IoX-adäquaten TLO-Neuentwurf als solchen gehen, der auf diesen Grundlagen aufzubauen hat. Wie abschließend in

Pkt. 8.4 konstatiert, fällt dieser vielmehr unter die weiteren Schritte zur praktischen Umsetzung der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*.

Dass die Realisierung des Ziels einer IoX-adäquaten Anforderungsspezifikation der Top-level Ontologie bereits an sich ein überaus aufwändiges Unterfangen darstellt, ist auf sieben zentrale Ursachen zurückzuführen: (i) In weiten Teilen der Informatik ist offenbar unklar, dass es einerseits die unterschiedlichsten ontologischen Integrations- und Anwendungsszenarien gibt, diese andererseits aber mit Blick auf die Systemintegration eine *einheitliche Ontologiearchitektur* verlangen. Entsprechend sollte die Diskussion auch an dem komplexesten bzw. diffizilsten Szenario festmachen, da eine einheitliche Ontologiearchitektur sich auf jedes Szenario beziehen lassen können muss: Dieses besteht in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, die wie viele andere spezifischere Szenarien nach einer *cyberphysischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* verlangt. Dabei besteht der eigentliche AI-Kern des *Smart Web* als Web 4.0 im ED-SOA basierten *Real-Time Enterprise* (RTE), das im Zeichen globaler Intelligenz auf dem *Sense-and-Respond Model* verteilter Systeme aufbaut, womit die Realisierung eines *Adaptive Enterprise Design* elementar wird. (ii) Die große Bandbreite ontologischer Fragestellungen verlangt dabei ein *universales IoX-totales Referenzszenario*, anhand dessen sich eine solche Spezifikation en détail erörtern lässt. (iii) Indessen setzt die Klärung ontologischer Fragestellungen zunächst einmal die Klärung des Ontologieverständnisses der Informatik an sich sowie einen universalen wie explikativen Ontologiebegriff voraus, während beide Aspekte bisher zumeist überaus kontrovers, zuweilen jedoch wenig qualifiziert diskutiert werden.

(iv) Dabei ist im Allgemeinen unklar, dass die Ontologie der Informatik nicht zuletzt aufgrund des zentralen Kriteriums der CPSS-Adäquanz immer *metaphysische* Ontologie ist, die dabei zum einen sowohl techno-wissenschaftlichen Aspekten, zum anderen dem Gesichtspunkt der Computer- bzw. Digitalmetaphysik zu entsprechen hat. Insofern es in beiden Bereichen um komplexe Systeme geht, ist die Metaphysikdebatte auch in dieser Hinsicht zu führen. Allerdings ist dann auch die Metaphysikdebatte *an sich* zu klären, während hier mindestens genauso viele Irrtümer zu beseitigen sind wie in der Debatte um die formale Ontologie der Informatik. (v) Das Inkommensurabilitätsproblem der TLO-Theorieanwärter geht vor allem auf ihre gänzlich disparaten philosophischen Grundlagen zurück. Insofern sind auch diese eingehend zu diskutieren, da sich die einzelnen TLO-Theorieanwärter ansonsten weder sachgerecht verstehen noch einordnen lassen. (vi) Als Vorarbeit für das *Requirements Engineering* ist die Reflexion meta-ontologischer Kriterien unerlässlich, um darauf die Identifikation IoX-adäquater Ontologien begründen zu können. (vii) Ein *Requirements Engineering* ist in der TLO-Debatte ein Novum, nicht zuletzt dann, wenn es auf eine systematische wie universale Entwicklung der Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwärter zielt. Insofern kann es auch nicht überraschen, dass im Allgemeinen unklar ist, worin die Anforderungskriterien insgesamt überhaupt bestehen.

Diese sieben Aspekte bilden entsprechend an sich sieben Teilprobleme des eigentlichen Kernproblems, womit sich auch die Zielsetzung in sieben Teilziele (TZ) zerlegen lässt, die im ersten bis siebten Teil systematisch abzarbeiten sind, bevor im achten Teil insgesamt eine abschließende Betrachtung zur Überwindung des eigentlichen Kernproblems vollzogen werden kann. Diese sieben Teilziele, deren Nummerierung dem jeweiligen Hauptkapitel ihrer Abhandlung entspricht, finden jeweils im Zwischenfazit jeden Hauptkapitels eine kurze Reflexion bezüglich ihrer Zentralaspekte sowie ihrer erreichten Realisierung:

- TZ1 Zur Vorbereitung des *Real-Time Enterprise* (RTE) als generischem, IoX-basierten Anwendungs- und Integrationsszenario ist ein *universales, IoX-totales Referenzszenario* zu entwickeln, anhand dessen sich die einzelnen Ontologieanforderungen bzw. –probleme im Detail diskutieren lassen. Dieses Referenzszenario zum CPS-basierten *Sensing Enterprise* ist in diesem ersten Teil mit *Closed-loop U-PLM-Systemen* zu konzipieren, die sämtliche Ontologiefacetten betreffen: von der *Digital Analytics* über die *Smart Enterprise Architecture* (SEA), die *Smart Factory*, *Scientific Ontologies* bis hin zu *Cognitive Computing* und *Superintelligenz*. Insofern lässt sich nicht nur die universale Anforderungsspezifikation auf seiner Basis diskutieren, sondern in gleicher Weise das Erfordernis des universalen Ontologieverständnisses und einer integrierten Ontologiekonzeption erklären.
- TZ2 Das *Real-Time Enterprise* (RTE) ist aus dem Grunde im zweiten Teil eingehend zu diskutieren, da es als *Sensing Enterprise* einerseits auf die MAS/CAS- bzw. CPSS-Adäquanz, andererseits in Voraussetzung einer integrativen *universalen Ontologie* auf die SEA/SOA-Adäquanz sowie sämtliche Ontologiezwecke zielen muss. Das RTE basiert somit notwendig auf dem *Sense-and-Respond Model*, das ein *Adaptive Enterprise Design* verlangt, welches sich auf Basis einer *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) realisieren lässt. Indem das RTE nicht nur IoT-bezogen, sondern mit der *Digital Analytics* und darauf aufbauenden Diensten auch IoS-bezogen ist, muss seine *Smart Enterprise Architecture* (SEA) insbesondere auf die Grundlage des *Event-Driven SOA* (ED-SOA) gestellt werden. Indessen resultieren nicht allein daraus umfassende infrastrukturelle Ontologieanforderungen, die sich im Kontext der verschiedensten, in Pkt. 3.3.1 abgegrenzten Ontologiearten wie *Functional Ontologies* oder *Task Ontologies* stellen. Vielmehr besteht die eigentliche infrastrukturelle *Core Ontology* in der *Enterprise Ontology* (EO), die mit der *TLO-EO-Verkopplung* zu einem Schlüsselfaktor für das RTE avanciert. Dabei ist insbesondere das PPR-Framework als Integrationskonzept komplexer IoX-Systeme von Belang, indem sich erst auf diesem die IoX-Integration sämtlicher "Things" als PEID-Produkte, sämtlicher IoX-Prozesse wie aller IoX-Ressourcen (PPR) realisieren lässt. Mit Blick auf diese Integration, den Aspekt der *Digital Analytics* sowie die IoX-Steuerung als *Sense-and-Respond Model* sind komplexe IoX-Systeme ohne diesen RTE-Aspekt im Grunde undenkbar: Der RTE-Aspekt repräsentiert erst die globale Intelligenz dieser Systeme, auf die es im AI-Kontext ankommt. Das lässt sich anhand der CPPS der *Smart Factory*, die unter die BOL-Teilphase von *Closed-loop U-PLM-Systemen* fällt, gut illustrieren.
- TZ3 Anhand des Referenzszenarios wie an den RTE-Aspekten werden bereits die grundsätzlichen Probleme deutlich, die unklare Ontologiebegriffe und –konzepte implizieren. An ihnen wird vielmehr das Erfordernis eines allgemeingültigen *einheitlichen Ontologiebegriffs* sowie der Entwicklung eines *integrierten Ontologiekonzepts*, das allen Anwendungs- und Integrationsszenarien gerecht werden kann, ersichtlich. Das gilt sowohl bzgl. der Integration aller PLC-Phasen in *Closed-loop*

U-PLM-Systemen, die in der Produktentwicklung *Scientific Ontologies* genauso berühren wie die Heavyweight-Ontologien der *Smart Factory* in der Produktrealisation. Ferner betreffen sie insbesondere in der MOL-Phase verschiedenste *Web Service Ontologies* wie als produktzentrische Integrationsplattform auch infrastrukturelle *EA Ontologies*. Gleiches trifft damit auf das generische RTE-Konzept insgesamt zu, indem die globale Intelligenz komplexer IoX-Systeme auf der Idee aufbaut, dass *sämtliche* Ontologien in umfassender Weise integriert werden. Das aber setzt zunächst einmal die Konvergenz der Ontologien voraus, indem im CM-Bereich ein anderes Ontologieverständnis dominiert als es in der AI-Sphäre der Fall ist. Damit verbunden ist der umfassende Widerstreit um die OE-Ansatzpunkte aufzulösen, indem dieser ontologischen Integrationsszenarien offensichtlich in grundsätzlicher Weise entgegensteht. Daneben setzt ein ontologisches IoX-Szenario die CPSS-Adäquanz der Ontologie voraus, die jedoch heute durch keinen einzigen Ontologieansatz tatsächlich erfüllt ist. Insofern führt kein Weg daran vorbei, im dritten Teil ein neues IoX- bzw. CPSS-adäquates Ontologieverständnis zu begründen. Dass dieses den Kriterien der MAS/CAS- bzw. SEA/SOA-Adäquanz zu entsprechen hat, wird mit der *Cyber-Physical Ontology (CYPO)* aufgezeigt. Damit verbunden wird das Erfordernis einer IoX-adäquaten Mehrweltenontologie ersichtlich, das darauf zurückgeht, dass für AI-Zwecke zwischen vier genuinen Welttypen zu differenzieren ist, wie sie *CYPO FOX* auszeichnen. Sie baut auf Poppers (1972a) *Drei-Welten-Lehre* auf und ergänzt diese um eine neue vierte Welt. Diese zusätzliche *Welt 4* wird mit der MAS-Adäquanz ebenso zwingend wie mit den *Scientific Ontologies* der Informatik.

TZ4 Indem *CYPO FOX* als integrative Mehrweltenontologie eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* verkörpert, ist im vierten Teil notwendig die metaphysische Debatte zu eröffnen, die mit McCarthy (1995) bzw. Castel (2002) ohnehin unabdingbar wird. Das gilt umso mehr als die Ontologien bzw. Welttypen in der *CYPO*-Architektur über ein "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*" integriert werden, das durch die Referenz auf eine einheitliche, adäquate *Top-level Ontologie* zu stellen ist. Indem *CYPO FOX* Cyber-physische Soziale Systeme (CPSS) zum Gegenstand hat, wird auch eine metaphysische Klärung sämtlicher CPSS-Aspekte erforderlich, die von einem CPSS-adäquaten kausalen Realitätsverständnis einschließlich der *Augmented Reality* bis zur *CPSS-Adäquanz der Semantik* reichen, was ebenfalls allein im metaphysischen Diskurs zu bewerkstelligen ist. Die Metaphysik ist bekanntlich eine Sache für sich, bei der einzelne Systeme mitunter nicht zu unrecht umstritten sind. Wenn die CPSS-adäquate Ontologie der Informatik in keiner Weise an der Metaphysik vorbeikommt, sind somit auch die letztlich unbegründeten Vorbehalte gegenüber der Metaphysik zu klären. Diese beginnen mit der Frage der Möglichkeit der Metaphysik an sich, die auf eine Kritik der einzelnen Metaphysikklassen hinausläuft. Dabei wird die Bungesche Klassifizierung der Metaphysik um eine neue, vierte Klasse ergänzt, und es ist allein diese vierte Metaphysikkategorie, die als techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik eine für die Informatik adäquate Metaphysik verkörpern kann. Diese neue *Klasse-4-Metaphysik* zeichnet sich vor allem durch ihre Korrespondenz mit der *Theorie komplexer Systeme* aus, die für komplexe IoX-Systeme genauso zwingend vorauszusetzen ist. Indessen ist allein die *Klasse-4-Metaphysik* als Kategorie neu, während ihre aktuelle Instanz bewährt ist: es handelt sich um Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik, die allerdings genauer betrachtet allein in der darauf aufsetzenden Variante von *CYPO FOX* als *integrierter metaphysischer Wissensontologie (IMKO OCF)* überzeugen kann. Denn eine techno-wissenschaftliche *Klasse-4-Metaphysik*, die zugleich Digitalmetaphysik ist, kann nur

dann die Basis für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* stellen, wenn ihre Welt- bzw. Ontologietypen im Einzelnen genau abgegrenzt sind. Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik stellt nicht nur den impliziten Unterbau von Poppers (1972a) *Drei-Welten-Lehre*, sondern auch die explizite Fundierung von CYPO FOX als integrierter metaphysischer Wissensontologie.

- TZ5 Die Debatte um die einzelnen TLO-Theorieanwärter lässt sich nicht führen ohne einen eingehenden Rekurs auf die philosophischen Ansätze, auf denen sie gründen. Das gilt umso mehr, als eine universale TLO-Anforderungsspezifikation die Stärken und Schwächen dieser Ansätze zu berücksichtigen hat, die auch insofern Relevanz erfahren, als es in Pkt. 7.3 um eine exemplarische Darlegung der IoX-bezogenen Defizite und Defekte einzelner TLO-Theorieanwärter geht. Denn diese sind nicht zuletzt bedingt durch ihren jeweiligen philosophischen Unterbau. Insofern sind im fünften Teil sämtliche philosophischen Ontologien bzw. Ansätze abzuhandeln, die durch einen unmittelbaren TLO-Rekurs einzelner TLO-Theorieanwärter berührt sind. Aufbauend auf dem vierten Teil stellen sich die Defizite und Defekte, die diese philosophischen Ansätze selbst auszeichnen, vor allem in ihrer Differenz zur *Klasse-4-Metaphysik* dar. Es ist diese, die für die Informatik einzig adäquat ist, während die im fünften Teil abgehandelten Ansätze durchweg niedrigeren Metaphysikklassen zuzuordnen sind, womit sie für diese inferior sind.
- TZ6 Als Vorbereitung der im siebten Teil vorzunehmenden Bestimmung der Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwärter ist im sechsten Teil zunächst eine Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien vorzunehmen, die eine Kritik bestehender Kategoriensysteme mit umschließt. Einige, wenn auch nicht alle der dort behandelten Aspekte bilden dabei gängige Kriterien bisheriger TLO-Vergleiche, die indessen die angezeigte Tiefe vermissen lassen. Insofern verwundert es nicht, dass solche TLO-Vergleiche regelmäßig zu falschen Schlussfolgerungen kommen, die etwa mit einer nachweislich falschen Einordnung der jeweiligen TLO-Ansätze zu tun hat. Damit wird einmal mehr deutlich, dass die gesamte Ontologiedebatte der Informatik keinesfalls auf Basis einer oberflächlichen Behandlung der jeweiligen Aspekte zu lösen ist. Vielmehr tragen solche oberflächlichen Reflexionen letztlich entscheidend zur konfusen Debatte bei.
- TZ7 Ein *Requirements Engineering* wird in der Debatte um die TLO-Theorieanwärter bisher nicht vollzogen, weder in allgemeiner Weise noch in Bezug auf einen konkreten TLO-Ansatz. Indes verlangt jede Antwort auf McCarthys (1995) Hilfsersuchen zur Begründung des "*general world view*" der AI-Disziplin im ersten Schritt ein systematisches wie universales *Requirements Engineering*. Anders lässt sich jene Weltauffassung, die für die Informatik insgesamt gelten kann, kaum begründen. Es steht außer Frage, dass diese Weltauffassung an der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* festzumachen hat, indem darin die maximale Anforderung zu erachten ist, mit der sich der "*general world view*" der AI-Disziplin im *Smart Web* bzw. insgesamt konfrontieren lässt. Denn das *Internet of Everything* verkörpert strukturell betrachtet nichts anderes als die *Monadologie* Leibnizens oder das *Strukturuniversum* Whiteheads: Mehr geht für die Informatik nicht. Damit steht gleichzeitig außer Frage, dass jede sachgerechte Bestimmung der Ontologiefrage der Informatik an der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* anzusetzen hat. Entsprechend ist im siebten Teil auf dieser Grundlage die Bestimmung der Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Theorieanwärter zu vollziehen. Anhand dieser Anforderungskriterien lassen sich dann auch die IoX-Defizite und Defekte der einzelnen konkurrierenden TLO-Theorieanwärter identifizieren, wie es exemplarisch dargelegt wird.

1.4 Sieben Schritte zur Realisierung der IoX-adäquaten TLO-Spezifikation

»An upper-level ontology provides a philosophical foundation.«

— Stephen M. Richard (2006: 105)

Mit Pkt. 1.3 wurde das eigentliche Kernproblem in sieben Teilprobleme zerlegt, deren jeweilige Lösung entsprechend eigene Teilziele implizieren. Die Lösung des Inkommensurabilitätsproblems als Kernproblem vollzieht sich also schrittweise über die Lösung der sieben Teilprobleme bzw. über die Realisierung der damit zusammenhängenden sieben Teilziele. Damit handelt es sich um sieben Schritte zur Realisierung der IoX-adäquaten TLO-Spezifikation, die in den ersten sieben Kapiteln entwickelt werden, bevor im achten Teil eine abschließende Betrachtung zur Frage der Lösbarkeit des Kernproblems erfolgt:

1. Dieser erste Teil wird im folgenden Pkt. 1.5 mit dem Ziel (TZ1) fortgesetzt, zunächst das Referenzszenario darzulegen, anhand dessen sich die Ontologieproblematik der Informatik im Kontext der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything (IoX)* eingehend erörtern lässt. Dabei muss es sich um ein universales wie IoX-totales Referenzszenario handeln; es muss also sämtliche IoX-Aspekte abdecken können. Im Grunde gibt es nur ein einziges Referenzszenario, von dem tatsächlich behauptet werden kann, diese Anforderung einlösen zu können, und dieses ist in *Closed-loop U-PLM-Systemen* gegeben. Es geht bei ihm sowohl um sämtliche der in Pkt. 1.1 erörterten Arten *Cyber-physischer Systeme* (CPS) als auch um sämtliche IoX-Sphären, indem *U-PLM-Systeme* überall zum Einsatz gelangen, von der Luft- und Raumfahrtindustrie über die chemische Prozessindustrie und Biotechnologie, der Medizintechnik, der Halbleiterindustrie, der Softwareindustrie bis hin zum Finanzsektor. Wie in Pkt. 1.5 dargelegt, geht es dabei um sämtliche Ontologiearten bzw. -typen, indem neben den unmittelbaren RTE-Aspekten und den IoT-Aspekten (PEID) die Smart Factory genauso involviert ist wie etwa *Scientific Ontologies* im Zuge der Produktentwicklung. Vor allem aber werden mit diesem Referenzszenario alle ontologisch relevanten SEA-Aspekte offensichtlich, da *U-PLM-Systeme* als auf *Produkt-Service-Systeme* (PSS) bezogene Integrationsplattform der *Smart Factory* bzw. des *Smart Enterprise* zu erachten sind, die eine vollumfängliche *Smart Enterprise Integration* (SEI) einfordern. Insofern sich die in Pkt. 7.2 entwickelte Anforderungsspezifikation an diesem Referenzszenario bewähren können muss, ist es entsprechend detailliert darzulegen.
2. Im zweiten Teil folgt die Konzeption des *Real-Time Enterprise* (RTE), in dem die globale Intelligenz bzw. Steuerungsinstanz eines jeden IoX-Systems bzw. insgesamt des *Internet of Everything* (IoX) zu sehen ist (TZ2). Jenseits des klassischen Internet kommen mit komplexen IoX-Systemen bzw. dem Web 4.0 als *Smart Web Computer* als *cyber-physische "Reality Machines"* ins Spiel, die als entscheidungsautonome *logische Maschinen* Artifiziereller Intelligenz (AI) zu verstehen sind. Jedes *Smart Object*, jeder maschinelle Agent ist in IoX-Strukturen im Zeichen solcher *"Reality Machines"* zu verstehen, womit es sich bei komplexen IoX-Strukturen au-

1. Zur Funktion der Top-level Ontologie (TLO) im Internet of Everything (IoX)

tomatisch um Multiagentensysteme (MAS) wie um *Complex Adaptive Systems* (CAS) handelt. Jede *"Reality Machine"* weist dabei eine Sensorik und Aktorik auf, die virtueller bzw. physischer Natur ist. In komplexen IoX-Systemen sind all diese *"Reality Machines"* systemisch bzw. im Sinne zellulärer Automaten organismisch verbunden, und zwar auf Grundlage des *Sense-and-Respond Model* sowohl in Richtung des *"Sense"* als auch des *"Respond"*. Dabei kann der Verbund der Rechner in Art und Umfang eine Struktur erreichen, bei der von *Grid Computing* gesprochen werden kann, das auf einer solchen Architektur verteilter Systeme gründet. Komplexe IoX-Systeme basieren also immer auf dem *Sense-and-Respond Model*, und dieses läuft unmittelbar auf das *Real-Time Enterprise* (RTE) hinaus, indem die Services, Prozesse, Datenmodelle usw. auf die Basis der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) zu stellen sind. Denn darin besteht bei Multisensorsystemen die Voraussetzung, um aus Daten ontologiebasiert Wissen zu generieren. Indem IoX-Systeme nicht nur IoT-, sondern damit verkoppelt auch IoS-Systeme inkorporieren, bedarf es einer *Service-Oriented Architecture* (SOA), über die alle Services eines Integrationsszenarios orchestriert werden. Da IoX-Systeme ereigniszentrisch angelegt sind, wird somit auch eine ereigniszentrische *Service-Oriented Architecture* (ED-SOA) erforderlich, auf der das RTE als *Sensing Enterprise* insgesamt aufbaut.

3. Der dritte Teil zielt mit CYPO FOX auf die Realisierung eines universalen Ontologieverständnisses wie einer Ontologiearchitektur, auf deren Basis sich sämtliche Ontologien *ad hoc* miteinander verschalten lassen (TZ3). Dieses Unterfangen weist wiederum unmittelbar auf das *Real-Time Enterprise* (RTE) mitsamt seiner globalen Intelligenz bzw. in seiner Eigenschaft als Steuerungsinstanz eines jeden IoX-Systems. Diese ontologische Verschaltung, die eine vollumfängliche semantische Interoperabilität verlangt, ist sowohl mit Blick auf das *Sense-and-Respond Model* wie auf die *Digital Analytics* erforderlich, indem sich eine fehlerfreie AI-Inferenz erst dann gewährleisten lässt, wenn das *Internet of Everything* (IoX) mit Pkt. 6.3 den Status der *Superintelligenz* der dritten AI-Generation besitzt. Dieser Status ist deshalb unabdingbar, weil das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) voraussetzt, dass es in jeder Hinsicht funktioniert und alle möglichen Fehler systematisch ausgeschaltet werden. Mit den unzähligen Interdependenzen, die das *Internet of Everything* aufweist, wird das jedoch allein realisierbar auf Basis eines neuen Verständnis von *Superintelligenz*, das auf einer integrativen MAS-Ontologiearchitektur wie einer hybriden Agentenarchitektur aufbaut, wie sie mit CYPO FOX umrissen wird. Vor diesem Hintergrund legt der dritte Teil gleichzeitig die Inferiorität von Ontologiekonzepten wie dem Gruberschen dar, die heute zwar populär, für IoX-Zwecke aber letztlich völlig unbrauchbar sind, weil sie weder der CPS- bzw. MAS/CAS-Adäquanz noch der integrativen SEA/SOA-Adäquanz genügen.

4. Im vierten Teil werden die metaphysischen Grundlagen von CYPO FOX dargelegt (TZ4). Dabei wird der Leibniz-Whitehead-Konnex herausgearbeitet, wobei deutlich wird, dass es sich dabei um die metaphysischen Grundlagen der Informatik insgesamt handelt. Entsprechend kann eine universale Ontologiekonzeption der Informatik auch nur in jene Richtung gehen, die mit CYPO eingeschlagen wird, indem aufbauend auf dem metaphysischen Leibniz-Whitehead-Konnex eine auf Poppers (1972a) *Drei-Welten-Lehre* aufsetzende *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu begründen ist. Diese hat eine CPSS/SEA-orientierte wie MAS/CAS-fähige Ontologiearchitektur einschließlich hybrider Agentenarchitektur zu verkörpern, und muss ferner den vier Welttypen des CPST- bzw. IoX-Hyperspace gerecht werden.
5. Wie mit Glymour/Ford/Hayes (2000) dargelegt, *ist AI Philosophie*, und insofern ist auch die AI-Ontologie im Allgemeinen wie die Top-level Ontologie im Besonderen notwendig philosophisch zu fundieren. Allerdings kann das bei einem zukunfts-offenen Ontologieverständnis, das mit Pkt. 6.3 gerade auch *Superintelligenz* eröffnet, nicht auf Basis antiquierter philosophischer Ontologien vollzogen werden. Eine kritische Debatte dieser Ansätze fehlt in der Informatik bisher und diese Lücke ist mit dem fünften Teil zu schließen. Vor allem aber ist der kritische Diskurs dieser Ansätze aus dem Grunde unabdingbar, um dezidiert darlegen zu können, warum tradierte meta-ontologische Dispositionen in der im siebten Teil entwickelten TLO-Anforderungsspezifikation keinerlei Berücksichtigung mehr finden können (TZ5).
6. Im sechsten Teil geht es um die engeren meta-ontologischen Aspekte der Top-level Ontologie an sich, die in direktem Zusammenhang mit den im fünften Teil reflektierten philosophischen Ontologien stehen. Dabei sind diese meta-ontologischen Kriterien in einer Weise zu spezifizieren, die dem Moment universaler Ontologie wie den Erfordernissen einer integrierten Ontologiearchitektur entspricht (TZ6).
7. Der siebte und letzte Schritt besteht im *Requirements Engineering* zur IoX-Spezifikation der *Top-level Ontologie* und schließlich in der Entwicklung der Anforderungsspezifikation selbst (TZ7). Die Relevanz der fünfzig identifizierten Requirements wird dabei exemplarisch anhand bestehender TLO-Theorieanwärter gezeigt, womit gleichzeitig ihre Defizite und Defekte beispielhaft verdeutlicht werden. Die entwickelte Anforderungsspezifikation eignet sich indessen nicht nur zur Evaluierung und Selektion aller bestehenden TLO-Theorieanwärter, sondern in gleicher Weise für den erforderlichen IoX-konformen Neuentwurf der *Top-level Ontologie*.
8. Ausgehend von einem Resümee zur Frage der faktischen Lösbarkeit des TLO-Inkommensurabilitätsproblems wird nochmals die für einen IoX-konformen TLO-Neuentwurf relevante Zukunftsfrage der Ontologie erörtert. Die Fortschrittsfähigkeit der Informatik in Richtung von McCarthys (1963a) *Superintelligenzargument* beginnt mit der Neubestimmung ihres Ontologieverständnisses. Nur dann wird jene *ontologische Revolution* möglich, die erst die dritte AI-Generation eröffnen kann.

1.5 Closed-loop U-PLM-Systeme als IoX-totales Referenzszenario

»PLM seeks to fill the gap between enterprise business processes and product development processes. In addition, PLM has one major identifier: it is all about knowledge management. Unlike PDM systems which focus on managing data, PLM, at its core, is a process which supports capture, organization and reuse of knowledge throughout the product lifecycle.«

— Farhad Ameri/Deba Dutta (2005: 578)

Closed-loop U-PLM-Systeme weisen als Technologien eine *technische* wie eine damit direkt verkoppelte und interdependente *konzeptionelle* Komponente auf.⁴⁷¹ Technisch gesehen werden unter dem Begriff der PLM-Systeme (PLMS) regelmäßig konkrete PLM-Softwarelösungen subsumiert,⁴⁷² die sich gegenüber Vorläufer- resp. Basissystemen wie EDM- oder PDM-Lösungen vor allem dadurch auszeichnen,⁴⁷³ dass sie in ein übergeordnetes wertschöpfungs- wie wettbewerbsbezogenes Gesamtkonzept eingebettet sind. Sie stellen dabei explizit und wesensnotwendig auf die konzeptionelle PLM-Systemkomponente ab, deren technische Basis sie bilden. In konzeptioneller Hinsicht bilden PLM-Systeme den zentralen Ansatzpunkt, um den gesamten Produktlebenszyklus vom Anfang bis zum Ende mithilfe aufeinander abgestimmter Modelle, Methoden und IT-Tools integriert und weitestgehend automatisiert zu steuern. Sie stellen dabei nicht nur die Grundlage für den eigentlichen Produktentstehungsprozess, sondern auch für verteilte Innovationsprozesse, indem die industrielle Realisierung kombinierter Produkt- und Prozessinnovationen vollständig auf ihnen gründet. Aber nicht nur darin unterscheiden sich PLM-Systeme grundsätzlich von Vorläufersystemen wie EDM oder PDM. Vielmehr bilden sie darüber hinaus einen ganzheitlichen Ansatz zur kontinuierlichen und integrierten Produkt- und Prozessoptimierung, womit unter Einbezug diverser IT-Systeme nicht weniger als sämtliche Wertschöpfungsprozesse in ihrem Fokus stehen. Mit Blick auf die Produkt- und Prozessoptimierung sorgen sie für die notwendige Transparenz und legen Optimierungspotentiale offen. Analog zu BPM bildet PLM also weniger ein IT-System, sondern vielmehr ein softwaregestütztes Konzept,⁴⁷⁴ nämlich ein systemisches PLC-Steuerungskonzept. Analog zu BPM ist dieses Konzept aber systembezogen, so dass parallel der Relation zwischen BPM und BPMS auch eine Relation zwischen PLM und PLMS besteht. BPM und PLM bilden also Konzepte, die unabhängig von konkreten Softwarelösungen entwickelt werden, jedoch aufgrund von Komplexitätsgesichtspunkten von vornherein auf Softwareunterstützung angelegt sind. Entsprechend werden unter BPMS bzw. PLMS alle diesbezüglichen Softwarelösungen einzelner Lösungsanbieter subsumiert. Auch die PLM-Anbieter selbst definieren PLM-Systeme unter dem doppelten konzeptionellen wie technischen Gesichtspunkt:

⁴⁷¹ Wenn hier von *PLM-Systemen* gesprochen wird, sind damit immer *Closed-loop U-PLM-Systeme* als *PSS-bezogene Integrationsplattform* des *Smart Enterprise* bzw. der *Smart Factory* gemeint; also solche Systeme, die den *IoX-Gedanken* vollständig inkorporiert haben. Alle anderen PLM-Systeme jenseits dieser *IoX-Fixierung* werden demgegenüber als "*konventionell*" bzw. "*inferior*" bezeichnet, vgl. Pkt. 1.5.4.

⁴⁷² Hierzu zählen etwa die PLM-Lösungen der Anbieter Dassault Systèmes (Enovia), Autodesk, Siemens (Teamcenter), PTC (Windchill), SAP und Oracle (Agile), oder etwa die Open-Source Lösung von Aras.

⁴⁷³ Vgl. zur Evolution von PLM-Systemen etwa Ameri/Dutta (2005: 578 f.).

⁴⁷⁴ Vgl. auch Bitzer et al. (2010).

1. Zur Funktion der Top-level Ontologie (TLO) im Internet of Everything (IoX)

»Product lifecycle management is an integrated, information-driven strategy that speeds the innovation and launch of successful products. It is built on a common platform which serves as a single repository of all product-related knowledge, data and processes. As a business strategy, PLM lets distributed organizations innovate, produce, develop, support and retire products as if they were a single entity. It captures best practices and lessons learned, creating a storehouse of valuable intellectual capital for systematic and repeatable re-use.

As an information technology strategy, PLM establishes a coherent data structure that enables real-time collaboration and data sharing among geographically distributed teams. PLM lets companies consolidate multiple application systems while leveraging existing legacy investments during their useful lives. Through open APIs and adherence to industry standards, PLM minimizes data translation issues while providing users with information access and process visibility at every stage of the product's life.«⁴⁷⁵

Eine integrierte und weitestgehend automatisierte Steuerung des PLC über sämtliche Phasen basiert auf intelligenten Prozessen und zieht darüber hinaus auch produzierte intelligente Produkte in ihrer Nutzungsphase mit ein. Überlegene U-PLM-Systeme basieren vor diesem Hintergrund auf dem *Closed-loop U-PLM* als opportuner Konzeption wettbewerbsentscheidender PLM-Systeme.⁴⁷⁶ Denn allein im Closed-loop U-PLM werden Innovations- wie Wertschöpfungsprozesse in geschlossenen, wiederkehrenden Kreisläufen gedacht und bestehen umfassende interoperable Rückkopplungen zwischen Zyklen, Phasen und Systemen. Auf Basis dieser Rückkopplungen wird eine weitgehend automatisierte Wissensgenerierung möglich, die einen entscheidenden Ansatzpunkt für überlegene PLM-Systeme und darauf gründenden Wettbewerbsvorteilen bildet. Ontologiebasierte Closed-loop U-PLM-Systeme bilden *semantisch interoperable Systeme*, in denen die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Sinne integrierter Prozess- und Wissenssysteme zum zentralen Kern avanciert.

Erst mit Blick auf Innovationsprozesse und des in diese inkorporierten Wissensaspekts wird richtig nachvollziehbar, dass es sich beim PLM-Ansatz um ein strategisches Konzept handelt, das auf die Realisierung grundsätzlicher Wettbewerbsvorteile zielt. Analoges gilt für sämtliche Wertschöpfungsprozesse, weil es im Zuge des ganzheitlichen PLM-Ansatzes darum geht, *alle* Prozesse auf die strategischen Ziele auszurichten und aufeinander abzustimmen.⁴⁷⁷ Anders gewendet lassen sich wettbewerbsstrategische Ziele kaum realisieren, ohne in aufeinander abgestimmter Weise an allen im Kontext des Produktlebenszyklus relevanten Innovations- und Wertschöpfungsprozessen anzusetzen. Eine solche Abstimmung wird dabei allein auf Grundlage einer umfassenden, aussagekräftigen Informationsbasis möglich, wie sie erst ontologisch integrierte *Closed-loop U-PLM-Systeme* bieten:

»PLM holds the promise of seamlessly integrating and making available *all* of the information produced throughout *all* phases of a product's life cycle to *everyone* in an organization, along with key suppliers and customers.«⁴⁷⁸

⁴⁷⁵ Siemens (2011e: 9).

⁴⁷⁶ Vgl. hierzu Ameri/Dutta (2005), Jun et al. (2007a, 2007b), Matsokis (2010), Terzi et al. (2010), Kiritsis (2011) sowie Sallez (2012); ältere Ansätze werden in diesem Sinne adaptiert, vgl. etwa Stark (2011: 2).

⁴⁷⁷ Vor diesem Hintergrund sieht bereits S.B. Harris (1996) eine strategische Rolle bei PDM-Systemen. Der U-PLM-Ansatz geht jedoch ganz maßgeblich darüber hinaus, da zum einen der gesamte PLC und damit sämtliche Wertschöpfungsprozesse mit einbezogen werden, zum anderen weil auch am Wissens- resp. Ontologieaspekt und damit insgesamt an kombinierten Prozess- und Wissenssystemen angesetzt wird, vgl. hierzu bspw. Ming et al. (2008) sowie CIMdata (2017).

⁴⁷⁸ Vgl. Sudarsan et al. (2005: 1400).

1. Zur Funktion der Top-level Ontologie (TLO) im Internet of Everything (IoX)

Dabei steht außer Frage, dass dazu eine semantisch integrierte informationstechnologische Infrastruktur, zuvorderst eine *Smart Enterprise Architecture* (SEA) gefordert ist. Grundgedanke des PLM-Ansatzes ist es, komplexe Lebenszyklen einzelner Produkte und Services, ganze Produktlinien und komplexe Produktprogramme integriert und unter strategischen wie operativen Gesichtspunkten von den Kunden- resp. Marktanforderungen bis zur Eliminierung resp. Entsorgung ganzheitlich zu steuern. Dabei übernehmen sie insgesamt etwa in Varianten- oder Kostenhinsicht (LCC usf.) die Steuerung des Angebotsportfolios produzierender Unternehmen. Wie anhand von Abb. 1 deutlich wird, zielt diese Steuerung auf die Integration sämtlicher PLC-Phasen, die indessen höchst heterogen sind:



Abb. 01:⁴⁷⁹ U-PLM-Zyklus in spezieller Auslegung auf produzierende Industrien

Mit geschlossenen U-PLM-Zyklen geht es gewiss nicht nur um die Entwicklung und Produktion, die im Lebenszyklus den "Beginning of Life" (BOL) repräsentieren, sondern auch um die anschließenden Phasen "Middle of Life" (MOL) und "End of Life" (EOL). Die BOL-Phasen umschließen sämtliche Prozesse der Produkt- bzw. Serviceentwicklung, der Produkt- bzw. Servicerealisation im Sinne eines weiten Produktionsbegriffs und umfassen ferner die Distribution bis zum Endkunden. Den Beginn der MOL-Phase markiert die Distribution (externe Logistik) zu dem Zeitpunkt, in dem das Produkt bzw. der Service in den Verfügungsbereich des Endkunden übergeht. Sie umfasst die Nutzung durch den Kunden sowie sämtliche Unterstützungs- und Wartungsaktivitäten (MRO), insbesondere auch die IoX-basierte Fernwartung. Die MOL-Phase umschließt also alle Prozesse, die auf die Produkt- bzw. Servicenutzung bezogen sind einschließlich der Reparatur und reichen bis zum Obsoleszenzmanagement.⁴⁸⁰ Daran schließt sich die EOL-Phase unmittelbar an, die mit dem Nutzungsende des Produkts bzw. Services beginnt, und ggf. zeitlich generell mit dem *End of Service* (EOS) zusammenfallen kann. Die EOL-Phase bezieht sich nicht ausschließlich auf physische Güter, sondern auf PSS-Kombinationen und damit auch auf Services. Dennoch geht es hier vor allem um physische Produkte, die dabei jedoch auch in

⁴⁷⁹ Quelle: Behnen (2015).

⁴⁸⁰ Vgl. hierzu Romero Rojo (2009, 2010).

der EOL-Phase als PSS-Bestandteil zu behandeln sind.⁴⁸¹ Das betrifft verschiedenste Prozesse, etwa die Rückführungslogistik (Reverse Logistics) und mündet im Recycling mit der Wiederverwendung oder Veräußerung von Bauteilen und reicht schließlich bis zur Elimination. Auch hier beschränkt sich der Sachverhalt nicht auf physische Produkte, indem analog dazu auch einzelne Services bzw. immaterielle Komponenten in der EOL-Phase wiederverwendet bzw. neu kombiniert werden können. Das ist etwa dann von Relevanz, wenn bei Individualsoftware exklusive Nutzungsrechte zeitraumbezogen sind.

Die BOL-, MOL- und EOL-Phasen von *Closed-loop U-PLM-Systemen* gehen weit über den bisherigen PDM-Datenaspekt konventioneller PLM-Systeme hinaus, indem sie sich zum einen auf alle drei Dimensionen des in Pkt. 2.5 behandelten PPR-Frameworks erstrecken, während sie dabei zum anderen auf Sensorik in Echtzeit basieren. Entsprechend stellen J. Li et al. (2015) richtig heraus, dass die *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) im PLM sowohl für die BOL-, MOL- wie auch für die EOL-Phase von zentralem Stellenwert ist. In diesem Sinne ist Digital Analytics im PLM-Referenzszenario *Product Life Cycle Analytics*,⁴⁸² wobei nicht nur die BI-Funktionalitäten als *Services* im SOA-Paradigma stehen,⁴⁸³ sondern genauso die diese unterstützende BDA.⁴⁸⁴ In allen Fällen ist dies mit ontologischen Konsequenzen verbunden, die zum einen die jeweiligen Domänen betreffen, zum anderen mit dem SOA-Paradigma vielfältigste infrastrukturelle Aspekte adressieren. Das betrifft etwa das *Quantum Lifecycle Management* (QLM),⁴⁸⁵ wenn es um universale Nachrichtenstandards für eine *ad hoc* Informationsverkopplung im PLM-IoT-Konnex geht.

Der Umstand, dass PLM-Systeme die produzierende Industrie wie das Ingenieurwesen in zunehmendem Maße dominieren, lässt sich auf fünf zentrale Ursachen zurückführen: erstens lassen sich die in Abb. 1 dargestellten Phasen allein auf Basis von PLM-Systemen als Integrationsplattform integriert steuern, weil sich diese unmittelbar am Ablauf des Produktlebenszyklus (PLC) orientieren. Alle im Produktkontext für die Industrie und das Ingenieurwesen zentralen Aspekte, vom Requirements Engineering oder dem Systems Engineering angefangen über die Produktentwicklung und Produktion bis hin zur Wartung und dem Recycling werden heute computergestützt gesteuert und über PLM-Systeme umfassend integriert. Damit emergieren sie zum Kernsystem der produzierenden Industrie wie des Ingenieurwesens insgesamt. Die zweite Ursache liegt in der oben bereits erwähnten strategischen Natur des PLM-Ansatzes begründet; grundsätzliche Wettbewerbsvorteile lassen sich dabei nicht nur durch beschleunigte Innovationsprozesse realisieren, sondern vor allem auch durch die umfassend aufeinander abgestimmte Kombination von Produkt- und Prozessinnovationen sowie durch eine koordinierte Produkt- und Prozessoptimierung. Hierzu gehört auch die Beschleunigung der Produktentwicklung komplexer Produkte

⁴⁸¹ Vgl. Sundin et al. (2008).

⁴⁸² Vgl. Kassner et al. (2015).

⁴⁸³ Vgl. etwa Schiefer/Seufert (2010).

⁴⁸⁴ Vgl. Z. Sun et al. (2015).

⁴⁸⁵ Vgl. etwa Främling et al. (2014) sowie Shrestha et al. (2014).

durch simulationsbasierte Virtual Prototype (VP) Technologien (Virtual Prototyping bzw. Digital Prototyping). Dazu zählen verschiedene PLM-Schlüsselkomponenten wie das Digital Mockup (DMU) oder die alternativ bemühte Repeatable Digital Validation (RDV). Das Digital Mockup (DMU) zielt mit dem Gestaltaspekt (Bauteilgestalt, Produktstruktur) auf die Entwicklung der Baustuktur und ersetzt dabei auf Basis geometrischer CAD-Modelle physische Versuchsmodelle durch computergenerierte Modelle.^{486, 487} Insofern handelt es sich um ein mächtiges Werkzeug zur Designverifizierung.⁴⁸⁸ Ergänzende VP-Technologien zielen dabei neben dem durch das DMU abgedeckten Gestaltaspekt auf weitere Aspekte wie etwa auf die Kinematik, Dynamik oder Festigkeit. Demgegenüber eröffnet die dazu alternativ einsetzbare Repeatable Digital Validation (RDV) eine schnelle Analyse und Validierung von Designalternativen.⁴⁸⁹ Drittens ermöglicht eine integrierte Steuerung damit konkrete Fortschritte bezüglich Kosten- sowie Qualitäts-, Zeit- und Flexibilitätszielen im Zuge kontinuierlicher Verbesserungsprogramme (BPI). Viertens kann auf ihrer Basis ein umfassendes Komplexitätsmanagement gelingen. Im PLM-Konzept besteht vor allem auch deshalb ein strategischer Ansatz, weil auf seiner Grundlage eine weitreichende Beherrschung bzw. Bewältigung von Komplexität möglich wird. Diese bezieht sich insbesondere auf das PPR-Framework (Produkt-, Prozess- und Ressourcenkomplexität) einerseits sowie auf das diesem zugrundeliegenden PPR-Datenmodell (Daten-, Informations- resp. Wissenskomplexität) andererseits. Weil Ontologien und insbesondere Top-level Ontologien in wesentlicher Weise der Komplexitätsreduktion dienen, wird damit der Stellenwert der ontologischen Fundierung von PLM-Systemen deutlich. Diese Komplexitätsreduktion und Integration bezieht sich auf alle Phasen des PLM-Zyklus. Erst Ontologien setzen die semantischen Beziehungen, die für eine integrierte Steuerung des PLM-Zyklus als großes Ganzes unabdingbar sind. Schließlich ist fünftens auf die Compliance und das Risikomanagement hinzuweisen, das sich auf ihrer Basis umfassend verbessern lässt. Hierzu gehören die Einhaltung behördlicher Regularien resp. Sicherheitsauflagen sowie die Einhaltung von Umweltschutzaufgaben (Environmental Compliance) mit industrieübergreifenden und industriespezifischen Regulierungen wie RoHS, WEEE, ELV oder REACH.⁴⁹⁰ Insgesamt betrachtet handelt es sich bei der durch Capgemini (2013) aufgeworfene Frage, ob die Industrie überhaupt noch ohne PLM auskommen kann, offenbar um eine rhetorische Frage.

Heute existieren diverse PLM-Softwarelösungen, die über die tradierten PDM-Systeme grundsätzlich hinausgehen, indem umfassende Funktionalitäten zum Projektmanagement (u.a. Entwicklungskoordination) und zum Workflowmanagement direkt implementiert sind. Genauso sind Funktionalitäten zum Wissensmanagement (KMS) integriert, etwa zum Dokumentenmanagement (DMS) oder zum Content Management (CMS). Wesentlich sind

⁴⁸⁶ Vgl. hierzu Song/Chung (2009), Bitzer et al. (2010) sowie Jeong et al. (2014).

⁴⁸⁷ VP-Technologien sind somit eine Alternative zum *Rapid Prototyping (RP)*, vgl. C.K. Chua et al. (1999). Beim RP werden physische Modelle aus Computermodellen generiert, etwa auf Basis von 3D-Druckern.

⁴⁸⁸ Vgl. Maropoulos/Ceglarek (2010).

⁴⁸⁹ Vgl. hierzu Siemens (2010f).

⁴⁹⁰ Vgl. etwa Siemens (2010d).

dabei vor allem alle Kollaborationsfunktionalitäten, die im Kontext interdisziplinärer und verteilt arbeitender Teams für PLM-Systeme elementar sind. Hierzu gehören u.a. Technologien zum Datenaustausch oder zur Kollaboration, z.B. Enterprise 2.0-Funktionalitäten. Einzelne Anbieter vermarkten ihre PLM-Lösungen explizit als "PLM 2.0", um den Kollaborationsgedanken zu betonen oder um kollaborative Innovationsprozesse effektiver zu gestalten,⁴⁹¹ während in Bezug auf die *Industrie 4.0* (I40) von "PLM 4.0" zu sprechen ist.⁴⁹²

Indessen reichen diese zusätzlichen Funktionalitäten allein kaum aus, um den gesamten PLC zu steuern, was nicht zuletzt besonders für das Closed-loop U-PLM gilt. Vielmehr handelt es sich bei PLM-Systemen zuvorderst um ein Integrationskonzept: In technischer Hinsicht integrieren PLM-Systeme zunächst einzelne Lösungen der Produktentstehung; hierzu gehören CAX-Anwendungen wie CAD, CAE oder CAM. Daneben ist nach wie vor die Integration klassischer Funktionalitäten zum Produktdatenmanagement (PDM) oder zum Änderungsmanagement (ECM) sowie von Werkzeugen zum Konfigurationsmanagement (CM Tools) unverzichtbar.⁴⁹³ Darüber hinaus ist oftmals die Kombination weiterer Softwarelösungen erforderlich, allen voran die Kombination von ERP mit PLM.⁴⁹⁴ Hierzu gehören aber auch weitere Lösungen wie MES, SCM oder CRM, die ebenfalls auf der Basis der PLM-Integrationsplattform zu einem Gesamtsystem zu verknüpfen sind. Dabei hängt die konkrete Abgrenzung einzelner Softwarelösungen entscheidend vom Zuschnitt der jeweiligen PLM-Software ab, wobei dieser Zuschnitt zwischen den einzelnen Lösungsanbietern teilweise in erheblichem Maße divergiert.⁴⁹⁵ Dies gilt insbesondere bezüglich der

⁴⁹¹ Vgl. Dassault Systèmes (2008) sowie IBM (2009b).

⁴⁹² Vgl. hierzu NTT DATA (2015).

⁴⁹³ Mit dem PDM stellt sich insgesamt die Frage der Abgrenzung zum *Master Data Management* (MDM); dieses bezieht sich neben der Verwaltung von Produktdaten auch auf andere Daten (z.B. Kundendaten). Daneben stellt sich schon allein im Hinblick auf die Verwaltung von Produktdaten die Abgrenzung zwischen PLM und dem *Product Information Management* (PIM); zumeist bilden PLM-Systeme den R&D-bezogenen Master für die *Produktdefinition*, während PIM-Systeme im Kontext des E-Commerce bei Multi-Channel-Strategien den vertriebsbezogenen Master *kommerzieller Produktinformation* bilden.

⁴⁹⁴ Ihr Wechselspiel besteht insbesondere bzgl. Kosteninformationen bzw. der Kostenrechnung (Ursprung im ERP-System) einerseits, und Stücklisten bzw. Produktdaten (Ursprung an sich im PLM-System; bei Legacy-Systemen ggf. umgekehrt) andererseits, vgl. dazu etwa Haussmann/Kemper (2016: 457 f.).

⁴⁹⁵ Das Produktportfolio der einzelnen Lösungsanbieter unterscheidet sich dabei teils fundamental: *Aras* bspw. hat als kleinster der hier bemühten maßgeblichen Anbieter seinen Fokus allein auf PLM-Lösungen, während *Autodesk* seinen Schwerpunkt auf 2D- und 3D-Softwarelösungen für die Bereiche Mechanik und Maschinenbau, Architektur und Bauwesen, Geografische Informationssysteme und Tiefbau sowie für digitale Medien und Entertainment hat. Demgegenüber bedient *PTC* die fünf Marktsegmente Mechanical CAD (MCAD), Product Lifecycle Management (PLM), Application Lifecycle Management (ALM), Service Lifecycle Management (SLM) sowie Supply Chain Management (SCM). Für das Verständnis des Ansatzes von *Siemens PLM Software* ist demgegenüber entscheidend, dass es in den Bereich Automatisierungstechnik (Sektor Industrie) des Siemens-Konzerns eingeordnet ist. Insofern ist die Ausrichtung seiner PLM-Lösung *Teamcenter* auf das Fertigungsprozessmanagement nachvollziehbar. Die PLM Software wird dabei durch zahlreiche andere Produkte zur Industrieautomatisierung abgerundet. *Dassault Systèmes* hat seinen Fokus wiederum auf 3D-Design-Software, 3D Digital Mockup (DMU) und Product Lifecycle Management (PLM). Alle fünf genannten Lösungsanbieter haben keine eigene ERP-Lösung im Programm; daraus folgt teilweise, dass einige PLM-Anbieter wie etwa Siemens PLM Software immer mehr in das traditionelle ERP-Gebiet vordringen und sich somit die Abgrenzungen der Systeme verschieben. Demgegenüber sind *Oracle* und *SAP* als Komplettanbieter für Unternehmenssoftware und sämtliche Geschäftsprozesse zu verstehen; in ihrem Zentrum stehen betriebswirtschaftliche Anwendungen, insbes. ERP-Systeme, DBMS als ihre technische Basis des Datenmanagements (z.B.

Frage, inwiefern das PLM als eigenständige Softwarelösung auf Gebiete vorrückt, die traditionell durch andere Applikationen reklamiert werden (z.B. SRM, ERP). Im Siemens PLM-Ansatz vollzieht sich dieses Vorrücken in Bereiche anderer Systeme beispielsweise nicht zuletzt im Hinblick auf SRM- und ERP-Lösungen in einem sehr umfänglichen Maße.

Wie auch jeweils diese Abgrenzungen im Einzelnen erfolgen, bilden PLM-Systeme immer die *Integrationsplattform*, die alle für das Lebenszyklusmanagement erforderlichen Applikationen zusammenbringt. Grundlegende Methoden dieser Integration bilden dabei das Prozessmanagement (BPM) als primäre Basismethode, sowie das Daten- resp. Informationsmanagement und die Anwendungsintegration (EAI, SOA) als weitere Basismethoden. Gerade im Zuge der notwendigen BPM-PLM Kombination avanciert PLM nicht nur zur Integrationsplattform, sondern auch entsprechend zum *Prozessintegrator*.⁴⁹⁶ PLM-Ontologien und insbesondere die *Enterprise Ontology* sind als PLM-Kernontologie (PLM-CO) dem Ziel der *Smart Enterprise Integration*, also der auf umfassende Prozessintelligenz abzielenden ontologischen *Enterprise Integration* verpflichtet. Hierbei spielt heute die oben erwähnte serviceorientierte Architektur (SOA) eine herausragende Rolle; sämtliche namhaften PLM-Softwarelösungen basieren auf dieser Architektur.⁴⁹⁷ Tatsächlich besteht in SOA mit Blick auf Aspekte wie Wiederverwendbarkeit und Interoperabilität von Services gegenwärtig sicherlich der technisch beste Ansatz, um eine überlegene bzw. flexible *Enterprise Architecture* für komplexe IoX-Systeme im Allgemeinen und PLM-Systeme im Besonderen zu realisieren.⁴⁹⁸ Wesentlich erscheint vor allem die Synergie, die mit dem CEP-basierten ED-BPM und ED-SOA zu realisieren ist.⁴⁹⁹

Oracle RDBMS, SAP Sybase), sowie die Anwendungsintegration (EAI, SOA). Demgegenüber haben diese beiden Anbieter weniger ihre Stärken in 3D-Lösungen, besetzen aber mit Oracle Agile PLM resp. SAP PLM neben einer ganzen Reihe anderer Lösungen ebenfalls das Segment des Produktlebenszyklusmanagement, das hier jeweils in direkter Verbindung zu den eigenen ERP-Lösungen steht.

⁴⁹⁶ Vgl. Capgemini (2013: 15); vgl. exemplarisch Corallo et al. (2016).

⁴⁹⁷ Vgl. etwa SAP (2006), Aras (2008), PTC (2008b), IBM (2008a, 2008c, 2009b) sowie Siemens (2010b); vgl. hierzu ergänzend CIMdata (2006, 2008, 2010, 2011b) sowie Hachani et al. (2013).

⁴⁹⁸ Entsprechend wird hier kein Gegensatz zwischen der Enterprise Architecture (EA) und SOA gesehen, wie er verschiedentlich konstatiert wird. Allerdings sind bei einer SOA-Implementierung die Rollen beider Konzepte genauer aufeinander abzustimmen, vgl. Kistasamy et al. (2010). In gleicher Weise, wie es ganz verschiedene EA-Rahmenwerke gibt, die sich mitunter fundamental unterscheiden, so bestehen auch unterschiedliche Tools und Technologien wie SOA, um überlegene *Enterprise Architectures* zu realisieren. Daneben ist darauf zu verweisen, dass der EA-Gedanke gerade im Hinblick auf die Integration strategischer Aspekte, End-to-End Prozesse und der Systemsicht auf die Wertschöpfungskette (Value Chain) weit über den SOA-Ansatz hinausgeht. Tatsächlich zielt die EA auf die Darlegung der grundsätzlichen sachlogischen Zusammenhänge, die zwischen den zahlreichen betriebswirtschaftlichen und IT-Aspekten bestehen, also auf eine Architektur als "das große Ganze", während der SOA-Ansatz primär technologischer Natur ist. Genauso wenig besteht natürlich ein Gegensatz von PLM und EA; es handelt sich also nicht um zwei alternative Konzepte wie Pawlewski/Dossou (2011) behaupten, sondern sie spielen vielmehr gerade Hand in Hand. Erst auf EA-Basis kann es gelingen, der in Pkt. 1.5 beschriebenen Doppelnatur von PLM-Systemen in einer Form gerecht zu werden mit der es gelingt, ihre technische (d.h. eine konkrete IT- bzw. Softwarelösung) und ihre damit unmittelbar interdependente konzeptionelle (insbes. auch strategische) Komponente mitsamt ihres PPR-Frameworks tatsächlich zu verkoppeln.

⁴⁹⁹ In einer dezidiert *ereigniszentrischen* IoX-Architektur ist die gängige BPMN/SOA-Kopplung, wie sie Touzi et al. (2008) und Scheithauer/Hardegen (2011) adressieren, entsprechend konsequent *ereigniszentrisch* als ED-BPM/ED-SOA-Konzeption auszulegen.

Wie die weiteren Ausführungen zeigen, ist bei der Symbiose von PLM-Systemen und BPM-Systemen (BPMS) neben einem integrierten Prozess- und Workflowmanagement insbesondere der Gedanke von PLM-Systemen als Wissenssystemen (KS) entscheidend. Wissenssysteme (KS) bilden heute eine generische Begriffsklasse, unter die auch traditionelle Bezeichnungen wie wissensbasierte Systeme (KBS) oder Expertensysteme (ES) fallen.⁵⁰⁰ KS gehen über die oben erwähnten KMS insofern ganz grundsätzlich hinaus, als solche Systeme im Gegensatz etwa zu CMS oder DMS nicht Wissen einfach nur verwalten, sondern vielmehr auf eine umfängliche Wissensrepräsentation (KR) zielen. Auf dieser Basis wird ein automatisches Schließen im AI-Sinne möglich, was die Steuerung komplexer Produktlebenszyklen im Kontext kritischer Prozesse in vollkommen neue Dimensionen hebt. Denn auf dieser Basis wird eine intelligente und weitgehend automatisierte Steuerung möglich, die für die durch PLM-Systeme repräsentierten sicherheitskritischen Anwendungen von besonderer Relevanz sind. Verbunden mit Prozessintelligenz und Workflowfunktionalitäten laufen PLM-Systeme auf ontologiebasierte Informations- resp. Wissenssysteme (ODIS) hinaus und entsprechend auf den hier verfolgten Gedanken von PLM-Systemen als kombinierte Prozess- und Wissenssysteme,⁵⁰¹ auf deren Grundlage erst eine integrierte Steuerung des gesamten Produktlebenszyklus möglich wird. Semantisch interoperable PLM-Systeme sind somit als *integrierte Prozess- und Wissenssysteme* zu verstehen.⁵⁰²

Wie erwähnt gehen PLM-Systeme über diesen technischen Aspekt der Kombination verschiedener Softwaresysteme im Einklang mit einer offenen und durchgängigen Systemlandschaft ganz maßgeblich hinaus. Die relevanten Softwarekomponenten bilden lediglich den technischen Garanten, den "Enabler" des Ganzen. Deshalb beginnen sachgerecht angegangene PLM-Einführungen auch nicht mit der Auswahl konkreter Softwarelösungen. Vielmehr ist eine solche Einführung unter strategischen Gesichtspunkten zu eröffnen, die von der Frage geleitet ist, wie sich konkrete Wettbewerbsvorteile durch das Aufbauen umfassender PLM-Systeme realisieren lassen. Dabei sind der Prozessgesichtspunkt sowie die Frage, über welche Ansatzpunkte sich die entscheidenden Wissensvorsprünge generieren lassen, wegweisend. Konkret bilden die Prozessstrategie und das Prozessdesign in der BPM-PLM-Kopplung den elementaren Ansatzpunkt,⁵⁰³ um die strategische Eigenart von PLM-Systemen zu heben. Die Prozessperspektive ist dabei nicht nur im Rahmen der PLM-Implementierung,⁵⁰⁴ sondern auch gerade im Hinblick auf die Wissensgenerierung entscheidend: überlegene PLM-Systeme fußen auf Prozessintelligenz und intelligenten Produkten, die mit dem PLC verkoppelt sind. Beide Aspekte bilden Ansatzpunkte, die das Entstehen solcher Wissensvorsprünge zulassen. Dazu sind jüngere Konzepte wie das oben angeführte PLM 2.0 resp. PLM 4.0 oder das Closed-loop U-PLM in Erwägung zu ziehen.

⁵⁰⁰ Vgl. hierzu Abdullah (2006).

⁵⁰¹ Solche ODIS bauen wiederum auf der MDA der OMG auf, vgl. Uschold (2008), bei der der SBVR-Standard einen integralen Bestandteil bildet.

⁵⁰² Vgl. hierzu etwa H.H. Chen et al. (2008).

⁵⁰³ Vgl. hierzu etwa Bissay et al. (2008).

⁵⁰⁴ Vgl. hierzu etwa Schuh et al. (2008).

Inwiefern sich solche Closed-loop U-PLM-Systeme als kombinierte Prozess- und Wissenssysteme realisieren lassen, ist stark von den jeweiligen Einsatzkontexten abhängig, in denen sie zur Anwendung gelangen. Grundsätzlich werden PLM-Systeme in allen Branchen der produzierenden Industrie eingesetzt. Dabei lässt sich absehen, dass das PLM-Konzept zunehmend auch auf andere Sektoren übertragen wird. Somit bilden im universellen Sinne verstandene PLM-Systeme nicht nur die Kernsysteme bzw. einen zentralen "Enabler" der Smart Factory,⁵⁰⁵ sondern auch jene des E-Business schlechthin; sie fungieren als Integrationsplattform des Smart Enterprise. Auch dieser erweiterte Einsatzkontext ist mit Blick auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu berücksichtigen. Gegenwärtig liegt der Branchenfokus noch deutlich auf der produzierenden Industrie; sie werden sowohl in der Prozessindustrie als auch im Anlagenbau oder in der diskreten Fertigung eingesetzt. Dazu gehören unter anderem folgende Industrien resp. Bereiche: die Biotechnologie,⁵⁰⁶ die Pharmazeutische Industrie,⁵⁰⁷ die chemische Prozessindustrie,⁵⁰⁸ die Lebensmittelindustrie, die Konsumgüterindustrie,⁵⁰⁹ die Luft- und Raumfahrtindustrie (Aviation, Aeronautics resp. Astronautics),⁵¹⁰ der Einzelhandel (Eigenmarken),⁵¹¹ die Medizintechnik,⁵¹² die Automobilindustrie einschließlich Automobilzulieferer (Automotive resp. Automotive Suppliers),⁵¹³ der Maschinen- und Anlagenbau, die Werftindustrie, der Bereich Öl, Gas und Raffinerie sowie die Energieversorgung (Utilities),⁵¹⁴ die Hightech- und Elektronikindustrie (u.a. Halbleiterindustrie),⁵¹⁵ sowie die Schuh- und Bekleidungsindustrie (u.a. Textilindustrie). Darüber hinaus lässt sich das PLM-Konzept prinzipiell auf eine ganze Reihe weiterer Industrien übertragen, und es werden dazu auch jeweils bereits die Potentiale evaluiert. Hierzu gehört neben der Holz- resp. Möbelindustrie das erweiterte Baugewerbe (AEC), etwa der Ingenieurbau.⁵¹⁶ Denkbar ist auch der Einsatz in der Fertighausindustrie, insbesondere bei komplexeren Produkten wie energieautarken oder intelligenten Fertighäusern. Wie weit das Einsatzspektrum reicht zeigt die Tatsache, dass PLM-Lösungen etwa auch bei Organisationen wie der NASA eingesetzt werden;⁵¹⁷ sie haben sich damit auch in diesem Fall in hochkritischen Prozessen zu bewähren. Das Verständnis von PLM-Systemen als integrierte Prozess- und Wissenssysteme ist somit nicht nur im Hinblick auf die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen entscheidend, sondern ist gerade auch im Rahmen oftmals kritischer Anwendungen schon unter Sicherheitsaspekten als unabdingbar vorauszusetzen.

⁵⁰⁵ Vgl. etwa NTT DATA (2015).

⁵⁰⁶ Vgl. bspw. Tayaran/Schiffauerova (2012).

⁵⁰⁷ Vgl. bspw. Oracle (2010).

⁵⁰⁸ Vgl. etwa S. Brandt et al. (2008).

⁵⁰⁹ Vgl. etwa Oracle (2012c).

⁵¹⁰ Vgl. bspw. Belkadi et al. (2008) oder Cantamessa et al. (2012).

⁵¹¹ Vgl. etwa Kurt Salmon (2012) oder PTC (2013).

⁵¹² Vgl. etwa Siemens (2007), Oracle (2008) oder Dassault Systèmes (2009).

⁵¹³ Vgl. etwa Dassault Systèmes (2006), Tang/Qian (2008) oder Siemens (2009c, 2010e, 2011c).

⁵¹⁴ Vgl. etwa Detecon (2013).

⁵¹⁵ Vgl. etwa Siemens (2010c) oder Oracle (2012a, 2012d).

⁵¹⁶ Vgl. Obergrießer et al. (2008), Heikkilä et al. (2011) sowie Aram/Eastman (2013).

⁵¹⁷ Vgl. bspw. Siemens (2013).

Mit Blick auf die Ontologie komplexer IoX-Systeme hängen mit diesen breiten Einsatzfeldern folgende fünf wesentliche Schlussfolgerungen zusammen: erstens ist darauf hinzuweisen, dass spezielle Industrien umfassende branchenspezifische Anpassungen resp. maßgeschneiderte Branchenlösungen erfordern, etwa mit Blick auf branchenspezifische Prozesse oder Regularien. Daraus folgt, dass PLM-relevante Ontologien zu einem nicht unerheblichen Teil *industriespezifisch* sind, was insbesondere auf spezifische Enterprise Ontologien (EO-IC), aber auch auf Domänenontologien (PLM-DO) zutrifft. Ohne Frage verlaufen etwa Entwicklungs- oder Produktionsprozesse im klassischen Maschinenbau oder in der Medizintechnik in vielerlei Hinsicht grundlegend anders als etwa in der Textilindustrie. Die Frage nach einer IoX-adäquaten Top-level Ontologie stellt sich indessen für alle Industrien in gleicher Weise und bildet auch für alle Industrien den Ausgangs- und Bezugspunkt. Daraus folgt zweitens, dass mit Blick auf industrieübergreifende Konstellationen neben den generischen Enterprise Ontologien (EO) genau hier, d.h. bei den Top-level Ontologien anzusetzen ist, da nur diese die integrierende Referenzebene darzustellen vermögen. Damit wird auch in dieser Hinsicht deutlich, dass ein allgemeiner Zugang zur *Ontologie komplexer IoX-Systeme* nur über die Top-level Ontologie führen kann. In der Tat sind gerade mit Blick auf Zulieferer Konstellationen gängig, in denen identische oder abgewandelte Produkte, Teile resp. Komponenten an Hersteller (OEM) ganz unterschiedlicher Industrien geliefert werden, in deren PLM-Systeme sie eingebunden sind. Insofern ist für PLM-Systeme nicht nur eine industrieübergreifende Perspektive, sondern vor allem auch die Klärung fundamentaler Konzepte (Top-level Kategorien usw.) von grundlegender Relevanz. Drittens sind PLM-Systeme in vielen Industrien, z.B. im Automotive-Sektor, immer Bestandteil umfassender Lieferketten; damit sind sie nicht nur mit weiteren Systemen, wie etwa SCM umfassend zu integrieren, sondern es ist auch eine unternehmensübergreifende wie interdisziplinäre Perspektive als unabdingbar einzufordern. Viertens ist dabei zu berücksichtigen, dass etwa Entwicklungskooperationen im Sinne virtueller Verbände im stetigen Wandel begriffen sind, und PLM-Systeme auch in dieser Hinsicht als offene, evolvierende Lebenszyklussysteme erachtet werden müssen. Top-level Ontologien sind hier wesentlich, um eine Kompatibilität von Ontologien sicherzustellen. Schließlich wird fünftens anhand der komplexen Produkte der o.g. Industrien deutlich, dass im Zuge der phasenübergreifenden PLM-Perspektive Akteure mit vollkommen unterschiedlicher fachlicher Prägung beteiligt sind. Komplexe Produkte sind im Allgemeinen *multidisziplinäre Produkte*,⁵¹⁸ deren effektive Entwicklung nicht nur *interdisziplinäre Methoden* und Werkzeuge erfordert,⁵¹⁹ sondern die als komplexe Systeme im Sinne systemischer Wissensrepräsentation auf eine *transdisziplinäre Ontologiekonzeption* hinauslaufen. In Entwicklungsprozessen ist etwa die Zusammenarbeit von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren diver-

⁵¹⁸ Vgl. Rahmani/Thomson (2010).

⁵¹⁹ Vgl. bspw. im Kontext der *mechatronischen Produktentwicklung* Abramovici/Bellalouna (2010).

ser Disziplinen selbstverständlich.⁵²⁰ Sie teilen ihr Wissen aber auch mit anderen Bereichen und Mitarbeitern mit ganz anderer Ausbildung, so dass insgesamt *multidisziplinäre Teams* solche Entwicklungsprozesse bestimmen.⁵²¹ In deren Kollaboration können nicht nur Kommunikationsprobleme und in der Konsequenz Designfehler auftreten,⁵²² sondern insgesamt ist zu erkennen, dass es sich bei Engineering-Daten regelmäßig um *multidisziplinäre Daten* handelt,⁵²³ deren Zusammenführung die Zugrundelegung einer integrierenden Kernontologie und Top-level Ontologie nahelegt. Darüber hinaus ist in industriellen Forschungsabteilungen ein umfassender Daten- und Wissensaustausch sowohl mit relevanten Grundlagenwissenschaften als insbesondere auch mit ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen nicht unüblich. In allen Fällen wird damit Quines (1948) *ontologische Verpflichtung* unabdingbar, die mit der Frage nach einer gemeinsamen fundamentalen Perspektive nicht zuletzt die *Top-level Ontologie* im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* betrifft.

Vor diesem Hintergrund ist die *Top-level Ontologie* in Kombination mit der auf sie bezogenen *Enterprise Ontologie* bei der Integration der einzelnen, oben in Abb. 1 ersichtlichen Phasen maßgeblich: für sämtliche Phasen existieren heute erste, wenn auch teils rudimentäre Ontologieansätze, die zumeist Domänen- oder Aufgabenontologien darstellen. Diese beziehen sich etwa auf das Ingenieurwesen im Allgemeinen,⁵²⁴ oder auf einzelne Phasen wie jenen des Requirements Engineering,⁵²⁵ speziell die Produktspezifikation,⁵²⁶ daneben das Systems Engineering,⁵²⁷ die Konstruktion und Entwicklung,⁵²⁸ die Fertigung,⁵²⁹ oder die Wartung im Besonderen.⁵³⁰ Auch für die EOL-Phase des Rückbaus bzw. Demontage sowie des Recyclings existieren erste Ontologieansätze.⁵³¹ Daneben gibt es phasenübergreifende Ontologieansätze wie die *Supply Chain Ontology* (SCO),⁵³² TQM-basierte Ontologien,⁵³³ oder etwa prozessbezogene Ontologien.⁵³⁴ Eine wissensbasierte integrierte Steuerung des PLC verlangt jedoch nach einer Integration all dieser Ontologien, die neben einer PLM-Kernontologie vor allem eine *Top-level Ontologie* als integrierende Referenzebene voraussetzt. Dies wird im Zuge der vorgenannten Domänenontologien teils selbst gefordert,⁵³⁵ wenn auch bisher kaum eingelöst. Erforderlich ist eine integrierte PPR-Ontologie als PLM-Kernontologie (PLM-CO), die unmittelbar abgestimmte Produktontolo-

⁵²⁰ Vgl. exemplarisch für die *chemische Prozessindustrie* Xie/Ma (2014).

⁵²¹ Vgl. Shen et al. (2001), Fong (2003) sowie Matsumoto et al. (2005).

⁵²² Vgl. Germani et al. (2010).

⁵²³ Vgl. bspw. Bitzer et al. (2010).

⁵²⁴ Vgl. etwa Borst/Akkermans/Top (1997).

⁵²⁵ Vgl. etwa Castaneda et al. (2010).

⁵²⁶ Vgl. etwa Moon et al. (2005).

⁵²⁷ Vgl. etwa Chourabi et al. (2010) oder van Ruijven (2011, 2012).

⁵²⁸ Vgl. etwa Liu/Lim (2011) sowie Martínez-Pellitero et al. (2011).

⁵²⁹ Vgl. Young et al. (2007a, 2007b), Usman et al. (2010, 2011), Imran (2013), Kiritsis et al. (2013) sowie Peng/Kang (2013).

⁵³⁰ Vgl. etwa Kitchenham et al. (1999) oder Karray et al. (2011).

⁵³¹ Vgl. etwa Borst/Akkermans (1997) sowie Zhu/Roy (2015).

⁵³² Vgl. Ye/Yang et al. (2008).

⁵³³ Vgl. etwa Galatescu/Greceanu (2004).

⁵³⁴ Vgl. etwa Rospocher et al. (2014).

⁵³⁵ Vgl. etwa Borst/Akkermans/Top (1997).

gien, Prozessontologien und Ressourcenontologien umfasst, womit die drei Klassen neben der generischen *Enterprise Ontology* (EO) mit der *TLO-EO-Verkopplung* auf eine *IoX-adäquate Top-level Ontologie* (TLO) als oberster Referenzebene zu beziehen sind.

Wenn PLM-Systeme in höchst wissensintensiven, interdisziplinären und wissenschaftsnahen Bereichen resp. Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik oder Hightech-Industrien eingesetzt werden, ist daraus zu folgern, dass mit Blick auf Ontologien im Allgemeinen wie auf die Wissensrepräsentation im Besonderen auch eine *transdisziplinäre, wissenschaftskonforme und realistische Perspektive auf Ontologien* zwingend einzufordern ist. Darin besteht mit Blick auf IoX-adäquate Top-level Ontologien eine ganz entscheidende Feststellung, deren Tragweite im Rahmen des Diskurses um den Ontologiebegriff der Informatik im dritten Teil noch deutlicher werden wird. Diese erforderliche Ontologieperspektive wird auch im Zuge der Diskussion fundamentaler Kriterien von Top-level Ontologien im sechsten Teil von Relevanz sein, die wiederum für die Evaluierung und Selektion konkreter TLO-Ansätze überaus maßgeblich sind. In gleicher Weise wesentlich ist die Feststellung, dass erst Top-level Ontologien mit Blick auf alle o.g. fünf Aspekte den erforderlichen transdisziplinären Zugang komplexer IoX-Systeme eröffnen. Branchenübergreifend konzipierte Kernlösungen, die aufgrund industrieller Verflechtungen unverzichtbar sind, lassen sich erst durch die Referenz auf die generische *Enterprise Ontology* (EO) und insbesondere auf die alles überlagernde *Top-level Ontologie* (TLO) gewährleisten, ebenso wie die Wiederverwendbarkeit spezifischer Ontologien.

Mit dem erforderlichen transdisziplinären Zugang zu PLM-Systemen, der erst auf Grundlage von Top-level Ontologien möglich wird, stellt sich die Frage, wie weit das PLM-Konzept reicht. Ist es tatsächlich auf die industrielle Fertigung bzw. auf physische Produkte und Prozesse beschränkt? Besteht sein Kern insbesondere in der Verbindung des Entwicklungs- und Fertigungsprozesses? Oder besteht dieser Kern eher viel allgemeiner in Innovationsprozessen, dem Anforderungs- und Änderungsmanagement, dem Konfigurations- und Variantenmanagement, dem IP-Management oder etwa dem Compliance-Management? Jeder Diskurs um *Closed-loop U-PLM-Systeme* als Referenzszenario hat auch die zukünftige Weiterentwicklung der PLM-Philosophie in Erwägung zu ziehen. Diese ist allerdings nicht zuletzt auch davon abhängig, wie einzelne Lösungsanbieter ihre PLM-Software künftig abgrenzen und weiterentwickeln. Bereits heute gibt es deutliche Anzeichen dafür, dass in Zukunft über die Fixierung auf physische Fertigungsprozesse hinausgegangen wird. Dafür spricht, dass viele komplexe konfigurierbare Produkte bereits heute mechanische, elektrische und binäre Komponenten kombinieren, womit das Systems Engineering sowie die Mechatronik für diese Systeme von Beginn an wesentlich sind. Das heißt aber zugleich, dass Softwarekomponenten und damit immaterielle Dinge über solche Systeme entwickelt und realisiert werden. Oracle geht hier beispielsweise so weit, dass es seine PLM-Softwareentwicklung über seine eigene PLM-Software steuert; es nutzt Agile

PLM zur weiteren Entwicklung von Agile PLM.⁵³⁶ Damit orientiert sich der PLM-Gedanke hier an Innovationsprozessen resp. der allgemeinen Produktentwicklung und nicht an Gesichtspunkten wie Konstruktion und physische Fertigung, wie sie heute noch im Fokus einiger Lösungsanbieter stehen. Demgegenüber ist im ersten Fall die Steuerung der Lebenszyklen auf rein immaterielle Produkte bezogen, was mit Blick auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* insofern eine bemerkenswerte Tatsache ist, als damit Kategorien für immaterielle Entitäten notwendig sind.

Es ist absehbar, dass der PLM-Einsatz über die produzierende Industrie hinausgehen wird, indem ein Einsatz in Serviceindustrien, etwa zur Instandhaltung resp. Wartung komplexer Produkte üblich wird. Hierzu gehört etwa die Flugzeugwartung;⁵³⁷ auch das Facility Management bildet mit Blick auf Gebäudelebenszyklen einen Anwendungsfall.⁵³⁸ Selbst in Servicebranchen, die sich nicht auf physische Objekte beziehen, ist der Einsatz von PLM-Systemen vorgezeichnet, wenn der PLM-Gedanke primär auf die Produktentwicklung und Innovationsprozesse, und damit etwa auf das Anforderungs-, Änderungs-, Konfigurations- und Variantenmanagement, auf das IP- und das Compliance-Management sowie die integrierte Steuerung des gesamten Lebenszyklus mitsamt aller Wertschöpfungsprozesse abstellt. Auch wenn bereits heute der funktionale Schwerpunkt der Lösungsanbieter auf diesen allgemeinen, für sämtliche Branchen relevanten Funktionen liegt, stellen sie in ihrem Branchenfokus noch einseitig auf die produzierende Industrie und physische Fertigung ab. Indessen bewegt sich auch Siemens (2012a) in eine ähnliche Richtung wie Oracle, indem nunmehr auch die PLM-Software *Teamcenter* einsetzbar ist, um die Softwareentwicklung sowie Softwarelebenszyklen in integrierter Weise zu steuern (Software Lifecycle Management). Ungeachtet dessen reichen die Visionen an anderer Stelle weiter, wenn selbst ein Einsatz von PLM-Systemen im Bereich der Financial Services, etwa zur Einhaltung regulatorischer Vorschriften (Compliance) in Erwägung gezogen wird.⁵³⁹ Dabei sind auch andere PLM-Funktionen für solche Industrien von Relevanz.

Mit Blick auf solche Serviceindustrien ist herauszustellen, dass PLM-Lösungsanbieter separate Lösungen für das lebenszyklusorientierte Management der Aktiva, also für Maschinen und Anlagen als *Enterprise Asset Management* (EAM) oder als *Asset Lifecycle Management* (ALM) anbieten.⁵⁴⁰ Bei Serviceanbietern geht dies nahtlos in ein *Service Lifecycle Management* (SLM) über, das durch PLM-Lösungsanbieter ebenfalls angeboten wird.⁵⁴¹ Wie diese Lösungen in Zukunft gegenüber dem PLM abgegrenzt werden, kann hier nicht Gegenstand der Überlegungen sein. Allerdings ist mit Blick auf das SLM festzustellen, dass es in seinen Grundprinzipien dem PLM entspricht, welches im PSS-Sinne ohnehin *Services* mitumfasst. SLM wie PLM gründen auf dem Gedanken integrierter Prozess-

⁵³⁶ Vgl. Oracle (2012e).

⁵³⁷ Vgl. hierzu S.G. Lee et al. (2008).

⁵³⁸ Vgl. Heikkilä et al. (2011).

⁵³⁹ Vgl. Hitachi (2010).

⁵⁴⁰ Vgl. etwa IBM (2010); vgl. hierzu auch Ouertani et al. (2010).

⁵⁴¹ Etwa als ontologiegestütztes *Asset Configuration Management* (ACM), vgl. Ouertani et al. (2010).

und Wissenssysteme, während das SLM in konzeptioneller Hinsicht unter das PLM subsumierbar ist, womit dieses dann eine generische Klasse bildet.^{542, 543}

Auf Grundlage des PPR-Frameworks steht auch das Asset Lifecycle Management (ALM) in direkter Verbindung zum PLM, da es auf die PPR-Ressourcendimension zielt. Allerdings ist das ALM im Unterschied zum PLM mit der systematischen Planung und Überwachung der Ressourcen und ihrer Instandhaltung (MRO) anderen Aspekten verpflichtet, und wird häufig durch andere Systeme, etwa ERP, mit abgedeckt. Allerdings ist ein PPR-orientiertes PLM gerade in strategischer Hinsicht für das ALM ausschlaggebend, weil erst die Produkt- resp. Servicedefinition über die Frage entscheidet, welche Ressourcen erforderlich sind und welche technischen Anforderungen an diese zu stellen sind. Zudem benötigen PLM-Systeme im Kontext des PPR-Schemas nicht nur jederzeit alle relevanten Produkt- und Prozessdaten, sondern auch Ressourcen- und Anlagendaten. Darauf zielen umfassendere PLM-Lösungen wie Siemens *Teamcenter* und diese sind in Verbindung mit anderen Komponenten auch der Integration des Produkt- und Produktionslebenszyklus (SOP, EOP usw.) verpflichtet.⁵⁴⁴ Andere Anbieter wie IBM (2009a) zielen vor diesem Hintergrund auf eine umfassende Unterstützung von PLM durch EAM. Damit ist im Kontext des PPR-Frameworks auch in dieser Sache eine umfassende Integration einzelner Applikationen erforderlich, bei der PLM-Systeme unabhängig von der Frage ihrer konkreten Abgrenzung zu anderen Systemen immer die PSS-bezogene Integrationsplattform bilden. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hat auf EO-Ebene somit neben Produkten und Prozessen auch auf Ressourcen als grundlegender Klasse abzustellen. PLM ist mit Siemens (2010a) als zentraler Informationspool für sämtliche Produkt- und Prozessdaten zu sehen, um auf dieser Grundlage Produkt- resp. Servicelebenszyklen im Einklang mit den dazu erforderlichen Ressourcen (PPR) in strategischer wie operativer Hinsicht zu steuern. Damit steht einer Universalisierung des PLM-Konzepts jenseits der bisher im Fokus stehenden Industrien prinzipiell nichts im Wege.^{545, 546, 547}

⁵⁴² Vgl. hierzu auch Mahut et al. (2016).

⁵⁴³ Analoges gilt bei *Smart Products*, die in unterschiedlichster Hinsicht programmiert sind, in Bezug auf das *Application Lifecycle Management* (ALM); natürlich lässt sich bei *Smart Products* nicht mehr zwischen Hard- und Software trennen, wobei die bei Deuter/Rizzo (2016) erörterte Konvergenz PLM/ALM hier in der Synthese des *U-PLM-Referenzszenarios* mündet: das ALM geht wie das SLM in diesem PSS- bzw. IoX-basierten Referenzszenario auf.

⁵⁴⁴ Im Fall Siemens wird *Teamcenter* als PLM-Integrationsplattform um andere Lösungen wie *Tecnomatix* für digitale Fertigungslösungen ergänzt, so dass ein umfassendes Fertigungsprozessmanagement (MPM) erreicht wird. *Tecnomatix* verbindet die Fertigungsbereiche von der Prozessdefinition und -planung über die Simulation und Überprüfung bis zum Fertigungsprozessmanagement. Damit avancieren PLM-Lösungen wie *Teamcenter* zur Integrationsplattform der Digitalen Fabrik, vgl. hierzu Siemens (2011b, 2011d).

⁵⁴⁵ Das gilt gerade unter Einschluss des *IoT-Gedankens*, vgl. hierzu auch CIMdata (2016).

⁵⁴⁶ Eine solche Universalisierung scheidet auch nicht zwingend an den hohen Investitionen, die mit der Einführung von PLM-Systemen oftmals verbunden sind. Zu hohen Softwarekosten gibt es inzwischen Alternativen wie Open Source- oder skalierbare SaaS-Varianten. Entscheidend ist vielmehr die Frage, ob BPR- bzw. OE-Aspekte in die ROI-Berechnung der PLM-Einführung mit einbezogen werden.

⁵⁴⁷ Ein *universales PLM* impliziert eine weite Auslegung sowohl des *Produktbegriffs* (inkl. immaterieller Güter und Services) als auch eine damit verbundene weite Auslegung des *Produktionsbegriffs*, so dass auch dieser die immaterielle Produktion von Gütern (z.B. Softwarekomponenten resp. -produkte) und

U-PLM-Systeme sind substantiell strategischer Natur, die mit fünf wesentlichen Sachverhalten zusammenhängt:⁵⁴⁸ erstens mit dem grundlegenden Aspekt, dass Produkte immer als Output von Prozessen zu begreifen sind und dass vor dem Hintergrund des Wertschöpfungsaspekts PLM-Systeme die Grundlage für ein integriertes Produkt- und Prozessengineering bilden.⁵⁴⁹ Entsprechend besteht der Kern von PLM-Systemen in Produkt- und Prozessmodellen und einem darauf aufbauenden Produkt- resp. Prozessmanagement. Kosten und Qualität als Zielgrößen werden zwar wesentlich durch Einsatzstoffe resp. Vorprodukte bestimmt; in der industriellen Produktion handelt es sich dabei aber vor allem um Ziele der Prozessdimension, die durch die Zielgrößen Zeit und Flexibilität vervollständigt werden. Bei Services zeigen sich gar alle vier Zielgrößen maßgeblich durch die Prozessdimension bestimmt. Gerade in Prozesshinsicht zielen führende PLM-Lösungsanbieter auf Domänen, die klassischerweise transaktionsorientierten ERP-Systemen sowie MRP- resp. PPS-Systemen vorbehalten sind.⁵⁵⁰ Beispielsweise rechnen sie auch die Steuerung von Produktionsprozessen (MPM) nicht nur konzeptionell, sondern auch technisch ihren PLM-Systemen zu.⁵⁵¹ Ihnen geht es also nicht allein um die Produktentwicklung, wie sie noch im Fokus von EDM- oder PDM-Systemen steht, sondern vielmehr um die Integration sämtlicher Schritte, die zur vollkommenen Produktrealisierung notwendig sind.⁵⁵² Im Closed-loop U-PLM gehören hierzu darüber hinaus auch die MOL- und EOL-Phasen, also etwa MRO-Prozesse. Mit Blick auf den Anspruch einer integrierten Steuerung des gesamten Produktlebenszyklus ist dieser Schritt der Fokussierung sämtlicher Kernprozesse konsequent, womit die strategische Bedeutung von PLM-Systemen nochmals entsprechend zunimmt. Ein

Services mit umfasst. Beides ist also nicht auf die industrielle Fertigung beschränkt; darüber hinaus sind sie auf einen *pragmatischen* Wertschöpfungsbegriff bezogen, vgl. dazu Finkeiß (1999), insbes. S. 46.

⁵⁴⁸ Vgl. auch Saaksvuori/Immonen (2008), Feldhusen/Gebhardt (2008), Kiritsis (2011) sowie Stark (2011).

⁵⁴⁹ Diese Forderung eines *integrierten Produkt- und Prozessengineerings* ist an sich nicht neu; sie findet sich bereits bei Hayes/Wheelwright (1979a, 1979b), Clark/Wheelwright (1993), Anderl et al. (2003), Eversheim/Schuh (2005) – und selbstverständlich bereits im CIM-Kontext, vgl. hierzu Meier (1991).

⁵⁵⁰ Vgl. Boos/Zancul (2006); analoges gilt für MRP II-Systeme, vgl. hierzu Higgins et al. (1991).

⁵⁵¹ Sehr weit geht dabei Siemens, indem postuliert wird: »Any and all data needed to create a final product falls into the PLM domain«, vgl. Siemens (2012b: 2). PLM wird als »zentraler Informationspool für Produkt- und Prozessdaten« gesehen, vgl. Siemens (2010a: 7). Dabei deckt die integrierte PLM-Lösung tradierte Applikationen wie z.B. isolierte SRM-Lösungen bewusst mit ab, vgl. Siemens (2010a). Andere PLM-Lösungsanbieter, etwa PTC, vertreten eine etwas moderatere Position, indem sie PLM als perfekte Ergänzung zu ERP sehen und entsprechend die notwendige PLM-/ERP-Integration herausstellen. Aber auch sie reklamieren das Fertigungsprozessmanagement für sich, während ERP-Systemen die Produktionsplanung sowie die klassischen transaktionsorientierten Aufgaben (Lagerverwaltung, Beschaffung, Versandlogistik, Buchhaltung usw.) verbleiben, vgl. PTC (2011); vgl. ähnlich Dassault Systèmes (2006). Terzi et al. (2010) stellen zu Recht auf den Transaktionsgesichtspunkt von ERP-Systemen ab und ziehen auf dieser Grundlage die Grenze zwischen ERP- und PLM-Systemen. Eine solche Sichtweise vertritt auch CIMdata (2005b). Eigner (2012) votiert demgegenüber dafür, dass PLM-Systeme alle produkt- und prozessrelevanten Informationen abbilden und diese i.S. eines Backbones Applikationen wie PPS zur Verfügung stellen. Die Erweiterung von PLM um Funktionalitäten des *Digital Manufacturing* zielt bei IBM (2007) als Kooperationspartner von Dassault Systèmes demgegenüber auf die Ressourcenplanung; d.h. auf die Planung, Validierung und Optimierung von Fertigungsprozessen. Wie die Grenzen zwischen ERP- und PLM-Systemen gezogen werden, hängt nicht zuletzt davon ab, ob Lösungsanbieter zusätzlich ERP-Systeme im Angebot haben, wie sie insbesondere bei SAP traditionell den Kern der Applikationslandschaft bilden. Es wird insgesamt deutlich, dass sich mit der Logik des Produktlebenszyklus die Datenhoheit zunehmend auf PLM-Systeme verlagert. Das ist auch den Losgröße-1-Szenarien geschuldet.

⁵⁵² Vgl. Siemens (2012b).

universales Closed-loop U-PLM bildet in sämtlichen Industrien nicht nur die Integrationsplattform für die Smart Factory, sondern für sämtliche IoX-basierten Prozesse einschließlich der Echtzeit-Einbindung von Zulieferern und Kunden.⁵⁵³ Eng mit dieser Prozessdimension hängt der zweite strategische Aspekt von PLM-Systemen zusammen, der darin besteht, dass sie letztlich die vollständige Grundlage eines prozessorientierten integrierten Produkt- und Servicemanagements für alle Industrien bilden. Denn PLM-Systeme beziehen sich parallel auf sämtliche Produktlebenszyklen eines Produktportfolios, und damit auch auf die Produkt- wie auf die Programmpolitik.⁵⁵⁴ Tatsächlich stellen PLM-Lösungsanbieter bereits explizit auf die gesamte Produkt- und Programmpolitik ab, was durch damit verbundene Prozesse wie das Projekt- oder Risikomanagement komplettiert wird.⁵⁵⁵

Mit den ersten beiden Punkten gelangt der dritte strategische Aspekt, nämlich der Innovationsaspekt ins Spiel: PLM-Systeme bilden die Basis verteilter, kundenorientierter Innovationsprozesse und kombinieren dabei insbesondere Produkt- und Prozess- resp. Serviceinnovationen, so dass sie auf IoX-Basis einen Ansatzpunkt für Geschäftsmodellinnovationen bilden.⁵⁵⁶ Damit werden solche Systeme gerade in der Fertigungsindustrie immer wettbewerbsentscheidender: bei kürzer werdenden Produkt- und Prozessentwicklungszyklen sind Methoden entscheidend, die eine rasche Produkt- und Prozessrealisation, eine frühzeitige Integration von Konstruktion und Fertigung im Sinne einer integrierten Entwicklung von Produkten und Produktionssystemen, sowie die technische Integration der gesamten Lieferkette unterstützen.⁵⁵⁷ Mit Blick auf erstes kommen bspw. Verfahren wie das *Concurrent Engineering* (CE) zum Einsatz,⁵⁵⁸ mit Blick auf zweites bspw. das *SCOR-Referenzmodell*. Industrielle Innovationsprozesse beziehen sich auf Produkt- oder auf Prozessinnovationen; oftmals treten sie auch kombiniert in Erscheinung, was eine integrative Steuerung mitsamt der erforderlichen Ressourcen notwendig macht. Eine solch inte-

⁵⁵³ Vgl. hierzu Abramovici/Schulte (2005) sowie Messaadia et al. (2010).

⁵⁵⁴ Bei der Produkt- resp. Programmpolitik werden typischerweise drei Ebenen differenziert: erstens die oberste *Ebene des Produktprogramms* (auch: Produktportfolio, Sortiment), die eine rein strategische Ebene darstellt, etwa bzgl. der Entscheidung zur Produktdiversifikation, die eine neue Produktlinie nach sich zieht. Damit eröffnet diese oberste Ebene zugleich die Ebene der Produktlinien. Zweitens die mittlere *Ebene der Produktlinie(n)*. Eine *Produktlinienerweiterung* erfolgt dadurch, dass ähnliche Produkte aufgenommen werden; bei einer *Produktelimination* wird die Produktlinie um ein Produkt gekürzt. Eine *Produktdifferenzierung* führt hingegen zu zusätzlichen Produktvarianten im gleichen Markt und bedeutet damit keine Produktlinienerweiterung sondern lediglich eine *Leistungsdifferenzierung*. Entsprechend ist auch das Variantenmanagement insbesondere auf dieser mittleren Ebene angesiedelt, und sie ist zuvorderst von taktischer Natur. Drittens die unterste *Ebene des einzelnen Produkts*. Sie bildet für PLM-Systeme insofern den Kern, als sich der *Produktlebenszyklus* vor allem auf diese bezieht. Hier geht es um die *Produktinnovation*, die *Produktvariation* sowie um die *Produktelimination*. Primär geht es dabei um operative Entscheidungen, die vor allem erst dadurch taktisch bzw. strategisch werden, indem sie in den Kontext zur Produktlinie bzw. zum Produktprogramm gebracht werden. Entsprechend stehen die drei Ebenen in einem interdependenten Verhältnis; vgl. hierzu insgesamt Bruhn/Hadwisch (2006). Auch wenn diese dritte Ebene besonders im Fokus steht, bezieht sich das PLM insgesamt auf alle drei Ebenen, womit seine strategische Natur auch in dieser Sache deutlich wird.

⁵⁵⁵ Vgl. exemplarisch Siemens (2011a).

⁵⁵⁶ Vgl. Fleisch et al. (2005), Bucherer/Uckelmann (2011), Porter/Heppelmann (2014), Kaufmann (2015), I. Lee/Lee (2015), McKinsey (2015) sowie Oliver Wyman (2015).

⁵⁵⁷ Vgl. Maropoulos et al. (2002).

⁵⁵⁸ Dieses wird auch als *Simultaneous Engineering* bezeichnet, vgl. etwa Nelson/Schneider (2001: 68).

grierte Steuerung kontinuierlicher Innovationsprozesse in komplexen Kontexten kann allein auf der Basis von PLM-Systemen gelingen. In komplexen Produktionsumgebungen wird sowohl die Produkt- als auch die Prozessgestaltung mehr und mehr aktiv über PLM-Systeme gesteuert. Nicht zuletzt geht es dabei auch um ein aktives Risikomanagement, das bei komplexen Produkten in kommerzieller wie in technologischer Hinsicht unabdingbar ist. Hierzu gehören etwa das Einhalten von Lieferterminen, das Controlling von Lebenszykluskosten und Qualitätsniveaus, oder der Aufbau eines effizienten und agilen Produktionsnetzwerks.⁵⁵⁹ Eine integrierte Steuerung von Produkten, Prozessen und Ressourcen im Sinne des PPR-Frameworks wird damit strategisch entscheidend. Diese Steuerung übernehmen PLM-Systeme zunehmend auch auftragsbezogen (Mass Customization) über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg. Damit wird nachvollziehbar, wenn behauptet wird: »PLM will be a key to innovation, competitiveness and customer focus«. ⁵⁶⁰ Ontologien sind hier bereits insofern von zentraler Bedeutung, als sie zunehmend die Grundlage der Prozessgestaltung (konzeptuelle Modellierung) als auch von Produkt-, Prozess- oder Ressourcenmodellen bilden. Produktmodellierungsarchitekturen benötigen in diesem Zusammenhang weitreichende Standards bezüglich Ontologie und Interoperabilität, um die Funktionalitäten von PLM-Systemen in industriellen Anwendungsfeldern zu verbessern.

Darüber hinaus hängt mit dem Innovationsaspekt unmittelbar der Wissensaspekt als vierter strategischer Gesichtspunkt zusammen. Mit ihm eröffnet sich die zentrale strategische Bedeutung der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* vollends. Denn in komplexen PLM-Systemen basieren Wissensvorsprünge bei der Steuerung der Produktlebenszyklen und Innovationsprozesse zum einen auf einer automatischen Wissensgenerierung, zum anderen auf einer umfassenden, organisationsweiten wie auch organisationsübergreifenden Wissensteilung.⁵⁶¹ Zu letzterer zählen etwa organisationsübergreifende Entwicklungsprozesse (CEE), wobei Ontologien für sämtliche Prozesse einer überlegenen Wissensgenerierung und Wissensteilung wesentlich sind. Nicht umsonst offerieren sämtliche PLM-Lösungsanbieter ihre technische Lösung in elementarer Weise als Wissenssysteme.⁵⁶² Dieses Wissen ist vor allem zur Steuerung des PLC notwendig, nämlich zur Realisierung aller vier oben genannten Prozessziele: Kostenreduktion (PLM als erweiterter Lean-Ansatz, Lean Innovation, Lifecycle Costing) und Zeitreduktion (Time to Market sowie Zyklus- resp. Durchlaufzeiten [TCT]), Qualitätssteigerung (PLM als erweiterter TQM-Ansatz) und Flexibilitätserhöhung (z.B. Mass Customization, taktisches Variantenmanagement). Daneben bedingen Ontologien auch eine bessere Datenqualität (Datenintegrität von Produktdefinitionen bzw. anderen Aspekten des PPR-Datenmodells) bei der Datenintegration,⁵⁶³ sie eröffnen neue Formen der Automatisierung und Interoperabilität und bilden im Zuge von

⁵⁵⁹ Vgl. Maropoulos et al. (2003) sowie Pusthay/Wang (2004).

⁵⁶⁰ Vgl. Stark (2007: 77).

⁵⁶¹ Vgl. hierzu etwa T.-Y. Chen (2008).

⁵⁶² Vgl. exemplarisch Siemens (2009a, 2009b).

⁵⁶³ Analoges gilt für die *Datenbereinigung (Data Cleaning)*, vgl. etwa bzgl. XML Milano et al. (2005).

Heavyweight-Ontologien die Basis für stabile und intelligente Prozesse. Schließlich ermöglichen sie eine semantische Integration von Web Services sowie eine flexiblere, stabilere und schnellere Verkopplung heterogener Systemlandschaften. Fünftens zielt der PLM-Ansatz mit seiner interdependenten technischen und konzeptionellen Komponente schließlich auf das Erfordernis einer durchgängigen *Enterprise Architecture*: Auf ihrer Grundlage wird das Unternehmen im Zuge der konzeptuellen Modellierung als System adressiert und analysiert. Dies mündet in einem *Enterprise Model*, das wiederum als Metasystem (System der Systeme) und insgesamt als komplexes System verstanden werden muss. Dieses ist vor allem unersetzlich wenn es gilt, die Interoperabilität in intra- wie interorganisationaler Hinsicht sicherzustellen.⁵⁶⁴ Ziel ist die oben bereits erwähnte *Enterprise Integration*, die für PLM-Systeme in ihrer Eigenschaft als Integrationsplattform von essentieller Natur ist. Erst mithilfe einer durchgängig gestalteten *Enterprise Architecture* lassen sich die technische und konzeptionelle Komponente von PLM-Systemen orchestrieren, womit sie mitsamt des *Enterprise Model* für komplexe PLM-Systeme unabdingbar wird.⁵⁶⁵

1.5.1 Ubiquitäre PLM-Systeme als komplexe IoX-Systeme im 4DP-Paradigma

»[T]he theory of complex systems is much concerned with the avoidance of complexity; or, to put the matter more precisely, the theory is concerned with how systems can be designed, by us or by nature, to be as simple as possible in structure and process for a given complexity of function.«

— Herbert A. Simon (2000: 4)

U-PLM-Systeme bilden in verschiedenster Hinsicht *komplexe Systeme*, wobei im cyberphysischen Kontext sowohl solche physisch-realer wie virtueller Natur von Interesse sind. PLM-Systeme sind nicht nur in ihrer Offenheit und Veränderlichkeit als evolutionäre Systeme zu begreifen, sondern vor allem auch im Hinblick auf ihre Eigenschaft als Wissenssysteme, bei denen auf Basis von Ontologien im Sinne der Emergenz stetig neues Wissen generiert wird. Im Zeichen offener Entwicklungsprozesse kann die Komplexitätsforschung gleichzeitig das grundlegende Paradigma für die für PLM-Systeme elementaren Innovationsprozesse bilden.⁵⁶⁶ Für das Closed-loop U-PLM ist als geschlossenes PLM-Konzept kennzeichnend,⁵⁶⁷ dass es gerade auch auf eine automatisierte Wissensgenerierung über die

⁵⁶⁴ Vgl. Jaekel et al. (2005).

⁵⁶⁵ Bei der *Enterprise Architecture* geht es um die umfassende strategisch-operative Abstimmung des komplexen Zusammenspiels aller Wertschöpfungsprozesse vor dem Hintergrund integrierter Produkt-, Prozess- und Ressourcenmodelle (PPR-Framework). Auf Basis der gesamten informationstechnologischen Infrastruktur zeigt sich der ontologische bzw. TLO-Aspekt konzeptuell resp. semantisch als elementar.

⁵⁶⁶ Vgl. hierzu Kauffman (1995b) sowie Kauffman/Macready (1995); vgl. auch Mainzer (2007c: 216).

⁵⁶⁷ Der Terminus *Closed-loop PLM* bezieht sich bei Kiritsis (2011) allein auf *geschlossene, d.h. aufeinander aufbauende Innovationszyklen*, nicht etwa auf geschlossene Prozesse, Systeme oder Applikationen. Vielmehr sind diese bei Kiritsis (2011) gerade offen bzw. interoperabel und auf den ganzen Zyklus bzw. die Zyklusintegration bezogen. Insofern besteht kein Gegensatz, wenn bei Wahlster (2013) der gesamte Lebenszyklus eines Produkts als *"open-loop"* konzipiert und in den Zusammenhang interoperabler bzw. integrierter *"open-loop applications"* bzw. Prozesse gebracht wird. Mit anderen Worten entspricht das *Closed-loop PLM* bei Kiritsis (2011) unter den Aspekten der Integration, Interoperabilität bzw. Offenheit dem implizit erörterten *Open-loop PLM* bei Wahlster (2013).

Kopplung externer Quellen abzielt, um entscheidende Produkt- und Serviceinformationen mit in den Zyklus einzubeziehen. Möglich wird dies, indem die produzierten Produkte als zentrale Objekte des PLC durch die Implementierung von PEID-Technologien (Product Embedded Information Device) zu intelligenten Produkten avancieren,^{568, 569} die verschiedenste Sensordaten via IoT-Plattformen an Closed-loop U-PLM-Systeme zurückmelden, die im Sinne einer ontologiegestützten höheren Informationsfusion (HLIF) in aussagekräftiges Wissen transformiert werden.⁵⁷⁰ Das vollzieht sich etwa auf Basis intelligenter Sensoren (Smart Sensors) mitsamt Sensorontologien, RFID oder NFC.⁵⁷¹ Intelligente Produkte repräsentieren *Cyber-physische Systeme* (CPS),⁵⁷² die mit Pkt. 4.3 *komplexe adaptive Systeme* (CAS) bilden und sich dabei mit Pkt. 6.2.1 MAS-zentrisch verankert zeigen.

Intelligente Produkte sind dabei nicht allein auf PEID-Basis zu verstehen, sondern in einem weitaus umfänglicheren Sinne eines postcartesischen Weltverständnisses als *programmierbare Materie*, die sich autonom wie dynamisch an jede Umweltveränderung anpassen kann. AI-basierte Adaptionsvorgänge beschränken sich kausal also nicht allein auf eine engere technische Aktorik, sondern sind im Zeichen der AL-Forschung eher im breiten biokybernetischen Sinne zu verstehen. Denn sie erstrecken sich ontologisch auf den gesamten cyber-physischen Organismus; auf die ganze Materie, mitsamt aller physikalischen Eigenschaften wie Formgebung, Farbgebung oder weiterer physikalischer Charakteristika. Es handelt sich somit um systemische, ereigniszentrische und im Sinne der logico-mathematischen *Theorie zellulärer Automaten* zu verstehende universal-strukturalistische Organismen. Dabei handelt es sich um cyber-physische Objekte, die als *Smart Objects* nicht nur physische Materie verkörpern, sondern in ihrem Cyberspace auch Intelligenz besitzen.

⁵⁶⁸ Der Übergang vom PLM zum *Systems Lifecycle Management* (SysLM), wie ihn Broy (2013: 84 f.) vorschlägt, ist vorgezeichnet, wenn U-PLM-Systeme als PSS-bezogene Integrationsplattform der Industrie 4.0 zu erachten sind, wie es insbesondere Losgröße-1-Szenarien der *Smart Factory* deutlich machen. Das bezieht sich zum einen auf *Smart Product Service Systems* (SPSS), vgl. dazu etwa P.P. Wang/Ming et al. (2014), damit zusammenhängend auf die *Smart Enterprise Architecture* (SEA), die solche Losgröße-1-Szenarien auf SPSS-Basis erst möglich macht. Hier wird indessen dem U-PLM-Referenzszenario der Vorzug gegeben, indem das U-PLM bzw. Closed-loop PLM ohnehin immer auf PEID als multifunktionale, intelligente Systemprodukte bezogen ist, die wiederum als Klasse *Cyber-physischer Systeme* (CPS) zu verstehen sind. Als solches erscheint es hier besser greifbar als das abstraktere SysLM, von dem letztlich alle interdependenten Systemaspekte betroffen sind. Das bezieht dann wie bei Broy (2013: 81) das konkrete *Systems Engineering* für Cyber-physische Systeme (CPS) mit ein und führt schließlich auch bei Broy (2013: 83) zum Architektorentwurf (EA) im Ganzen. Insofern ist die Perspektive insgesamt gesehen nicht unähnlich. Mit dem Rekurs auf PLM-Systeme wird indes der heterogene Branchenfokus wie die Bedeutung von *Scientific Ontologies* ersichtlicher, wenn diese etwa auf die Biotechnologie, die Luft- und Raumfahrt oder die Medizintechnik bezogen sind. Analoges gilt für die Weiterentwicklung von PLM zum *Semantic Data Management* (SDM) bei Abramovici et al. (2016); auch in diesem Fall erscheint der Rekurs auf PLM-Systeme nicht nur konkreter. Vielmehr wird etwa an den *Semantic Product Memories* (SemProM) als Unterklasse der *Digital Product Memories* (DPM) bei Wahlster (2013) deutlich, dass die Orientierung am Produktlebenszyklus einschließlich der *Smart Factory* Produktionsphase, wie er in Abb. 1 illustriert ist, zielführend erscheinen sollte: SemProM beziehen sich explizit auf den Produktlebenszyklus einschließlich der *Smart Factory*, vgl. Wahlster (2013).

⁵⁶⁹ Dabei kommen etwa *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS) bzw. *Nano Electro Mechanical Systems* (NEMS) zum Einsatz.

⁵⁷⁰ Vgl. hierzu etwa Anke et al. (2007), Kiritsis (2009, 2011) sowie Nakada/Hiraoka (2010).

⁵⁷¹ Vgl. hierzu etwa Eroglu (2014).

⁵⁷² Vgl. etwa acatech (2011), Geisberger/Broy (2012), Sanislav/Miclea (2012) sowie Anderl et al. (2013).

Damit ist jedoch nicht nur die Cartesische Metaphysik ausgehebelt, sondern auch die aristotelische Metaphysik *ad acta* zu legen. Demgegenüber wird auf die neo-aristotelische Ontologie nicht nur mit Pkt. 5.2 in der TLO-Diskussion rekurrert, sondern mit Pkt. 1.1 gleichermaßen in der IoT-Debatte, obschon es dezidiert um Cyber-physische Systeme geht.

Wenn in der Ontologie als *integrierter metaphysischer Wissensontologie* der eigentliche AI-Grundpfeiler besteht, kann die Informatik im Zeichen von *cyber-physischen "Reality Machines"* die Ontologiediskussion natürlich in keiner Weise oberflächlich führen. Vielmehr ist jene Exaktheit, die die AI-Disziplin auch sonst verlangt, gerade auch für die alles grundlegende Ontologiedebatte einzufordern. Diese Forderung ist dabei keineswegs allein auf die formale Repräsentation bezogen, indem in dieser allein der zweite, nachgelagerte Schritt der Umsetzung besteht. Vielmehr geht es zunächst einmal um den ersten Schritt, und dieser besteht in der Klärung der metaphysischen Grundlagen der Informatik bzw. ihrer universalen Ontologie. Das betrifft also zunächst einmal die Frage ihrer Kategorien mitsamt ihrer Verhältnisbestimmung sowie die Klärung sämtlicher damit zusammenhängender meta-ontologischer Dispositionen. Wie sich im Folgenden zeigen wird, besteht darin ein überaus umfängliches, bisher kaum bearbeitetes Unterfangen; an diesem kommt die Informatik jedoch in keiner Weise vorbei, indem sie früher oder später feststellen wird, dass das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) im "*general world view*" wie in seiner universalen Semantik allein auf einem stabilen metaphysischen Fundament gründen kann. Das gilt nicht nur generell, sondern auch für alle Teilaspekte: Will man etwa zur in Pkt. 1.1 erwähnten aristotelischen Ontologievision des CERP-IoT Stellung beziehen, ist etwa mit Pkt. 4.4 die Spezifikation von Objekt vs. Ereignis und somit ihre Verhältnisbestimmung zu klären. Genauso sind dazu mit Pkt. 4.6 die Anforderungen, die im Zeichen der *Augmented Reality* an die *Ontologie der Artefakte* zu stellen sind, für Zwecke einer CPSS-adäquaten Ontologie zu reflektieren. Ohne solche Vorarbeiten sind die im fünften Teil diskutierten philosophischen Ontologien kaum beurteilbar, was wiederum eine notwendige Vorbedingung darstellt, um im sechsten Teil die meta-ontologische Reflexion für IoX-konforme TLO-Theorieanwörter vornehmen zu können, auf der schließlich das im siebten Teil erfolgende *Requirements Engineering* zur IoX-Spezifikation der Top-level Ontologie bzw. Ontologiearchitektur insgesamt aufbaut.

Mit Pkt. 1.1 wurden fünf Subsysteme des *Internet of Everything* (IoX) klassifiziert, die indessen nicht unabhängig, sondern vielmehr in ihm zu einem Ganzen verwoben sind: (i) *Internet of Data* (IoD), (ii) *Internet of Services* (IoS), (iii) *Internet of Things* (IoT), (iv) *Internet of Agents* (IoA) sowie (v) *Internet of People* (IoP). Dabei fordert insbesondere das IoT in all seinen Facetten eine ingenieurwissenschaftliche bzw. technologische Perspektive und eröffnet gleichzeitig eine neue Dimension für die *Semantic E-Sciences* aller Naturwissenschaften.⁵⁷³ Das *Internet of Everything* ist dabei gerade in diesem IoT-Kontext immer als *Real World Internet* (RWI) zu verstehen, womit es insgesamt ein *Cyber-physisches*

⁵⁷³ Eine *IoT-Sensorik/KS* Kopplung ist dabei etwa via *SenML/RDF* realisierbar, vgl. X. Su et al. (2014).

Ökosystem (CPE) bildet.⁵⁷⁴ Dem eigentlichen Kern nach bilden allein IoT-Systeme *Cyber-physische Systeme* (CPS); indessen wird mit dem *Social Internet of Things* (SIoT) bzw. *Internet of Social Things* deutlich, dass sich dieser CPS-Aspekt nicht so einfach isolieren lässt: wenn es sich hier um *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) handelt, wird deutlich, dass sich das *Internet of Everything* (IoX) insgesamt aus unzähligen *Cyber-physischen Systemen* konstituiert und somit im systemischen Sinne ein *Cyber-physisches Supersystem* darstellt. Dabei steht außer Frage, dass es sich bei einer exorbitanten Zahl an Relationen und Interaktionen aller beteiligten natürlichen wie maschinellen Agenten in solchen Netzstrukturen um ein *komplexes System* handelt. Die Komplexität des *Internet of Everything* bezieht sich dabei gewiss nicht allein auf die Milliarden natürlicher wie maschineller Agenten, sondern genauso auf die unvorstellbare Masse an Daten, die jeder einzelne dieser Agenten freisetzt. Sie bezieht sich genauso auf alle Web Services und Prozesse, die jeder dieser Agenten in Anspruch nimmt, wie insgesamt auf alle PPR- und andere reale oder virtuelle Entitäten, die es etwa für Zwecke von Sensor-, Kontext- und Situationsontologien zu kategorisieren gilt.

Das durch Mainzer (2000b) skizzierte *Ubiquitous Computing* bzw. *Pervasive Computing* wird im Zeichen *Cyber-physischer Systeme* völlig selbstverständlich, indem sie an jedem Ort, zu jeder Zeit in jeder Situation und jedem Kontext eine allgegenwärtige Informationsverarbeitung einfordern.⁵⁷⁵ ihr physisches Moment bezieht sich keineswegs nur auf Materie, sondern vielmehr auf die physische Einbettung in die Realität. Und diese lässt mit Sensorik und Aktorik keine Batchverarbeitung zu, sondern fordert selbstverständlich das *Sense-and-Respond* mehr oder minder in Echtzeit. Ontologisch ist davon nicht nur die Ontologiearchitektur betroffen, sondern vor allem auch ihre Korrespondenz mit den realen Welten. Entsprechend lässt sich die semantische Interoperabilität bei CPS-Interaktionen in sachgerechter Weise nicht auf Basis einfacher semantischer Netze bewerkstelligen; vielmehr setzen sie Ontologien voraus.⁵⁷⁶ In der Tat erfordern CPSS-adäquate Ontologien eine techno-wissenschaftliche Exaktheit bzw. Korrektheit, an der schon die defekte Grammatik der Alltagssprache vorbeigeht. Vielmehr besteht in der Forschung zunehmend Einigkeit, dass eine solche semantische Interoperabilität bereits aufgrund der erforderlichen Offenheit und Portabilität, aber auch zur Klärung fundamentaler Fragen wie Raum und Zeit oder Ereignistypen auf *Top-level Ontologien* aufbauen muss.⁵⁷⁷ Für das *Ontology Engineering* (OE) folgt daraus, dass jede Ontologie das Erfordernis der TLO-Referenz impliziert.

U-PLM-Systeme bilden auf Basis ihrer einzelnen Phasen polymorphe *Cyber-physische Systeme* (CPS). Das gilt für die *Produkte und Services*, die im PSS-Sinne den PLM-Gegenstand bilden. Im Referenzszenario der *Ubiquitous PLM-Systeme* (U-PLM) handelt es sich

⁵⁷⁴ Vgl. hierzu Robbins/Tanik (2014).

⁵⁷⁵ Entsprechend wird dieses Paradigma bei Greenfield (2006) als *Everyware* bezeichnet.

⁵⁷⁶ Vgl. etwa Zhuge (2011) sowie Petnga/Austin (2013).

⁵⁷⁷ Vgl. Cimiano (2004), Mezgár/Kincses (2007), Oberle et al. (2007), Janzen/Maass (2008), Magee (2011c) sowie Ye et al. (2011).

dabei immer um IoX-basierte, raumzeitlich verteilte "*Things*" und "*Services*", die ihrerseits auf PEID-Technologien basieren. Damit bilden bereits die zentralen Objekte von U-PLM-Systemen selbst *Cyber-physische Systeme* (CPS); *physische Produkt-Service-Systeme* (PSS) bilden als Gegenstand von U-PLM-Systemen immer *Cyber-physische Systeme* (CPS), die darüber hinaus als solche in der PLM-Nutzungsphase selbstverständlich auch allen Gesetzmäßigkeiten der physisch-realen Welt unterliegen.⁵⁷⁸ Damit wird auch anhand des Referenzszenarios das Erfordernis der CPSS-Adäquanz als unabdingbare Anforderung der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* deutlich. Auf PEID-Basis werden in der Nutzungsphase beim Kunden, also in allen Phasen des *Middle of Life* (MOL), die verschiedensten physischen bzw. virtuellen Sensordaten erfasst, um sie etwa für Konfigurations-, Wartungs-, Billing- und schließlich vor allem auch für die gerade wettbewerbsentscheidenden Innovationsprozesse zu nutzen. Beispiele für PEID-basierte Services bilden das *Asset Configuration Management* (ACM),⁵⁷⁹ die ereigniszentrische und IoS/SOA-basierte Zustands- bzw. Fehlerdiagnose (u.a. *Fault Detection and Isolation*, FDI),⁵⁸⁰ oder das Tracking bzw. die Analyse des Nutzerverhaltens etwa zur Produkt- resp. Serviceoptimierung. Dazu speisen PEID-Sensoren permanent Nutzungsdaten in *Ubiquitous PLM-Systeme* bzw. vorgelagerte IoT-Plattformen ein,^{581, 582} was mehr und mehr im Kontext verschiedenster Ontologien erfolgt. Das gilt bereits für Sensor- oder CEP- bzw. SCEP-Ontologien, während insbesondere mobile PEID-Produkte ein *System von Ontologien* einfordern, das kontextsensitive (CAW-Ontologien) resp. situationssensitive (SAW-Ontologien) Eingriffe erlaubt.

Demgegenüber stehen in der BOL-Fertigungsphase *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS) im Fokus, wenn es mit der *Smart Factory* um die *Factory of Things* bzw. das *Industrial Internet of Things* (IIoT) geht. Hier geht es darüber hinaus im Zuge der Beschaffungs-, Produktions- oder Distributionslogistik genauso um *Cyber-Physical Logistics Systems* (CPLS) wie beim *Disposal* im *End of Life* (EOL). CPPS wie CPLS zeichnen sich gerade durch extrem hohe Präzisionsanforderungen aus, die in der *Smart Enterprise Integration* (SEI) eine entsprechend präzise ontologische Grundlegung einfordert. Dies läuft regelmäßig darauf hinaus, dass in PLM-Kontexten vornehmlich explikative *Heavyweight-Ontologien* eingesetzt werden, die wiederum einer zwingenden TLO-Referenz bedürfen. In CPPS-Kontexten kommt darüber hinaus zunehmend kognitive Robotik zum Einsatz; sowohl die BOL- wie die MOL-Phase kann zudem durch Szenarien erweiterter Realität, also *Augmented Reality* (AR) geprägt sein, die ggf. entsprechende ontologische Unterstützung einfordert. Den ontologisch zu erfüllenden Präzisionsanforderungen steht im *Beginning of Life* (BOL) auf anderer Seite der Innovationsaspekt gegenüber, der für PLM-Systeme

⁵⁷⁸ Das ist bspw. im Rahmen der proaktiven Wartung in der MOL-Phase der Fall, vgl. Exner et al. (2017); auch dabei wird in umfassender Weise auf Ontologien zurückgegriffen, vgl. etwa Saalman et al. (2016).

⁵⁷⁹ Vgl. Ouertani et al. (2010).

⁵⁸⁰ Vgl. hierzu Beatrys Ruiz et al. (2004), X. Ren et al. (2005), X. Xu/Chen/Minami (2012), Mejjaoui/Babiceanu (2014) sowie Y. Dong et al. (2015).

⁵⁸¹ Vgl. als exemplarischen *Use Case* Abramovici/Lindner/Dienst (2013).

⁵⁸² Das betrifft den gesamten PSS- bzw. IoX-Konnex, vgl. Hussain et al. (2011, 2012).

ebenso charakteristisch ist. Dabei steht in wissensintensiven PLM-typischen Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der Biotechnologie oder Medizintechnik außer Frage, dass ein universales Ontologiekonzept den Einbezug von *Scientific Ontologies* zulassen können muss, bzw. ist dieses gerade auch auf solche wissenschaftliche Ontologien auszulegen. Diese müssen mit den technologischen bzw. praktischen Ontologien aller zwölf ontologisch zu integrierenden U-PLM-Phasen kompatibel sein.⁵⁸³ Zudem steht außer Frage, dass Innovationsprozesse subjektivistische wie objektivistische bzw. objektivierte Modi zulassen müssen. Insgesamt sind damit PLM-Systeme als *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) zu verstehen,⁵⁸⁴ was auch insofern gilt, als sie Multiagentensysteme (MAS) bilden bzw. in einzelnen CPS solche MAS zum Einsatz gelangen. Insofern bilden PLM-Systeme insgesamt Cyber-physische Systeme (CPS), was mit den zahlreichen Varianten, wie etwa CPPS, CPLS, CPSS, PEID oder kognitive Robotik, im generischen Sinne zu verstehen ist. Insgesamt wird damit für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* als realweltliche Systeme ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis zwingend, wie nachfolgende Abb. 2 illustriert:



Abb. 02:⁵⁸⁵ U-PLM-Systeme als polymorphe Cyber-physische Systeme (CPS)

Insgesamt wird deutlich, dass die Zukunft der PLM-Systeme über die oben erwähnten KMS ganz fundamental hinausgeht, indem sie Wissenssysteme (KS) bilden, die eine automatische Wissensgenerierung und –auswertung zulassen. Da in Closed-loop U-PLM-Systemen solche KS inkorporiert sind, konkretisiert sich auch ihr Komplexitätsge-sichtspunkt, da sie sich im Zuge des Hinzufügens selbstregulierender Funktionalitäten zu komplexen adaptiven Systemen (CAS) erweitern. Dies gilt nicht nur mit Blick auf die BOL-Phase für intelligente, selbstregulierende Prozesse, sondern gerade auch mit Blick auf die MOL-Phase für den Einsatz von PEID-Technologien, intelligenten Sensoren usf. im Kontext von CPS. Die Relevanz der automatischen Dateneinspeisung und –auswertung in Closed-loop U-PLM-Systemen stellt sich auch mit Blick auf die Integration von E-Com-

⁵⁸³ Die PLM-Phasen lassen sich auch anders abgrenzen, etwa umfassender wie bei Hepperle et al. (2010) oder komprimierter wie bei Y. Lu et al. (2016).

⁵⁸⁴ Vgl. hierzu P. Jiang et al. (2016a).

⁵⁸⁵ Quelle: Behnen (2015).

merce, Produktkonfiguratoren und PLM, etwa hinsichtlich möglicher Rückkopplungen zur Kundenerfahrung (CXM). Mit Blick auf das PPR-Framework ergeben sich aber nicht nur zahlreiche Möglichkeiten zur Wissensgenerierung im Hinblick auf die Produkt- resp. Servicedimension, sondern gerade auch im Hinblick auf die Prozess- und Ressourcendimension. Bezüglich der internen Prozessdimension kann etwa auf das automatische Auswerten zentraler Leistungsindikatoren (KPI) verwiesen werden. Prozesse haben im Closed-loop PLM aber auch eine externe Dimension. Denn die Integration zahlreicher externer Datenquellen im Closed-loop PLM führt nicht nur zu einer partiellen Verlagerung von PLM-Funktionalitäten in die *Cloud*,⁵⁸⁶ sondern via *Fog Computing* bei den interagierenden Devices (PEID) selbst.^{587, 588} Solch jüngere Entwicklungen sind selbstverständlich auch für die Digital Analytics von direkter Relevanz, indem eine Kombination von beidem erforderlich ist, während mit dem *Internet of Everything* (IoX) sich die Entwicklung bei bestimmten, jedoch nicht allen Services resp. Prozessen zugunsten des *Fog Computing* entwickeln wird. Denn der Intelligenz- und Autonomiegrad der Agenten steigt,⁵⁸⁹ je mehr Rechenleistung ihnen lokal zur Verfügung steht bzw. je mehr Services resp. Prozesse einschließlich der Digital Analytics sie in sich geschlossen lokal in Echtzeit abuarbeiten imstande sind. Anders gewendet wird das *Real-Time Computing* (RTC) nicht am Bandbreitenproblem scheitern. Auch hier bestehen in der *Smart Data Analytics* (SDA) und *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) Alternativen, während für einige Szenarien auch der Gedanke eines *Process Data Warehouse* (PDW) für PLM-Systeme Relevanz hat,⁵⁹⁰ was mit der durch CIMdata (2011a) empfohlenen Implementierung von BI-Funktionalitäten korrespondiert.

Mit Mainzer (2014a) gilt dabei im Hinblick auf die *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) gerade auch im speziellen Fall der im produktzentrischen (Losgröße 1 Vari-

⁵⁸⁶ Die NIST Definition des *Cloud Computing* besitzt industrieweite Akzeptanz; demnach gilt: »Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction. This cloud model is composed of five essential characteristics, three service models, and four deployment models«. Seine *fünf wesentlichen Merkmale* sind dabei folgende: (i) *On-demand self-service*, (ii) *Broad network access*, (iii) *Resource pooling*, (iv) *Rapid elasticity* sowie (v) *Measured service*. Die drei Servicetypmodelle bestehen in (i) *Software as a Service* (SaaS), (ii) *Platform as a Service* (PaaS) sowie (iii) *Infrastructure as a Service* (IaaS). Schließlich handelt es sich bei den vier Bereitstellungsmodellen um (i) *Private cloud*, (ii) *Community cloud*, (iii) *Public cloud* sowie (iv) *Hybrid cloud*, vgl. NIST (2011). Knapper ist die Definition bei Erl et al. (2013: 28): »Cloud computing is a specialized form of distributed computing that introduces utilization models for remotely provisioning scalable and measured resources«, ohne Hvh. des Orig.

⁵⁸⁷ Vgl. dazu Bonomi et al. (2012), Cisco (2015), Dastjerdi et al. (2016) sowie Khodadadi et al. (2016: 14 f.); alternativ zu *Fog Computing* wird auch von *Edge Computing* gesprochen, vgl. Biron/Follett (2016).

⁵⁸⁸ Der *Cloud-Ansatz* impliziert einen zentralistischen Ansatz mittels Großrechenzentren, während das *Fog-Computing* als dezentralistischer Ansatz auf verteilte Mikro-Recheneinheiten in der Nähe von Endgeräten bzw. in den Devices (PEID) selbst setzt. Die beiden Ansätze haben nicht zuletzt mit dem Bandbreitenproblem zu tun, das mit steigender Masse an IoT-Daten auch bei ständigem Ausbau der Netzinfrastrukturen vielfach bestehen bleiben wird.

⁵⁸⁹ Das deckt sich mit Gershenfelds (1999a: 10) IoT-Strategie des »embedding the means to solve problems in the things around us«, Hvh. des Verf.; es geht also um die *dezentrale* Problemlösungskompetenz einzelner Agenten, regionaler Agentencluster oder von in direkter Interaktion stehender MAS-Agenten.

⁵⁹⁰ Vgl. S. Brandt et al. (2008).

ten) Sinne auf PLM-Systemen basierenden *Smart Factory* wie im Fall PLM-zentrischer wissenschaftsbasierter industrieller Innovationsprozesse in Industrien wie der Biotechnologie, der Medizintechnik oder der Luft- und Raumfahrtindustrie, dass eine auf Multisensorsystemen aufsetzende Datenanalyse selbstverständlich allein nicht wegweisend sein kann. Es besteht nicht nur die Notwendigkeit, Roh- bzw. Messdaten aus unterschiedlichen Datenquellen zu Informationen zu verdichten, sondern gerade auch, diese Ausgangsdaten etwa für technologische Steuerungsentscheidungen im HLIF-Sinne auf Basis von AI-Ontologien bzw. der formalen Wissensrepräsentation in umfassender Weise zu reflektieren. Dabei kann in der Regel erst die Kombination verschiedenster Wissensquellen zielführend sein, nämlich die transdisziplinäre *ad hoc* Kombination praktischen agentenbasierten, d.h. subjektiven Erfahrungswissens mit objektiviertem technologischen und objektivem wissenschaftlichen Wissen. Auf Basis aller bisherigen Ontologiekonzeptionen der Informatik sind solche *ad hoc* Kombinationen jedoch von vornherein unmöglich, weil sie weder auf solche Integrationen bzw. Fusionen angelegt sind, noch aufgrund verschiedenster Defekte wie bspw. die Nichtberücksichtigung heterogener Wahrmacher (Truthmaker) ein automatisches sicheres Schließen auf Basis integrierter Wissensbasen überhaupt möglich wäre. Im Zeichen der höheren Informationsfusion (HLIF) bilden Daten, Information und Wissen eine Einheit, und entsprechend sind mit Mainzer (2014a) auch Daten, Erfahrungen wie korrespondierende wissenschaftliche Theorien notwendig als Einheit zu verstehen. Das ist allerdings mit Pkt. 3.2.3 nur auf Basis eines postklassischen AI-Verständnisses zur Wissensrepräsentation möglich. Dabei setzt dieses wiederum das in Pkt. 3.2.2 erörterte postklassische CM-Verständnis zur Modellierung kombinierter multisensorbasierter Informations- und Wissenssysteme voraus. Da solche Systeme nicht nur eine echte Einheit von Wissenschaft und Technologie implizieren, sondern genauso zwingend eine ontologiebasierte Reflexion im Rahmen universaler epistemologischer Prozesse aller Klassen semantischer Maschinen bzw. intelligenter Automaten voraussetzen, kommt die Informatik mit Pkt. 3.5 nicht um eine neue integrierte Ontologiekonzeption umhin.

Nicht nur mit der Produkt- und Prozessdimension des PPR-Frameworks, sondern auch mit der Ressourcendimension eröffnet sich vollumfänglich die Perspektive der *Smart Factory* als gegenwärtig wie künftig zentralem Steuerungsparadigma all jener produzierenden Industrien, die komplexe intelligente bzw. kundenindividuelle Produkte zum Gegenstand haben. Damit geht es um den Einbezug vernetzter Maschinen, von Multisensorsystemen mitsamt Sensorontologien sowie der Robotik, die mehr und mehr insgesamt auf SW-Technologien bzw. dem Internet der Dinge und Dienste (IoTS) fußen. Es steht außer Frage, dass diese jüngeren Entwicklungen um Closed-loop U-PLM-Systeme nicht nur besondere Anforderungen an ein zukunftsweisendes Konzept einer integrierenden *Ontologie komplexer IoX-Systeme* als SEI-Plattform stellen, sondern auch, dass sie einen ganz erheblichen Anstieg der Komplexität solcher Systeme in allen Dimensionen des PPR-Frameworks mit intelligenten Produkten, Prozessen und Ressourcen im Sinne vernetzter Maschinen und

Anlagen bedeuten. Damit wird sich auch die Relevanz der oben entwickelten Komplexitätsperspektive im CAS-Sinne für komplexe U-PLM-Systeme noch wesentlich erhöhen: Ohne diese technologische Methodologie wird es schwierig,⁵⁹¹ solche Systeme konkret wie abstrakt richtig zu verstehen, konzipieren oder weiterzuentwickeln.

Wenn Closed-loop U-PLM-Systeme auf semantischen Web Technologien und damit auf Ontologien basieren, ist auch mit Blick auf Cyber-physische Systeme (CPS) evident, dass gerade die fundamentalen Top-level Ontologien wesentlich sind. Dies gilt auch hier etwa bezüglich von Raum-/Zeit-Definitionen und dergleichen mehr.⁵⁹² CPS erfordern dabei in ihrer Kombination binärer und physischer Komponenten die *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, die nicht nur dem transdisziplinär durchgängigen informatorischen Aspekt im Allgemeinen, sondern darüber hinausgehend auch dem physisch-realen Gesichtspunkt im ganzen naturwissenschaftlichen Zusammenhang gerecht wird. Wenn bspw. die Informatik in vielen Bereichen mit der Nanotechnologie konfrontiert ist, dann sollte sie in ontologischer Hinsicht in Bezug auf Substanzontologien fragen, inwiefern Seibts (1996, 2005) Kritik des *Mythos der Substanz* gerechtfertigt ist. Das gilt gerade insofern, als die meisten ihrer Ontologieansätze diesem Substanzgedanken mehr oder weniger folgen, während die folgenden Ausführungen zeigen, dass Nanotechnologien im Zeichen adaptiver Materialien bzw. Produkte prozessontologisch zu verstehen sind. Wie *real* virtuelle Realitäten und wie *virtuell* die Realität ist, wird auch in der Komplexitätsforschung hinterfragt,⁵⁹³ und damit ist ihr methodologischer Status um eine metaphysische Basis zu ergänzen, die genau die gleiche wie jene der Informatik ist. Mit der im Folgenden behandelten *synthetischen Realität*, die in Pkt. 4.6 zusammen mit der *erweiterten Realität* in ontologischer Hinsicht nochmals aufgegriffen wird, geht das Digitale und das Physische zunehmend ineinander über. Natürlich erfordert gerade auch das Referenzszenario die richtige philosophische Perspektive.

Zweifellos wird eine einheitliche Perspektive erforderlich, die beide Weltsphären integriert, wenn CPS die physische und digitale Welt im Sinne der Cyber-Physik verschmelzen. Die techno-wissenschaftliche wie praktische Perspektive der Wahl ist dann im Whiteheadschen Sinne eine strukturalistische bzw. relationale. Mit ihr geht es um zwei Aspekte, nämlich um Ontologien im Sinne von Relationenontologien sowie um komplexe Systeme. Beide sind in der Lage, Cyber-physische Systeme einheitlich zu adressieren und sie stimmen auch im Realitätsprinzip kausaler Wirksamkeit überein. Somit wird nicht zuletzt auch anhand des Referenzszenarios deutlich, dass die ontologische Debatte genauso wie die AI-Debatte im Allgemeinen im Sinne der erforderlichen dritten AI-Generation neu zu justieren ist. Denn die Informatik erfordert im CPS-Sinne eine Ontologiekonzeption, die gezielt auf die Cyber-Physik wie auf den komplexen Systemaspekt ausgelegt ist, was alle bisherigen Ansätze letztlich nicht sind. Darüber hinaus sind realitätsbezogene Ontologien gerade auch im Referenzszenario mit Blick auf PLM-typische Industrien wie die Luft- und

⁵⁹¹ Vgl. hierzu etwa Mainzer (2005c, 2007a, 2007b, 2008a).

⁵⁹² Vgl. etwa Petnga/Austin (2013).

⁵⁹³ Vgl. etwa Svozil (1995).

Raumfahrt, Biotechnologie oder Medizintechnik ausgehend vom Gesichtspunkt exakter *Scientific Ontologies* zu entwickeln, die adäquate Wahrmacher (Truthmaker) einfordern.

Wenngleich eine universale Ontologiekonzeption mächtig genug sein muss, auch fiktionale Welten abzudecken, bemisst sich ihre Qualität vor dem Hintergrund der entscheidenden Cyber-physischen Systeme in erster Linie anhand ihrer Realitätsbezogenheit. Es geht also um das, an dem die Grubersche Ontologeauffassung fulminant scheitert, indem sie die Frage nach den Realitätsstrukturen erst gar nicht stellt, sondern sich implizit auf die Harmonie-These verlässt. Indem Cyber-physische Systeme regelmäßig technologische Artefakte bilden, müssen die Ontologien gerade auch im U-PLM-Referenzszenario nicht nur der physischen wie der virtuellen Realität, sondern insbesondere auch der synthetischen Realität entsprechen. Insofern ist die ganze Ontologiekonzeption gerade in ihrer richtigen Realitätsbezogenheit in abgestufter Weise zu entwickeln; es muss um eine *Ontology of Levels*, um eine *Mehrebenenontologie* gehen, die mit den vier im *CPST-Hyperspace* zu differenzierenden Welttypen gleichzeitig eine *Mehrweltenontologie* repräsentiert. Die Interdependenz der Welttypen impliziert in einer Prozessmetaphysik die Nachvollziehbarkeit, wie die Dinge in die Welt kommen. Indem das Referenzszenario neben der Präzision vor allem auf Innovation zielt, muss eine adäquate Ontologiekonzeption nicht nur auf die Ontologie der Artefakte abstellen, sondern konsequenterweise auch subjektive Denkwelten bereithalten, die Modalität erlauben. Indem der CPS-Gedanke für das Referenzszenario prägend ist, erweist sich der MAS/CAS-Aspekt als genauso konstituierend. In der Tat besteht in *Complex Adaptive Systems* (CAS) die einzige Sichtweise, für die im Referenzszenario universale Gültigkeit beansprucht werden kann. Selbst Lieferantennetzwerke resp. SCM-Systeme zeigen sich als CAS sachgerecht repräsentiert,⁵⁹⁴ die dabei semantisch interoperable Bestandteile von PLM-Systemen darstellen.⁵⁹⁵ Genauso gilt die CAS-Perspektive allgemein für PLM-bezogene Wertschöpfungsprozesse,⁵⁹⁶ wie auch speziell für die Technologieentwicklung und für Innovationsprozesse.⁵⁹⁷ CAS bieten somit die Perspektive der Wahl, um PLM-Systeme als integrierte Prozess- und Wissenssysteme auf Basis der *Theorie komplexer Systeme* zu analysieren, sie als intelligente Systeme zu optimieren, oder sie als verteilte, ubiquitäre Systeme weiterzuentwickeln.⁵⁹⁸

Die ontologische Herausforderung des *U-PLM-Referenzszenarios* besteht jedoch vor allem in den Realitätsübergängen; nicht zuletzt in dieser Sache ist es ein geeigneter Prüfstein für die Reflexion aller TLO-Theorieanwärter. Denn jede geeignete *Top-level Ontologie* muss gerade die ontologischen Implikationen des Wechselspiels *virtueller* und *physi-*

⁵⁹⁴ Vgl. etwa T.Y. Choi et al. (2001) oder Pathak et al. (2007).

⁵⁹⁵ Vgl. hierzu Smirnov/Pashkin et al. (2005) sowie Smirnov et al. (2006).

⁵⁹⁶ Vgl. zur Anwendung auf *Wertschöpfungssysteme* etwa McKelvey (1999a, 1999b, 1999c).

⁵⁹⁷ Vgl. etwa Fleming/Sorenson (2001), McCarthy (2003) sowie Carlisle/McMillan (2006); wesentlich ist hier insbes. das *NK-Modell* Kauffmans (1993); vgl. hierzu auch Kauffman et al. (2000).

⁵⁹⁸ Vgl. als allgemeine Perspektive Clippinger (1999); vgl. in *strategischer* Hinsicht etwa Pascale (1999) sowie in *organisationaler* Hinsicht etwa Dooley (1997).

scher Welten explizieren können.⁵⁹⁹ Denn kaum ein Szenario offenbart besser, wie fließend die Übergänge zwischen virtueller und realer Welt in beiden Richtungen sind. Dieses Problem ist dem PLM-Szenario von Anfang an inhärent, indem seit jeher das 3D-Printing (3DP) für Zwecke des Rapid Prototyping eingesetzt wird. Zunehmend ist dies auch als Fertigungsverfahren in der Kleinserienfertigung bzw. Ersatzteilversorgung der Fall. Aus allen gängigen CAD-Systemen lassen sich direkt STL-Files zur Steuerung von 3D-Druckern generieren.^{600, 601} Aber nicht nur diese CAD-Daten sind im PDM-Sinne in PLM-Systeme integriert. Vielmehr erfahren diese vor allem insofern Relevanz, als gerade beim Einsatz der 3DP-Technologie als Fertigungsverfahren der Verbund mit allen anderen PPR-Daten entscheidend wird. Nicht zuletzt eine komplexe Variantenfertigung, wie sie für die *Smart Factory* als AI-Szenario charakteristisch ist, kann kaum auf den Einsatz von PLM-Systemen verzichten.⁶⁰² Umgekehrt lassen sich via 3D-Scannern genauso augenblicklich physische Dinge in Computermodelle überführen. Natürlich erstreckt sich *Ontologie* dann nicht bloß auf Semantik, um auf Basis von Geometriedaten geometrische Ähnlichkeitsuchen zu vollziehen. Vielmehr ist die Ontologie auf alle PPR-Entitäten zu beziehen, wie es mit Pkt. 2.5 deutlich wird. Und dann zeigt sich, dass die meisten philosophischen bzw. linguistischen Ontologien natürlich genauso wenig wie die TLO-Ansätze darauf angelegt sind, dass Computermodelle auf Knopfdruck in physische Objekte transformierbar sind, bzw. sich diese umgekehrt auf Knopfdruck losgelöst von aller Materie in reine Form verwandeln lassen. Dabei wäre es bereits im Fall der 3DP-Technologie falsch, eine Verbindung zu den 3D-Objekten des *Common Sense* bzw. der Sprachphilosophie sehen zu wollen. Denn in ihrer Integration in die Produktlebenszyklen von PLM-Systemen geht es immer um raumzeitliche Transformationen.

Es geht hier jedoch nicht nur um Ontologie, sondern um die fundamentalen Strukturen aller Welten, um Metaphysik. Sie ist für das Referenzszenario auch insofern gesetzt, als seine Basistechnologie zunehmend im 4D-Printing (4DP) besteht,⁶⁰³ das umgekehrt durch ein 4D-Scanning komplementiert wird.⁶⁰⁴ Zwingend ist dann Metaphysik der modernen, techno-wissenschaftlichen Art, während alle antiquierte Metaphysik unmittelbar scheitert. Denn PLM-Systeme auf Basis von 4DP-Technologie haben die raumzeitliche Dimension cyber-physisch vollständig zu inkorporieren; für sie wird mit Pkt. 6.2.5 der Perdurantismus auch jenseits ihres elementaren Lebenszyklusgedankens ontologisch obligatorisch. Denn

⁵⁹⁹ Vgl. hierzu Mantovani/Riva (1999) sowie Morie (2008); vgl. hierzu ergänzend Steinhart (1998).

⁶⁰⁰ Vgl. etwa Stratasys (2015).

⁶⁰¹ STL ist das älteste, von 3D Systems entwickelte Dateiformat zur 3DP-Repräsentation von 3D-CAD-Modellen im ASCII- oder Binär-Format; wenngleich es alternative Dateiformate gibt, ist es Quasi-Standard.

⁶⁰² Vgl. dazu Ebrahimi et al. (2014).

⁶⁰³ Vgl. dazu Q. Ge et al. (2013, 2014, 2016), E. Pei (2014a, 2014b), Raviv et al. (2014), Tibbits (2014), Bakarich et al. (2015), J. Choi et al. (2015), Khoo et al. (2015), Y. Zhou/Huang et al. (2015), J. An et al. (2016), Ghi/Rossetti (2016), Gladman et al. (2016), Leist/Zhou (2016), Z. Ding et al. (2017), J.-Y. Lee et al. (2017), X. Li et al. (2017), Momeni et al. (2017), Monzón et al. (2017), E. Pei et al. (2017), Teoh et al. (2017) sowie C. Yang/Wang et al. (2017).

⁶⁰⁴ Vgl. etwa De Chiffre et al. (2014).

bei der 4DP-Technologie geht es nicht mehr wie auf 3DP-Basis lediglich um virtuelle bzw. physische Volumenpixel (Voxel).^{605, 606} Vielmehr sind es hier virtuelle bzw. physische *dynamische* Voxel (Doxel),⁶⁰⁷ die im raumzeitlichen Sinne zu verstehen sind. Insofern ist es mit Blick auf die Whiteheadsche techno-wissenschaftliche Metaphysik konsequent, das *U-PLM-Referenzszenario* auf die Basis des 4D-Printing einzuschränken, insofern es die umfassendsten Anforderungen für die Ontologieproblematik der Informatik bereithält. Wie im Folgenden deutlich wird, geht es dabei einerseits um abstrakte metaphysische Fragen, die nicht nur die Cartesische Metaphysik, sondern jenseits der Whiteheadschen auch alle anderen als Denkgebäude zusammenstürzen lassen. Sie kommen schon allein mit der Realitätsauffassung, die hier erforderlich wird, nicht zurecht, indem es um eine synthetische Realität geht, die sich allein auf Basis der Cyber-Physik erschließen lässt. Andererseits geht es jedoch genauso um all jene Fragen, die unmittelbar das Tagesgeschäft der Informatik berühren, indem etwa Aspekte der Datenmodellierung usf. zu klären sind. Denn die 4DP-Technologie betrifft unmittelbar das in Pkt. 2.5 erörterte PPR-Framework, und sie impliziert neben anderen Faktoren mit Pkt. 2.5.2 seine zwingende Auslegung als 4D-basierter PPRLT-Ansatz. Damit stellen sich die durch die 4DP-Technologie induzierten Ontologieprobleme der Informatik auf Basis adaptiver komplexer Produkte ganz praktisch dar:

»4D printing suggests a dramatic extension of 3D printing, allowing the technology to create dynamic, self-modifying objects. From a wider perspective, the integration of smart materials into 3D printing and other fabrication processes sets the stage for a profound revision of how we think about and interact with the products we live with every day. As 4D printing leads to products that can adapt independently to changing environments, without relying on complex motors and sensors, a new kind of interaction between humans and the physical world might be imagined [...].«⁶⁰⁸

Technische 4DP-Lösungen bzw. 4DP-Produkte sind insofern revolutionär, als es bei ihnen um intelligente, aktive bzw. adaptive Materialien, um logische bzw. *programmierbare Materie* geht: »Programmable matter is a universal object or material which is able to change its shape or other physical properties on command.«⁶⁰⁹ Abstrakt betrachtet ist dabei die Intelligenz solcher intelligenten Materialien im Leibniz-Whiteheadschen kosmologischen adaptiven Sinne zu verstehen. Indem sie etwa auf Basis von Nanotechnologien partiell mit AI-Funktionalitäten verwoben werden, ist Intelligenz dabei mit Mainzer (2016c) universal als Problemlösungsvermögen zu verstehen. Somit ist, um die durch Pei (2014a) bewusst offen gelassene Frage zu beantworten, das 4D-Printing selbst nochmals im Unterschied zu den bereits großen Potentialen des 3D-Printing revolutionär. Gegenüber den 3DP-Alternativen ergeben sich so viele Vorteile,⁶¹⁰ dass diese selbst bei einfachsten Produkten mittel- bis langfristig durch ihr 4DP-Pendant abgelöst werden. Mit diesen Vorteilen ist absehbar, dass das 4D-Printing zum Fertigungsverfahren für intelligente Produkte in der

⁶⁰⁵ Vgl. dazu etwa T.A. Campbell et al. (2014).

⁶⁰⁶ Ein *Voxel* wird definiert als »[a] fundamental, physical, aligned object, constrained to a repeating unit of physical 3D space. Not necessarily cubic or space filling«, vgl. Hiller/Lipson (2009: 138).

⁶⁰⁷ Vgl. dazu etwa Pacheco/Real (2009).

⁶⁰⁸ Headrick (2015: 8).

⁶⁰⁹ Vgl. Knaian et al. (2012: 1447).

⁶¹⁰ Vgl. zu den Unterschieden zwischen 3DP- und 4DP-Technologien T.A. Campbell et al. (2014) sowie Y. Zhou/Huang et al. (2015).

Smart Factory avancieren wird. Denn es eröffnet Losgröße-1-Szenarien, die mit adaptiven Produkten in der Nutzungsphase bis ins Detail designte kundenspezifische Lösungen ermöglichen. Insofern bringt erst die 4DP-Technologie die Idee des Produktlebenszyklus mit seinen integrierten BOL-, MOL- und EOL-Phasen richtig auf den Punkt. Die Programmierbarkeit der Materie eröffnet dabei höchst spezifische Varianten, womit nicht nur in der BOL-Phase die Produktdaten exponentiell zunehmen. Auch in der MOL-Phase werden etwa zur Produktoptimierung sensorbasierte Nutzungsdaten erhoben, und selbst in Bezug auf die EOL-Phase, etwa den programmierten Rückbau, sind die Daten von Relevanz.

Mit Blick auf die ontologische Änderungsproblematik sind somit alle Ontologiefragen von vornherein auf Basis der 4DP-Technologie zu reflektieren, wie es auch der Cyber-Physik entspricht. Dabei bringt die 4DP-Technologie, sobald sie in allen Hinsichten vollständig entwickelt ist, auch die Cyber-Physik technisch betrachtet zum Abschluss. Allerdings wird das ein längerer Prozess sein. Denn die 4DP-Revolution steht in technologischer Hinsicht noch ganz am Anfang,⁶¹¹ während ihre theoretischen Grundideen mitunter älter sind. Das betrifft primär die *Theorie zellulärer Automaten* etwa mit Toffoli/Margolus (1991) bzw. J. von Neumann (1951, 1966), wobei mit Blick auf die metaphysische Bewandnis der Sache festzustellen ist, dass die initiale Idee wiederum in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik, insbesondere bei Whiteheads (1929a) organismischen Automaten liegt. Daneben ist auch die anwendungsbezogene Forschung um intelligente, adaptive Materialien älteren Datums.⁶¹² Genauso reicht die 3DP-Forschung als technische 4DP-Basis mit den 3D-Geometrie- bzw. Datenmodellen bis zur Erfindung des 3D-Druckverfahrens durch C.W. Hull bzw. 3D Systems bis in die 1980er Jahre zurück. Neu ist nur die Kombination des Ganzen zur 4DP-Technologie,⁶¹³ einschließlich gedruckter praktischer Anwendungsbeispiele selbstadaptiver Materie.

Bislang basiert das 4D-Printing vor allem auf sogenannten "*Stimulus-responsive materials*".⁶¹⁴ Diese vermögen sich – analog der organismischen Prozesse der Natur – im Zeitablauf autonom an veränderte Umweltkonstellationen anzupassen. Insofern stellt die Zeit die entscheidende Dimension dar, als es in solchen Evolutionsprozessen prinzipiell um raumzeitliche Strukturkonstellationen bzw. Ordnungsmuster geht. Diese Adaption erfolgt auf Grundlage von *Smart Materials*, die in der Lage sind, ihr Geometriemodell bzw. ihre Formgebung sowie weitere physikalische Eigenschaften auf Basis externer Stimuli im

⁶¹¹ Von *4D-Printing* ist seit 2013 mit Tibbits die Rede; echte 4D-Printer sind jüngeren Datums.

⁶¹² Die Ursprünge etwa der Polytronik (Polymere Elektronik) reichen bis in die 1960er Jahre zurück; für jene der Bionik, aus der zahlreiche Impulse stammen, gilt dies ebenfalls.

⁶¹³ Hier geht es allgemein um Formgedächtnismaterialien (*Shape Memory Materials*, SMM), deren wichtigsten Varianten in *Shape Memory Alloys* (SMA) und *Shape Memory Polymers* (SMP) bestehen, vgl. etwa L. Sun/Huang et al. (2012). Bei Formgedächtnislegierungen (SMA) geht es um Metalle, die in zwei Kristallstrukturen existieren können und in ihrer Eigenschaft als Memorymetalle wieder ihre Ursprungsformen annehmen können. Demgegenüber handelt es sich in der Polytronik um Formgedächtnispolymere (*Shape Memory Polymers*, SMP); vgl. zu SMP speziell im 4D-Printing etwa Q. Ge et al. (2016), Zarek et al. (2016) sowie Monzón et al. (2017).

⁶¹⁴ Vgl. L. Sun et al. (2012).

Zeitverlauf beständig zu transformieren. Die Stimuli können dabei elektrischer, magnetischer, optischer, thermischer, mechanischer oder chemischer Natur sein; es geht also etwa um elektrische Ströme, magnetische Felder, Licht, Wärme, Druck, oder Wasser als Trigger.⁶¹⁵ Mit dieser Situations- bzw. Kontextsensitivität geht es im perzeptiven Sinne um "*embodied-embedded*" Adaptionsvorgänge, was in superioren 4DP-Stufen auch im kognitiven Sinne der Fall sein wird. Schon dieser Unterschied weist wiederum auf die Whiteheadsche Metaphysik, indem die Kognition systematisch über die Perzeption zu erschließen ist. Demgegenüber ist die Heideggersche dafür gänzlich ungeeignet, indem sie weder eine techno-wissenschaftliche noch eine kosmologische Metaphysik verkörpert. Genauso ungeeignet ist natürlich die aristotelische und Cartesische Metaphysik. Denn an die Stelle selbstidentischer Substanzen tritt jene intelligente Materie, wie sie nur bei Whitehead und Russell als prozessuale "*systems of events*" sachgerecht konzipiert wird. Entsprechend ist die Metaphysik der ersten Art nicht nur insofern elementar, als sie im Sinne zellulärer Automaten den faktischen wie fundamentalen Ursprung der eigentlichen 4DP-Idee bildet. Vielmehr lassen sich von den gegenwärtigen ersten Anfängen superioren, AI-basierte 4DP-Stufen nur dann richtig denken, wenn sie über die techno-wissenschaftliche *Klasse-4-Metaphysik* im Ganzen adressiert werden. Sie hilft, um die Verkopplung von lokaler bzw. regionaler mit globaler Intelligenz in abstrakter Weise zu verstehen, während die überholten Metaphysiken, auf die die Informatik bzw. AI-Forschung heute noch setzt, diese Perspektive erst gar nicht zu eröffnen vermögen. Darauf kommen wir im zweiten Teil zurück.

Mit dieser Situations- bzw. Kontextsensitivität weisen 4DP-Lösungen enorme Vorteile gegenüber 3DP-Alternativen auf, welche sich im Zeitablauf nicht ändern. Als entsprechend elementar wird die 4DP-Forschung schon gegenwärtig durch PLM-relevante Industrien eingestuft, etwa die Luft- und Raumfahrtindustrie (z.B. adaptive Formgebung von Tragflächen), Schuhindustrie (z.B. adaptives Profil), Textilindustrie (z.B. adaptive Formgebung), das AEC-Baugewerbe (z.B. intelligente, energieeffiziente Fassaden), die Möbelindustrie (z.B. selbstmontierende Möbel bei Verpackungsentnahme) oder die Medizintechnik (z.B. adaptive Implantate) genauso wie durch die militärische Forschung.⁶¹⁶ Indem solch intelligente Materialien die Fähigkeit zur Selbstmontage wie zur Selbstadaptation bzw. Selbstorganisation besitzen,⁶¹⁷ ändern sich mit der Erweiterung der 3DP- zur 4DP-Technologie neben der Produktdimension auch die Prozesse. Denn Komponenten müssen nicht zwingend ausgetauscht bzw. demontiert werden, wenn sich die Kontextbedingungen ändern; prinzipiell ist der ganze evolutionäre Prozess programmierbar. Mit der Fähigkeit zur Selbstreproduktion ist dabei auch die Ressourcendimension des PPR-Frameworks berührt.

Ungeachtet der Tatsache, dass die 4DP-Technologie mit Blick auf Aussicht zur Hebung enormer technologischer Potentiale gerade in der anwendungsorientierten Forschung stark

⁶¹⁵ In Abhängigkeit dieser verschiedenen Stimuli kann sich auch das, was unter "*Programmierung*" der Materie zu verstehen ist, beim 4D-Printing sehr unterschiedlich darstellen.

⁶¹⁶ Vgl. etwa T.A. Campbell et al. (2014).

⁶¹⁷ Vgl. etwa Tibbits (2012a, 2012b).

rezipiert wird,⁶¹⁸ ist ein Schlüsselaspekt der digitalen Realität bisher im Grunde komplett unberücksichtigt geblieben: der elementare Zusammenhang, der zwischen dem *4D-Printing* und der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wie insgesamt zur Ontologie der Informatik besteht. Indem diese Verbindung für die Ontologie- bzw. Metaphysikfrage der Disziplin bzw. zur Klärung von McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" als unerlässlich zu erachten ist, wird sie im Folgenden in zwei Schritten erörtert. Im ersten Schritt werden kurz zehn relevante 4DP-Aspekte dargelegt, um in einem zweiten Schritt die Konsequenzen für die Klärung der Ontologieproblematik zu folgern:

- (i.) Zunächst ist festzustellen, dass sowohl das 4D-Printing als auch die in eine ähnliche Richtung gehende Claytronics junge Forschungsgebiete darstellen, die im Bereich programmierbarer Materie einen entsprechend frühen Forschungsstand aufweisen. Auch ist darauf hinzuweisen, dass diese Gebiete nicht viel mit Ontologie im Sinne des *linguistischen* Verständnisses zu tun haben; allerdings dafür mit *metaphysischer* Ontologie umso mehr. Dennoch zeigt die jüngst einsetzende Kombination von SW-Ontologien (W3C) mit dem 3D-Printing,⁶¹⁹ dass zunehmend auch *Wissensontologien* mit 3DP- bzw. 4DP-Technologien verknüpft werden, was in intelligenten Welten auch unabdingbar wird. Demgegenüber erscheint das 4D-Printing wie die Claytronics für die Ontologiedebatte insofern besonders geeignet, indem sie aufzeigen, in welche Richtung sich die Informatik als cyber-physische Disziplin entwickelt und welche Konsequenzen dies für die Ontologiefrage hat. Darin besteht auch der primäre Grund, diese Technologieentwicklungen mitsamt ihrer ontologischen Implikationen zu reflektieren. Das gilt umso mehr, als mit der Idee der *programmierbaren Materie* die Frage der *Metaphysik der Informatik* wie jene des *Computing* unmittelbar berührt ist. Denn es geht einmal um die Frage der fundamentalen Strukturen cyber-physischer Welten bzw. um die Realitätsfrage, zum anderen um *Ontological Computing*, wenn *programmierbare Materie* auf ein spezifisches Verständnis des *Computing* hinausläuft: Es muss im Sinne P. Wegners (1995) um *Interaction Machines* gehen. Denn programmierbare Materie wird bereits in ihrem Ursprungskonzept bei Toffoli/Margolus (1991) im Zeichen der *Theorie zellulärer Automaten* genau so konzipiert. Programmierbare Materie ist in ontologischer Hinsicht gewiss etwas anderes als die aristotelische Substanz mitsamt ihrer Relata; ebenso ist sie nicht mit dem Cartesischen Dualismus vereinbar. Vielmehr ist sie als informationsbasierte *Relationenontologie* zu verstehen, denn sie ist »interactively driven, in the sense that its dynamical evolution can be started, interrupted, and resumed at any moment in response to the occurrence of specified inter-

⁶¹⁸ Vgl. Fn. 603.

⁶¹⁹ Vgl. etwa Dinar/Rosen (2017) sowie Garanger et al. (2017).

nal or external events«. ⁶²⁰ Die Relevanz der Whiteheadschen Grundlagen ist also auch hier gegeben. Vor diesem Hintergrund sind die technologischen Entwicklungen um das 4D-Printing wie auch der Claytronics zu sehen, wobei eine solch allgemeinere Betrachtung bisher kaum zu finden ist. Bourgeois et al. (2016) bilden dabei eine gewisse Ausnahme; sie verstehen, dass die Diskussion um die *programmierbare Materie* im Allgemeinen wie um das 4D-Printing bzw. die Claytronics im Besonderen vor dem Hintergrund einer allgemeineren Grundlegung zu führen ist. Für sie ist entsprechend evident, dass sie den allgemeinen Zugang der Cyber-Physik erfordert, wobei sie an der "Cybermatics" bei J. Ma et al. (2015) bzw. H. Ning et al. (2016) festmachen. Damit geht es auch in der Debatte um *programmierbare Materie* um den *CPST-Hyperspace*, der in dem hier relevanten IoT- bzw. IoX-Zusammenhang als *IoX-Hyperspace* zu fassen ist. Wenngleich die *programmierbare Materie* bei Toffoli/Margolus (1991) auf Basis zellulärer Automaten universal, d.h. unabhängig von einer konkreten materiellen Instantiierung entwickelt wird, geht es in der Anwendung immer um die Realisation *physischer* Artefakte. Es geht um Cyber-Physik. Dennoch steht die Bezeichnung *programmierbare Materie* für ein äußerst breites wie heterogenes Feld von Anwendungen.

- (ii.) Bzgl. der Unterschiede in den Ansätzen zur *programmierbaren Materie* lässt sich grundsätzlich zwischen zwei Denkschulen differenzieren. Diese unterscheiden sich darin, dass im ersten Fall die Programmierung external von der Materie gehalten ist, während sie im zweiten Fall als Prozessor der Materie inhärent ist. Im ersten Fall sind mit "Programmierung" lediglich *Planungsalgorithmen* gemeint; Stimulus und Response werden dabei als Steuer- bzw. Folgesequenzen berechnet bzw. simuliert, über die sich einzelne Konfigurationen der Materie als Schrittfolge realisieren lassen. Die "Sensorik" besteht dabei in der Materie selbst. Die Konfiguration bzw. Adaption der Materie ist dabei ganz gewöhnliche Physik. Ein einfaches Beispiel besteht in selbstfaltenden Origami. ⁶²¹ Dabei besitzen selbst solch vergleichsweise simplen Anwendungen programmierbarer Materie ihre ontologische Relevanz. Denn es geht bei ihnen gerade nicht um Objekte, die im Substanz- bzw. Trägersinne Ereignisse aufweisen, sondern genau umgekehrt um *Ereignisse*, aus denen ggf. unterschiedliche Objekte im Zeitablauf erst im Sinne *ereigniszentrischer* Struktur- bzw. Ordnungsmuster entstehen. Damit geht einher, dass nicht die Materie, sondern die *Form* primär ist; die Materie wird gerade in ihrer Formgebung durch die Berechnung der reinen Form, also im platonistischen Sinne, programmiert. Im zweiten Fall sind die Algorithmen in Form von Prozessoren

⁶²⁰ Vgl. Toffoli/Margolus (1991: 266).

⁶²¹ Vgl. etwa Hawkes et al. (2010).

implementiert; die einzelnen Elemente des Ganzen können rechnen und das Resultat besteht prinzipiell in einer neuen physischen Anordnung des Ensembles bzw. in einem Wandel seiner Eigenschaften. Die Anwendungen *programmierbarer Materie* sind in diesem zweiten Fall vielfältig; sie reichen etwa von modular rekonfigurierbaren Robotern (MRR),⁶²² die in den unterschiedlichsten Varianten gegeben sind, bis zur damit verbundenen Claytronics, die S.C. Goldstein et al. gemeinsam mit Intel entwickeln. Catom-Makrokörper bestehen dabei aus Milliarden Claytronics Atomen (Catomen),⁶²³ und können dabei die unterschiedlichsten intelligenten physischen Artefakte einer synthetischen Realität verkörpern. Jedes Catom verfügt dabei über einen eigenen Nanocomputer, über eigene Sensoren und ggf. weitere nanoelektronische Fähigkeiten, insbesondere solche von Aktoren. Elementar für die programmierbare Materie der Claytronics sind in der jüngeren Forschung 4D-basierte *Hyperforms*.⁶²⁴ Insgesamt betrachtet, werden eine Reihe von Anwendungen in diesem zweiten Fall auf die Integration verteilter, intelligenter MEMS bzw. NEMS in IoT-Strukturen hinauslaufen.⁶²⁵ Wie oben ausgeführt, sind diese Entwicklungen auch im *U-PLM-Referenzszenario* angelegt, indem PEIDs selbst auf MEMS- bzw. NEMS-Technologien aufsetzen. Im Gegensatz dazu ist das 4D-Printing in seiner heutigen Form zum ersten Fall zu zählen, indem kein Prozessor zum internen Vollzug des Algorithmus verfügbar ist; die Programmierung ist vielmehr externalisiert und es geht nach Start des Triggers bislang um gewöhnliche Physik, somit nur bedingt um Cyber-Physik.⁶²⁶ Die Materie ist also beim 4D-Printing bislang nur insofern programmiert, als sie im Zeichen von "*Stimulus-responsive materials*" auf externe Stimuli im programmierten Sinne etwa von Falttechniken reagiert.⁶²⁷ Zwar werden zahlreiche Objekte in IoT-Strukturen eingebettet sein, jedoch gewiss nicht alle. Es wird auch künftig eine ganze Reihe von Bauteilen geben, bei denen eine IoT-Anbindung entweder nicht sinnvoll, oder aber aus spezifischen Gründen unerwünscht ist. In vielen Fällen reicht ein Stimulus durch natürliche Faktoren wie Licht, Wärme oder Feuchtigkeit für die Prozessausführung aus. D.h. prinzipiell werden die beiden Denkschulen bleiben, jedoch

⁶²² Vgl. dazu etwa Gilpin/Knaian/Rus (2010), Gilpin/Rus (2010) sowie Knaian et al. (2012).

⁶²³ Vgl. etwa S.C. Goldstein et al. (2005).

⁶²⁴ Vgl. Weller/Gross/Goldstein (2011).

⁶²⁵ Vgl. Bourgeois/Goldstein (2011, 2012, 2015).

⁶²⁶ Es ist natürlich auch möglich, die Materie etwa über Stromimpulse (elektrische Signale) durch einen externen Computer zu steuern, auf dem der eigentliche Algorithmus ausgeführt wird.

⁶²⁷ Ein Ziel der 4DP-Forschung besteht in der Identifikation *universaler* Transformationen einzelner Ordnungs- bzw. Strukturmuster bzw. Formen (Shapes), etwa universaler Falttechniken, vgl. K.C. Cheung et al. (2011) sowie Tibbits et al. (2014). Die Grundidee wird wiederum durch die selbstfaltenden Origami in gut nachvollziehbarer Weise illustriert, indem aus der Anwendung gleicher Falttechniken (Ereignisse) unterschiedliche Gebilde (Shapes) bzw. Objekte hervorgehen können, vgl. dazu Hawkes et al. (2010).

ist davon auszugehen, dass sich das 4D-Printing in den IoT-nahen Fällen dem zweiten Fall annähern oder gar entsprechen wird. Die heute schon verfügbaren PCB-3D-Drucker, die auch in Form von Multimaterial-3D-Druckern Leiterplatten (PCB) drucken können, werden zunehmend der 4DP-Technologie entsprechen. Chemische Sensoren, Biosensoren usw. der programmierbaren Materie arbeiten dann in kombinierten 4DP-PEID-Nano-Produkten Hand in Hand mit elektronischen IoT-Sensoren bzw. Aktoren, was gänzlich neue Anwendungsfelder eröffnet. Dabei avanciert Weisers (1993b) *Ubiquitous Computing* zur faktischen, synthetischen Realität.

- (iii.) Die IoT- bzw. IoX-Verknüpfung des 4D-Printing liegt auch deshalb nahe, weil das 4D-Printing und der IoT-Gedanke einen gemeinsamen gedanklichen Ursprung besitzen, indem sie im Kern auf den Cyber-Physiker Gershenfeld bzw. das MIT *Center for Bits and Atoms* (CBA) zurückgehen. Tibbits (2010) hat unter Gershenfeld studiert; seine Überlegungen beziehen sich unmittelbar auf Gershenfelds (2005) *Fab Labs* sowie auf Gershenfelds Idee des 3D-Printing auf Basis intelligenter Materialien.⁶²⁸ Dabei basiert dieses unter anderem auf der patentierten *Reconfigurable Asynchronous Logic Automata* (RALA) Gershenfelds et al. (2010).⁶²⁹ Bei Gershenfeld/Vasseur (2014) wird der Gedanke des *Fab Labs* bzw. der 3DP-Technologie mit dem IoT-Gedanken zumindest bereits im Sinne eines "*objects on demand*" kombiniert; Objekte bzw. Dinge werden an Ort und Stelle dann ausgedruckt, wenn sie benötigt werden. Indem es bei 4DP-Technologien um adaptive, programmierbare Materie geht, eröffnen sich mit der 4DP-IoT-Kombination demgegenüber völlig andere Möglichkeiten; im Grunde alle des intelligenten Universums.
- (iv.) Jede RALA-Zelle bei Gershenfeld et al. (2010) verkörpert im Sinne der Cyber-Physik Raum, Zeit, Zustand und Logik; ungeachtet ihrer Abwandlung wird mit der RALA-Basis deutlich, dass die eigentliche *cyber-physische* Basis des 4D-Printing in der *Theorie zellulärer Automaten* besteht. Das ist nicht nur in Bezug auf die *programmierbare Materie* mit Toffoli/Margolus (1991) an sich zutreffend, sondern es wird darüber hinaus auch explizit auf J. von Neumanns (1951, 1966) Idee *selbstreproduzierender Automaten* aufgebaut einschließlich deren Modifikation, die der medizinische Genetiker L.S. Penrose (1959) in verwandtschaftlicher Kollaboration mit dem mathematischen Physiker und Kosmologen R. Penrose vollzogen hat.⁶³⁰ Dabei sollte nicht übersehen werden, dass die Idee der Reproduktion auf der Basis von Whiteheads (1929a) zellulären Automaten bereits umfassend ausgearbeitet wird, womit

⁶²⁸ Vgl. auch Tibbits/Cheung (2012).

⁶²⁹ RALA weist eine Verwandtschaft zu zellulären Automaten auf und stellt ein Petri-Netz mit vier logischen Zelltypen (AND, NAND, OR, XOR) dar.

⁶³⁰ Vgl. etwa Tibbits/Cheung (2012).

die Idee selbstreproduzierender Automaten nicht nur eigentlich eine Whiteheadsche ist, sondern auch nur auf Basis der Cyber-Physik im Ganzen, d.h. auf Basis seiner techno-wissenschaftlichen Metaphysik etwa unter dem Aspekt des universalen Grundstoffs der Information, den 4D-Event Streams bzw. dem Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit überhaupt richtig einordbar ist. Die Informatik ist nur in dieser Weise sachgerecht zu denken, von ihren digitalmetaphysischen Grundlagen bis zu ihrer erst so zu fassenden Semantik.

- (v.) Was die physische Realisierung anbelangt, basiert das 4D-Printing auf den Naturwissenschaften, allen voran auf der gewöhnlichen Physik. Allerdings ist damit gerade keine *Naïve Physics* gemeint, sondern es geht mit Prozessen der Selbstadaption bzw. Selbstorganisation um die *Komplexitätsphysik* resp. die *Physik der Evolutionsprozesse*, d.h. insgesamt um das, was in Pkt. 4.2 als "*New Physics*" nähere Erörterung findet. Diese Physik ist dabei auch zu den anderen Naturwissenschaften transdisziplinär offen gehalten, denn sie ist unmittelbar techno-wissenschaftlich orientiert, wenn es etwa um innovative Funktionsmaterialien geht, deren Funktionsschichten u.a. nach bionischen Vorbildern entwickelt werden. Wesentlich für diese neue Physik ist der Umstand, dass sie nicht mehr in der Tradition des Materialismus der klassischen Physik steht; dieser wird etwa durch Schrödinger, Heisenberg oder C.F. von Weizsäcker vehement abgelehnt und für inakzeptabel erklärt. Für sie geht es vielmehr um eine Physik, die explizit auf einer platonistischen Weltauffassung steht, wobei der eigentlichen Schlüssel zu dieser Auffassung in der platonistischen Cyber-Physik des mathematischen Physikers Whitehead gesehen werden darf. Es wird auch hier gerne verschwiegen, dass es dessen Prozessmetaphysik ist, um die es in der Kosmologie wie speziell auch in der Komplexitäts- und Selbstorganisationsperspektive der "*New Physics*" geht. Mit anderen Worten sollte man nicht meinen, dass Schrödinger, Heisenberg oder C.F. von Weizsäcker ihre platonistische Weltauffassung wirklich bei Platon selbst gefunden haben. Vielmehr können sie diese deshalb erst in Whiteheads "*footnotes to Plato*" entdeckt haben, indem es erst Whitehead ist, der sowohl den Hylemorphismus des aristotelischen Substanzgedankens wie den Cartesische Dualismus auf dem Stand der modernen Naturwissenschaften überwindet und damit zugleich die Trennung von Subjekt und Objekt mit seinem *Subjekt-Superjekt* wieder aufhebt. All das findet sich natürlich gar nicht bei Platon, sondern inklusive der ratio-empirischen Einbettung in die moderne Naturwissenschaft allein in Whiteheads Prozessmetaphysik. Man kann also Whiteheads "*footnotes to Plato*" insofern für sein eigenes Werk nicht geltend machen, als es sicher mehr ist als das; de facto ist es die einzige techno-wissenschaftlich belastbare Metaphysik überhaupt (vgl. hierzu Pkt. 4.2). Vor ih-

rem Hintergrund besitzt die *Physik der Evolutionsprozesse* insgesamt umfassende ontologische Konsequenzen,⁶³¹ die McCarthys (1995) Frage nach dem "general world view" der AI-Disziplin bzw. der Informatik und damit schließlich auch ihre *AI-Ontologie* im Zeitalter des "Reality Computing" unmittelbar berühren. Verfechter der "New Physics" wie R. Penrose (1997a) rekurrieren dabei gleichzeitig auf die Poppersche *Drei-Welten-Lehre*; damit setzen sie mit Verweis auf Pkt. 3.5 wie CYPO FOX als *Vier-Welten-Ontologie* ein erweitertes Realitätsverständnis voraus. Das wird mit der synthetischen Realität, in der sich die *programmierbare Materie* immer bewegt, auch notwendig, indem die geschaffenen Artefakte als "Stimulus-responsive materials" physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind. Dabei steht auch die durch verschiedene Verfechter der "New Physics" bemühte *Drei-Welten-Lehre* explizit auf der Basis der Whiteheadschen Prozessmetaphysik und somit insgesamt in der platonistischen Tradition. Es ist also festzustellen, dass die physikalischen Ansätze, die heute für den für die Informatik relevanten physischen Raum gängig sind, im grundsätzlichen Widerspruch stehen zu den metaphysischen Fundamenten, auf denen die Ontologieansätze der Disziplin stehen. Dass demgegenüber die 4D-basierte Cyber-Physik mit der "New Physics" unmittelbar korrespondiert, geht darauf zurück, dass sie in ihren kosmologischen bzw. metaphysischen Grundlagen eins sind; sie gründen beide in Whiteheads techno-wissenschaftlicher *Klasse-4-Metaphysik* als Digitalmetaphysik. Um diese kommt eine sachgerecht verstandene Informatik auch mit Blick auf die *programmierbare Materie* nicht umhin.

- (vi.) Ein Doxel repräsentiert als dynamisches Voxel eine 4D-Entität; im cyber-physischen Sinne existiert es in einer virtuellen bzw. digitalen und einer physischen Variante. Ein virtuelles Voxel lässt sich als ein 3D-Pixel auffassen. Bits und Atome, wie sie für Gershenfelds *Center for Bits and Atoms* (CBA) charakteristisch sind, bilden die Elemente von Whiteheads Cyber-Physik, die universal auf dem Prinzip kausaler Wirksamkeit, der Information als Grundstoff sowie der Logik zellulärer Automaten aufbaut. Physische Doxel stellen dabei das dar, was im Sinne des *Logischen Atomismus* bei Whitehead wie bei seinen Schülern Russell und Quine die Atome ausmacht. In Whiteheads metaphysischer Cyber-Physik gibt es virtuelle *und* physische Doxel; in Quines Empirismus als Naturalismus hingegen nur physische, die sich jedoch in gleicher Weise mit Mitteln der mathematischen Logik bzw. im Zeichen des mathematischen Strukturalismus fassen lassen.
- (vii.) Sowohl der Ontologieaspekt als auch der IoT-Aspekt spielen in der gegenwärtigen 4DP-Forschung keine Rolle. *Smart Materials* sind in der ersten oben

⁶³¹ Vgl. dazu auch Leinfellner (1992: 94).

erläuterten Fallvariante insofern von *Smart Products* (PEIDs) in technologischer Hinsicht zu differenzieren, als letzteren im Gegensatz zu ersteren ein Minicomputer inhärent ist. PEIDs stehen dabei regelmäßig im IoT-Kontext eines kombinierten *Cloud* und *Edge Computing*. In der bisherigen 3DP- bzw. 4DP-Forschung besitzt das Internet lediglich Funktion zur Distribution etwa von STL-Files,⁶³² um Geometriemodelle orts- und zeitunabhängig auszudrücken. Was den 4DP-Aspekt betrifft, sind schon für diesen einfachen Zweck die *Engineering Ontologies*, wie sie bei modernen PLM-Systemen zum Einsatz gelangen, auf 4D-Basis zu stellen. Mit anderen Worten besteht die cyberphysische Ontologieproblematik bereits insofern, als eine moderne verteilte Infrastruktur in der Industrie 4.0 mit PLM-Systemen und 4D-Druckern auf einer einheitlichen SEA/SOA-Basis stehen sollte, die eine konsistente Ontologiearchitektur bzw. ein einheitliches Ontologieverständnis voraussetzt. Es ist somit mindestens ein geschlossener biokybernetischer Kreislauf *Bits-Aktorik-Atome-Sensorik-Bits* vorauszusetzen, der ontologiegestützt zu konzipieren ist. Allerdings sollte die Ontologiefrage nicht an diesem Minimum ansetzen, sondern sich vielmehr danach richten, was an technologischer Entwicklung kurz- bis mittelfristig absehbar ist. Man sollte sich danach richten, was einerseits pragmatisch direkt erforderlich ist, während man andererseits versucht, das, was aus heutiger Sicht technologisch maximal erforderlich sein kann, unter Abwägung von Funktion und Aufwand so weit wie möglich zu realisieren. Geht es um die *Top-level Ontologie* als fundamentaler Ontologie, muss sie *IoX-adäquat* sein; ferner haben im Kontext der 4DP-Technologie Ontologien zur BOL-, MOL- und EOL-Steuerung kombinierter 4DP-PEID-Nano-Produkte auf sie zwingend zu referenzieren, damit sie integrierbar sind.

- (viii.) Dass es keine strikte Trennung von *Smart Materials* und *Smart Products* (PEIDs) geben wird, ist bereits heute mit Entwicklungen wie dem *Internet of Chemical Things* (IoCT), dem *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) oder dem *Internet of Medical Things* (IoMT) absehbar. Mit Akyildiz et al. (2015) geht es in solchen Kontexten etwa um ein "*bio-cyber interface*", womit es zu einer Kopplung von *Smart Materials* mit der IoT-Aktorik und –Sensorik kommt. Diese kann im Sinne von Akyildiz et al. (2015) direkt erfolgen; prinzipiell wäre auch eine indirekte Kopplung denkbar, indem die IoT-Aktorik etwa via Wärme, Licht oder Wasser entsprechende *Stimuli* für *Smart Materials* auslöst und die *Response* mittels Sensorik überprüft. Insofern sind der Vielfalt der externen Stimuli kaum Grenzen gesetzt. Auch wenn bisher noch deutliche Grenzen gezogen werden, ist zu erwarten, dass die 4DP-Technolo-

⁶³² Auch in dieser Hinsicht werden Weiterentwicklungen unternommen, indem dieser älteste, *de facto* Industriestandard keine Möglichkeit bietet, technische Daten etwa zu Materialeigenschaften zu übertragen.

gie auch die *4D-Hyperforms* der Claytronics von S.C. Goldstein et al. mit umschließen wird. Gleichzeitig ist nicht nur eine Kombination von *Smart Materials* (SMM) und MEMS an sich absehbar,⁶³³ sondern damit auch, dass die 4DP-Technologie in jeder Hinsicht in den IoX-Hyperspace inkorporiert wird,⁶³⁴ wobei eine Relevanz für sämtliche der fünf IoX-Subsysteme gegeben ist. Das *Internet of Things* (IoT) wird dann zum *Internet of Micro-Things*,⁶³⁵ und schließlich zunehmend zum *Internet of Nano-Things* (IoNT).⁶³⁶ Wesentlich ist dabei, dass die 4DP-Technologie nicht nur im PEID-Sinne mit adaptiven Produkten unmittelbar die Produktdimension betrifft, sondern neben adaptiven Ressourcen genauso elementar die Prozesse und damit insgesamt das in Pkt. 2.5 erörterte PPR- bzw. 4D-basierte PPRLT-Framework. Dabei ist die 4DP-Technologie im Zeichen des ganzen, in Abb. 1 dargestellten PLM-Lebenszyklus zu verstehen, d.h. vom *Requirements Engineering* über das *Systems Engineering*, die intelligenten Fertigungsprozesse (4D-Printer) über die MOL-Phase (sensorbasierte, datenüberwachte Selbstadaption) bis hin zum Rückbau bzw. Recycling (z.B. programmierte Rückbildung bei Implantaten der Medizintechnik). Dabei sind in Prozesssicht vor allem die Fertigungsprozesse betroffen, indem das 4D-Printing immer mehr das 3D-Printing ersetzen wird,⁶³⁷ bzw. letzteres als einfachste Alternative über verfügbare 4DP-Kapazitäten abgedeckt wird.⁶³⁸ Schon gegenwärtig wird das 3D-Printing bzw. die additive Fertigung in Abhängigkeit von der jeweiligen Losgröße mit herkömmlichen Fertigungsverfahren kombiniert.⁶³⁹ Dies wird sich auf Dauer auf die 4DP-Technologien verlagern,⁶⁴⁰ wobei außer Frage steht, dass mit zunehmenden Adaptionvermögen der Materialien (umfassend personalisierte Produkte) *de facto* in Richtung Losgröße 1 produziert werden wird.^{641, 642, 643} Mit

⁶³³ Vgl. etwa Varadan et al. (2006) sowie Sharma et al. (2015).

⁶³⁴ Vgl. dazu bspw. Caizzone et al. (2011).

⁶³⁵ Vgl. Bourgeois/Goldstein (2011).

⁶³⁶ Vgl. Akyildiz/Jornet (2010), Jornet/Akyildiz (2012), Balasubramaniam/Kangasharju (2013), Dressler/Fischer (2015), M.H. Miraz et al. (2015), N.A. Ali et al. (2016), Balasubramaniam et al. (2016), Jarmakiewicz et al. (2016), Ezz El-Din/Manjaiah (2017) sowie A. Nayyar et al. (2017).

⁶³⁷ Vgl. Y. Zhou/Huang et al. (2015).

⁶³⁸ Damit sind 4D-Printer gemeint, die bei Bedarf den 3D-Modus anbieten; erstere werden sich mit Blick auf die 4D-basierte Cyber-Physik und der Fertigung *intelligenter Produkte* auf Basis *programmierter Materie* durchsetzen.

⁶³⁹ Vgl. J.-L. Zhang et al. (2017).

⁶⁴⁰ Der 4D-Aspekt des 4D-Printing ist ein doppelter, indem sich dieser neben der Produktdimension (programmierbare Materie) auch auf die Prozessdimension beziehen kann. Bei Tibbits und anderen spielt die vierte Dimension nur beim Design (Programmierung i.S. von Planungsalgorithmen) *vor* dem Druck und später *nach* dem Druck bei der programmierten Materie im Sinne der Adaptionvorgänge eine Rolle, jedoch nicht beim Druckvorgang selbst. Demgegenüber kann sich der 4D-Aspekt auch auf den Druckvorgang beziehen, etwa wenn es beim *4D Nanoprinting* um zeitabhängige lichtinduzierte chemische Reaktionen geht, die spezifisch räumlich positioniert sind, vgl. dazu Carbonell/Braunschweig (2017).

⁶⁴¹ Diese vollends personalisierte Produktion betrifft bestimmte Industriezweige wie die Schuh- und Bekleidungsindustrie und bestimmte Produkte der Medizintechnik (Implantate etc.) mehr als andere Bereiche, in denen betriebswirtschaftliche Argumente gegen Losgröße 1 und für möglichst große Lose sprechen.

anderen Worten liegt es auf der Hand, dass 4DP-Technologien Einzug in die *Smart Factory* halten, indem erst in der *Adaption* intelligenter Materialien der eigentliche Schlüssel zur personalisierten Produktion liegt. Positiv gestützt wird dies durch den Umstand, dass additive Fertigungsverfahren (AM) gerade auch im Bereich der dazu entscheidenden Nanotechnologien von Bewandtnis sind (Nano-Manufacturing).^{644, 645, 646} So gesehen wird das *Internet of Everything* (IoX) erst mit dem *Internet of Nano Things* (IoNT) komplett, indem dann alle Entitäten auf den gleichen cyber-physischen Grundlagen stehen – und genau darum muss es vor dem Hintergrund von Weisers (1991, 1993b) *Ubiquitous Computing* bei McCarthys (1995) Frage nach dem "general world view" gehen. Indem *Nano-Things* als Artefakte einer synthetischen Realität in die physische Welt kausal inkorporiert sind, muss die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* gerade auch diese Artefakte in wissenschaftlicher, technologischer wie in praktischer Hinsicht erfassen, was wiederum eine entsprechende metaphysische Basis voraussetzt. Die cyber-physische Prozessmetaphysik Whiteheads ist auch in dieser Hinsicht die einzige Alternative, indem sie an Bits und Atomen ansetzt. Vor diesem Hintergrund steht insgesamt außer Frage, dass der *IoX-Hyperspace* nicht nur die physische Realität umfasst, sondern auf Basis von *Smart Materials* genauso einen *Smart Space* darstellt, der mit S.C. Goldstein/Mowry (2004a, 2004b) eine physisch realisierte *synthetische Realität* verkörpert. Im Zeichen der Selbstadaption und Selbstorganisation geht es dann universal um eine 4D-basierte *Cyber-Physik der Evolutionsprozesse*, die wie die "New Physics" insgesamt umfassende ontologische Implikationen für die CM- bzw. AI-Ontologie besitzt.

- (ix.) Es steht außer Frage, dass mit dem 4D-Printing intelligente Materie umfassenden Einzug in die Erfahrungssphäre hält. Damit ist sie nicht nur von tech-

⁶⁴² Das betrifft etwa Gleichteile in der Konstruktion, Bestellmengen in der Beschaffung, Lernkurven in der Produktion, standardisierte Technologien in der Wartung, normierte Verfahren im Recycling usf.

⁶⁴³ Hier ist entscheidend, was im Sinne der Losgröße 1 – als einer Variante pro Kunde – noch als *Variante* eines Produkts, und was als *Unikat* zu zählen ist. Beim Unikat ist der gesamte PLM-Zyklus gesondert zu durchlaufen (z.B. Requirements Engineering, Lastenheft), bei Varianten geht es im PLM hingegen in Produkthinsicht um Variantenmanagement und in Fertigungsprozesshinsicht um die Losgröße. Ein Unikat ist keine Variante eines Produkts, wobei dieser Unterschied z.B. in der Werftindustrie entscheidend ist (z.B. Konstruktion des Schiffsrumpfes). Auf 3DP- bzw. 4DP-Basis werden sämtliche Individualisierungsstrategien möglich: Prototypen, Unikate, Kleinserien, Build-to-order sowie Mass Customization.

⁶⁴⁴ Vgl. Esmailian et al. (2016: 93); vgl. zu AM und Nanotechnologien allgemein O. Ivanova et al. (2013).

⁶⁴⁵ Vgl. dazu im 4DP-Kontext etwa T.A. Campbell et al. (2014) sowie X. Li/Shang/Wang (2017).

⁶⁴⁶ Die Nanotechnologie kann insofern als entscheidend erachtet werden, als mit dem Physiknobelpreisträger H.L. Störmer gilt: »Nanotechnology has given us the tools [...] to play with the ultimate toy box of nature – atoms and molecules. Everything is made from it. The combination of our top-down tools and methods with self-assembly on the atomic scale provides an impressive array of novel opportunities to mix-and-match hunks of chemistry and biology with artificially defined, person-made structures. The possibilities to create new things appear limitless«, vgl. H.L. Störmer in IWGN (1999: viii). Das gilt umso mehr, wenn sich Artefakte auf Basis von 4DP-Technologien gemäß spezifischer Anforderungen individuell fertigen lassen.

nologischer, sondern auch von erfahrungswissenschaftlicher Relevanz. Die Erfahrungswissenschaften werden sich zunehmend empirisch auf IoT-Technologien stützen; an das *Internet of Geophysical Things* (IoGT), das *Internet of Living Things* (IoLT) usf. schließen entsprechend die *exakten Semantic E-Sciences* unmittelbar an. Damit müssen sich *Scientific Ontologies* neben der natürlichen Realität vermehrt auch mit der in sie inkorporierten synthetischen Realität auseinandersetzen. Somit wird es erforderlich, dass sie insgesamt auf eine *cyber-physische Top-level Ontologie* referenzieren können, die etwa die *4D-Hyperforms* der Claytronics adressierbar macht.

- (x.) Das 4D-Printing ändert ohne Zweifel nicht nur in technologischer und wissenschaftlicher Hinsicht die Art und Weise, wie die *Realität* zu erfassen ist. Vielmehr wird dies genauso in ganz praktischer Hinsicht der Fall sein, wenn intelligente Materialien in die verschiedensten Bereiche des Alltags Einzug finden; sie betreffen dann notwendigerweise auch den *Common Sense* als Alltagsverstand. Dass *programmierbare Materie* im ereigniszentrischen 4D-Sinne verschiedene Formen (Shapes) annehmen kann, gehört dann als fundamentale Einsicht in den *Common Sense*. Somit lässt sich insgesamt die Frage, ob das 4D-Printing Einfluss auf den "*general world view*" hat, klar bejahen. Für die Erfassung der Realität ist offensichtlich die Cyber-Physik genauso wie die "*New Physics*" maßgeblich, die gemeinsam auf 4D-basierten ereigniszentrischen *komplexen Systemen* stehen. Dabei eröffnet die *Theorie zellulärer Automaten* einen gemeinsamen techno-wissenschaftlichen Zugang.

Aus diesen zehn Punkten lassen sich sieben Konsequenzen ableiten, die das 4D-Printing für die Ontologieproblematik bzw. für die Meta-Ontologie der Informatik impliziert:

- (i.) Das 4D-Printing verkörpert nichts anderes als die Digitalmetaphysik als 4D-basierte Cyber-Physik; aktive, intelligente Materialien stellen technologisch letztlich das dar, was bei Whitehead (1929a) im Zeichen von zellulären Automaten und ihren organismischen Zustandsmustern vorgezeichnet ist. Damit gelangt das in Pkt. 3.4 näher erörterte IMKO *OCF* als Aktualisierung des Leibnizprogramms ins Spiel: natürlich besteht ein unmittelbarer Bezug zwischen der Struktur der *Knowledge Ontology* und der *metaphysischen Ontologie*, wie es der Leibniz-Whiteheadschen Strukturidentität entspricht. Insofern ist Ontologie immer *metaphysische* Ontologie, und diese notwendig *techno-wissenschaftliche* Ontologie. Sie verkörpert dabei einen 4D-basierten universalen Strukturalismus, in dem Objekte *ereigniszentrische* Strukturmuster bilden. Cyber-Physik und "*New Physics*" basieren dabei nicht nur auf dem gleichen Grundstoff der *Information*, und setzen das gleiche Kausalitätsprinzip, komplexe Systeme wie eine identische kosmologische Grundlegung voraus;

vielmehr sind sie eins; sie bilden eine Einheit, die insgesamt auf eine transdisziplinäre techno-wissenschaftliche Praxis hinausläuft.

- (ii.) Aktive, intelligente Materialien sind *ontisch* gegeben; sie sind kausal in der Realitätssphäre wirksam. Wenn ereigniszentrische intelligente, selbstadaptive 4D-Objekte in der Welt sind, dann lassen sich diese Welten kaum auf Basis einer 3D-objektzentrischen Alltagssprache in geeigneter Weise repräsentieren. Dabei besteht dieses Defizit nicht nur im wissenschaftlichen wie im technologischen Kontext, sondern es ist vielmehr auch im praktischen Alltagskontext unhaltbar. Indem intelligente, selbstadaptive 4D-Objekte als PSS/PEID-Produkte des *U-PLM-Referenzszenarios* in der allgemeinen Lebenswelt präsent sind, ist ein 3D-objektzentrischer *Common Sense* inakzeptabel. Entsprechend kann dieser nicht mehr auf einer 3D-basierten Grammatik stehen, sondern muss im Sinne D. Davidsons ereigniszentrisch umgeformt werden. Indem der Ontologie die in Pkt. 1.1 beschriebene *fundamentale Änderungsproblematik* inhärent ist, lässt sich die Frage der sachgerechten Konzeption der Ontologie entsprechend kaum in die Zukunft verschieben.
- (iii.) Hinsichtlich des "*general world view*" der Informatik ist zu berücksichtigen, dass mit den 3DP- bzw. 4DP-Verfahren nicht die Materie bzw. Substanz primär ist, sondern im Sinne C.F. von Weizsäckers (1974) bzw. Whiteheads die Form. Mit anderen Worten ist die aristotelische ontologische Position, wie sie auch etwa durch das CERP-IoT ins Spiel gebracht wird, genauso wie der Cartesische Dualismus mit diesen Technologien inkompatibel. Damit ist auch der emergentistische Materialismus Bunge's, in dem eine der Alternativen zur Metaphysik der Informatik gesehen wird, bereits mit dieser technologischen Sache abzulehnen (vgl. im Einzelnen Pkt. 5.3).
- (iv.) Der ontologische Gegensatz von 3D- vs. 4D-Printing berührt unmittelbar den "*general world view*" und damit die *Knowledge Ontology*. Die Informatik kommt auch in diesem IoIT- bzw. I40-Zusammenhang nicht umhin, sich mit den Gegensätzen der substanz- bzw. objektzentrischen *Ontologie des Seins* als statischer bzw. klassischer Ontologie sowie der ereigniszentrischen *Ontologie des Werdens* als dynamischer bzw. Whiteheadscher Ontologie auseinanderzusetzen. Leinfellner (1982) liegt in seiner Feststellung richtig, dass aus diesem metaphysischen Gegensatz unmittelbare *semantische Konsequenzen* für die Wissensontologie verbunden sind. Natürlich gilt wiederum mit P.M. Simons (2006b: 95): »metaphysics constrains semantics«.
- (v.) Die Informatik muss entsprechend alle Diskursuniversen als 4D-Welt erfassen bzw. modellieren; mit Verweis auf Pkt. 1.2 besteht dabei engste Korrespondenz zwischen konzeptuellen und semantischen Modellen, die entsprechend mit Pkt. 3.2.4 eine Konvergenz der Ontologien einfordert.

- (vi.) Wenn Tibbits/Cheung (2012) im Zuge der Herausbildung der 4DP-Technologie von *"Logic Matter"* als *"complex systems"* sprechen, ist das selbst unter dem IoT-Aspekt nicht neu; genauso wenig unter dem kybernetischen bzw. prozessmetaphysischen Gesichtspunkt. Denn darum geht es schon bei Leibniz und im 4D-Sinne bei Whitehead (1920, 1929a) bzw. Russell (1927a). Bei letzteren wird *Materie* im Zeichen der mathematischen Logik und *Cyber-Physik* bzw. *"New Physics"* als *"system of events"* konzipiert. Das 4D-Printing ist also gerade auch insofern revolutionär, als es die eigentliche ontologische Revolution der Informatik unmittelbar tangiert: die Disziplin muss damit letztlich zu ihren Ursprüngen zurückkehren; sie wird mit der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik als Cyber-Physik wieder auf die Füße gestellt.
- (vii.) Demgegenüber scheitert die *deskriptive* Metaphysik als *Natural Language Metaphysics* auch am 4D-Printing, da sie dem objektzentrischen 3D-Paradigma verhaftet ist. Zugleich wird die Zweckmäßigkeit der *revisionären* Metaphysik im Zeichen des Ratio-Empirismus deutlich: Natürlich ist die Emergenz aktiver, intelligenter Materialien für die Erfahrungssphäre ein entscheidender, in der Alltagssprache bislang unberücksichtigter Sachverhalt, der im Whiteheadschen Sinne eine Überprüfung der Kategoriensysteme erforderlich macht: die Kategorien sind dabei im Sinne des IMKO *OCF* insgesamt, d.h. in Bezug auf die metaphysische Ontologie und die Wissensontologie, einer Revision zu unterziehen. Diese Prüfung offenbart, dass die *Klasse-3-Metaphysik* Bunes nicht nur am Materialismus scheitert, sondern auch insofern, als es sich um ein endurantistisches Metaphysiksystem handelt. Die revisionäre Prüfung zeigt ferner, dass das Whiteheadsche Kategoriensystem korrekt ist.⁶⁴⁷

1.5.2 Ubiquitäre PLM-Systeme als wissenszentrierte Prozesssysteme

»The main goal of Product Lifecycle Management (PLM) is the management of all the business processes and associated data generated by events and actions of various lifecycle agents (both human and software systems) and distributed along the product's lifecycle phases [...].«

— Aristeidis Matsokis/Dimitris Kiritsis (2010a: 787)

Für das richtige Verständnis des Grundgedankens von PLM-Systemen ist die Feststellung zentral, dass die integrierte Steuerung des PLC bei dem zyklischen Durchlauf sämtlicher oben in Abb. 1 ersichtlichen U-PLM-Phasen konsequent auf den Wertschöpfungsaspekt auszurichten ist.⁶⁴⁸ Es ist dieser Wertschöpfungsaspekt, der mit dem Kundennutzen erst die Zieldimension vorgibt, die für die strategische Natur von U-PLM-Systemen elementar ist. PLM-Lösungsanbieter wie Oracle (2011) gehen gar so weit, ein solches *"Product Value Chain Management"* als Fortentwicklung des eigentlichen PLM-Ansatzes zu erachten:

⁶⁴⁷ Vgl. dazu im Einzelnen Pkt. 4.1 und Pkt. 4.2.

⁶⁴⁸ Vgl. auch Schuh et al. (2008: 210).

1. Zur Funktion der Top-level Ontologie (TLO) im Internet of Everything (IoX)

»The industrial product manufacturing industry is in constant flux, driven by relentless financial pressure, demand cyclicity, and increasing customer need for ever more complex products. Success has become even more difficult to achieve, given a lack of adequate insight into returns on investment. It's time to examine the Product Value Chain – the entirety of all the processes, both inside and outside the company, that touch your products and product data from design, to supply chain, to production, to sales. Only Oracle can unlock the value of your Product Value Chain by leveraging the combined strength of our best-in-breed Product Lifecycle Management (PLM), Product Data Hub (PDH), and Product Data Quality (PDQ) solutions to systematically manage the on-time and on target release, quality and profitability of your products across your entire extended enterprise, or Product Network.«⁶⁴⁹

In der Tat findet sich diese Vision, PLM-Systeme in prozessorientierter Weise insgesamt auf den Wertschöpfungsaspekt auszurichten, etwa mit IBM (2004) von Anfang an:

»A PLM solution can substantially increase productivity by providing a consistent set of tools, processes and methodologies to help reduce redundancies, leverage knowledge and share data across the business and product lifecycle value chain. A complete PLM solution will also improve quality, time to market and product innovation by enabling a collaborative design engineering environment.«⁶⁵⁰

Auch andere Lösungsanbieter wie Siemens (2010a) sehen die zentrale Funktion von PLM-Systemen explizit in der Synchronisierung der gesamten Wertschöpfungskette. Das PLM-Konzept ist also schon immer in einer *prozessorientierten* Weise zu verstehen gewesen, wie es auch Scheer et al. (2006) betonen. Allerdings sind bis heute daraus nicht die richtigen Schlüsse gezogen worden, weil dies eine tiefgreifende und umfassende Integration der PLM- und BPM-Welten erfordert, die bisher kaum umgesetzt wird. Mit dem strategischen Anspruch von U-PLM-Systemen wie auch mit ihrem Ziel der integrierten Steuerung aller Lebenszyklusphasen wird auch aus Sicht von IBM (2008a) eine umfassende und enge BPM-PLM Kopplung unabdingbar. Mit dem Wertschöpfungsaspekt als wesentlicher Zieldimension von PLM-Systemen ist entsprechend der oben erwähnte prozessorientierte pragmatische Wertschöpfungsbegriff zugrundezulegen, der für sämtliche End-to-End Prozesse Gültigkeit besitzt. PLM-Zyklen sind somit als Wertschöpfungszyklen zu verstehen.

Indem PLM-Systeme zuvorderst Prozesssysteme darstellen, ist die PLM-Technologie notwendig um die BPM-Technologie zu ergänzen. Diesen Gedanken haben bisher allenfalls vereinzelte PLM-Lösungsanbieter als wesentlich erkannt. Vor allem aber sind PLM-Systeme als kombinierte Prozess- und Wissenssysteme deshalb von Relevanz, weil sowohl die Wissensexploration als auch die Wissensexploitation in Prozessen geschieht; das generierte Wissen also allein durch seine Verwendung in einzelnen Prozessen erst seine strategische Relevanz entfaltet. Beispielsweise erfährt das Wissen bzgl. einzelner zentraler U-PLM-Leistungsindikatoren (KPI) erst dadurch seine faktische Bewandtnis, dass (maschinelle) Agenten entsprechende Konsequenzen für damit zusammenhängende PLM-Prozesse daraus ziehen. Z.B. könnten konkrete Maßnahmen zur Prozessoptimierung daraus abgeleitet werden. D.h. die strategische Relevanz des Wissens steht bei U-PLM-Systemen in direktem Zusammenhang zu Management-, Kern- und Unterstützungsprozessen. Dabei geht es in den Prozessen selbst um die Entscheidungsrationalität von Akteuren und maschineller Instanzen, mit Blick auf die Produkt-, die Prozess- sowie die Ressourcendimen-

⁶⁴⁹ Oracle (2011: 1).

⁶⁵⁰ IBM (2004: 7).

sion. BPM ist vor diesem Hintergrund als technologischer Grundbaustein sämtlicher PLM-Prozesse zu begreifen.⁶⁵¹ Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* muss auf dem prozessorientierten Gerüst dieser Systeme aufbauen, das wiederum Teil des PPR-Frameworks ist.

Die prozessorientierte Sichtweise ist im Hinblick auf den strategischen Anspruch von PLM-Systemen wie auch taktisch und operativ unabdingbar. Indem die PLM-Architektur konsequent in den SEA-Kontext zu stellen ist, wird deutlich, dass die bisherige PLM-Praxis in ihrer ausschließlichen Fixierung auf Workflows (Wf) und ihrer gesonderten Definition in den PLM-Systemen grundsätzlich verfehlt ist. Mit anderen Worten ist der bisher übliche parallele, nicht-integrierte Betrieb von BPM- und PLM-Systemen nicht nur mit Blick auf Inkonsistenzen und Ineffizienzen ein Missstand, indem sich Prozesse und Workflows (Wf) auf gleiche Sachverhalte beziehen. Vielmehr ist das *Smart Enterprise* nur dann zu realisieren, wenn es auch konsequent auf einer durchgängigen *Smart Enterprise Architecture* (SEA) aufbaut. Ontologisch folgt daraus, dass die PLM-CO mit Pkt. 2.3 als *Enterprise Ontology* (EO) zu behandeln ist, wobei diese wiederum dahingehende Modifikation erfahren muss, dass sie statt ihres bisherigen transaktionsorientierten ERP-Zuschnitts auf den *realen, lebenszyklusorientierten U-PLM-Fokus* umschwenkt, der auf einer kombinierten IoX-/ED-SOA-Grundlage aufbaut. In der *PLM-CO* ist mithin der *EO-Kern* zu sehen. Insofern ist auch im Bereich der EO-Forschung radikal umzudenken, nicht zuletzt, indem mit dem durch *U-PLM-Systeme* zu erfüllenden Kriterium der CPSS-Adäquanz eine feste *TLO-EO-Verkopplung* erforderlich wird. Mit dem SEA-bedingten und PPR-basierten BPM-PLM Konnex ist der PLM-Fokus zunächst einmal auf das Prozessportfolio wie auf die systematische Entwicklung der Prozesslandschaft zu richten und gerade nicht auf die isolierte Wf-Definition. Vielmehr sind diese auf Grundlage von Notationen wie BPMN2 via *Business Process Engines* (BPE) aus Prozessmodellen generierbar:

»Aufgrund dieser funktionalen Kohärenz steht daher zu erwarten, dass kontinuierlich Funktionen des PLM auch in Business Process Engines (BPE) diffundieren werden. [...] Letztendlich wird PLM nur noch eine Ausprägung von Business Process Engines im Industriebetrieb sein.«⁶⁵²

Indessen wäre es grundlegend verkürzt, wie Scheer et al. (2006) den PLM-Ansatz unter das BPM-Konzept subsumieren zu wollen. Vielmehr handelt es sich bei den Prozessen um lediglich eine der drei PPR-Dimensionen. Richtig ist vielmehr den BPM-PLM Konnex zu einem Ganzen zu verschmelzen, das auf einer IoX-basierten *Smart Enterprise Architecture* (SEA) und ihrem PPR-Framework aufbaut: PLM-Systeme bilden dabei die *PSS-bezogene Integrationsplattform*, womit diese genau umgekehrt zu Scheer et al. (2006) BPM-Systeme als *prozessbezogene Integrationsplattform* in sich zu inkorporieren hat: der Aufbau eines jeden SEA-basierten *Smart Enterprise* hat an der PSS-Definition anzusetzen; denn es ist diese, die jedes ontologische Anwendungs- und Integrationsszenario erst spezifiziert. Insofern bilden PLM-Systeme auch den lebenszyklusbezogenen *Prozessintegrator*, der die zugehörige Daten-, Anwendungs- bzw. Serviceintegration notwendig mit umfasst.

⁶⁵¹ Vgl. auch Scheer et al. (2006), Schuh et al. (2008), Bertoni et al. (2009) sowie Marchetta et al. (2011).

⁶⁵² Scheer et al. (2006: 11).

Ubiquitäre PLM-Systeme als *wissenszentrierte Prozesssysteme* bilden insofern ein zentrales Moment des U-PLM-Referenzszenarios als aus ihnen eine ganze Reihe elementarer Anforderungen an eine *IoX-adäquate Top-level Ontologie* resultieren. Denn ontologisch ist man dann kaum mehr bei Aristoteles oder der Alltagssprache, worauf weite Teile der Ontologie der Informatik aufbauen. Vielmehr geht es um Ereignisse und Prozesse als fundamentale Kategorien, um elementare Transformationen, um stetigen Wandel, um das systematische Auftreten von Neuerungen, komplexe Strukturen oder reproduzierende Ordnungsmuster. Damit ist klar: jede Top-level Ontologie ist als oberste Ontologieebene der Informatik unhaltbar, wenn sie solchen Anwendungs- und Integrationsszenarien nicht in ihrem Kern entsprechen kann. Darin besteht insofern eine wichtige Erkenntnis für die Ontologiedebatte, indem dies fast die gesamte Bandbreite an TLO-Ansätzen betrifft. Dabei ist mit der Doppelfunktion, die die *Top-level Ontologie* als fundamentales Weltmodell besitzt, jeder inferiore TLO-Ansatz auch doppelt ungeeignet, indem sich dieser weder für CM- noch für AI-Zwecke heranziehen lässt, während sowohl die konzeptuelle Modellierung als auch die Wissensrepräsentation die eigentlichen Grundlagen von PLM-, BPM- und anderen IoX-bezogenen Systemen bilden. Umgekehrt sollte nicht übersehen werden, dass *komplexe IoX-Systeme* neben ihrem SEA/SOA-Fundament nicht nur auf operative IoT-Plattformen, sondern im PSS-Zeichen wie auf PPR-Basis gerade auf den Einbezug von PLM- und BPM-Systemen angewiesen sind. Indem dies im *Industrial Internet of Things* (IIoT) genauso außer Frage steht wie bei anderen komplexen IoX-Szenarien, muss die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ihren Anforderungen auch prinzipiell entsprechen.

1.5.3 Ubiquitäre PLM-Systeme als prozessuale Wissenssysteme

»Unless users understand the full meaning of data they can't make the best use of it. [...] The company's existing data is valuable, but to unlock its value, users have to know its meaning. Unless the full meaning of data is available, it can't be fully used in the future. If data has to be re-created or renovated manually, errors will be introduced and time will be wasted.«

— John Stark (2011: 125)

Neben dem Prozessaspekt ist für U-PLM-Systeme in gleicher Weise der Wissensaspekt konstitutiv; dies wird zum einen mit dem strategischen Anspruch solcher Systeme deutlich, wenn gerade dieser Faktor in sämtlichen PLC-Phasen wettbewerbsentscheidend ist.⁶⁵³ Diese elementare Rolle des Wissens stellen auch Saaksvuori/Immonen (2008: 117) heraus, wenn sie konstatieren: »A better knowledge of delivered products is necessary in order to solve the problems of product traceability, to offer comprehensive value added services to customers, and to manage the quality of the products and the processes and risks involved with both«. Damit verbunden wird die konstitutive Rolle des Wissensfaktors für U-PLM-Systeme besonders gut ersichtlich, wenn die Frage nach ihren eigentlich zentralen Prozessen gestellt wird: An erster Stelle handelt es sich dabei um Innovationsprozesse, die selbst-

⁶⁵³ Vgl. auch Feldhusen/Gebhardt (2008: 3), die allerdings lediglich auf die *Produktentwicklung* abstellen.

redent *wissensintensiv* sind; diese Prozesse stehen auch im unmittelbaren Fokus aller PLM-Lösungsanbieter.⁶⁵⁴ Hierunter fallen etwa die Neuproduktentwicklung (NPD),⁶⁵⁵ das Konfigurations- wie das Variantenmanagement (Produktmodularisierung),⁶⁵⁶ aber auch etwa das Änderungsmanagement (ECM),⁶⁵⁷ wozu wiederum Aspekte wie die Rückverfolgbarkeit (Traceability) elementar sind.⁶⁵⁸ PLM-Systeme zielen dabei nicht zuletzt auf die Pflege komplexer Produktstrukturen sowie auf eine Produktentwicklung, die der kontinuierlichen Verbesserung verpflichtet ist.⁶⁵⁹ Daneben gehören dazu alle Prozesse der Produktrealisation und schließlich die strategische wie operative Steuerung des gesamten Produktlebenszyklus, die sich auf sämtliche Wertschöpfungsprozesse bezieht. Damit geht es auch um das auf das Prozessmanagement selbst bezogene Wissen, etwa mit Blick auf entsprechende BPM-Reifegradmodelle wie OMG-BPMM,⁶⁶⁰ CMMI, ISO/IEC 15504 (SPICE) oder FAA-iCMM bzw. insgesamt auf die BPM-Governance.⁶⁶¹ Mit Blick auf die enge BPM-PLM-Verzahnung gehen dabei die *PLM Maturity* und die *BPM Maturity* Hand in Hand.^{662, 663} Das gilt gerade auch im Hinblick auf die Wiederverwendung von Prozessen, wie sie mit der Transformation von BPM-Prozessen in PLM-Workflows naheliegt,⁶⁶⁴ womit insgesamt gilt: »PLM has to emphasize the generic process modelling in a reusable and scalable manner«. ⁶⁶⁵ Indessen besteht hier ein außerordentlicher Koordinationsbedarf, indem die meisten PLM-Lösungen nach wie vor darauf angelegt sind, die PLM-Workflows in der PLM-Software selbst, d.h. parallel zu den BPM-Prozessmodellen zu definieren.⁶⁶⁶

Zu Innovationsprozessen gehört bekanntlich auch alles marktrelevante Wissen, etwa bezüglich marktlicher Diffusionsprozesse. Im hier verfolgten Closed-loop PLM zählt dabei auch das Wissen etwa bzgl. Qualitäts- resp. Leistungsmängeln bzw. allgemein bzgl. der Kundenerfahrung (CXM). Am Beispiel der Medizintechnik illustriert, sind für PLM-Systeme in dieser Sache umfassende Prozesse zum Produktbeschwerdemanagement sowie der Qualitätssicherung wesentlich (CAPA, NCR), die auch auf die zahlreichen regulatorischen Vorgaben (für medizintechnische Produkte z.B. EMA/CAT-NB resp. USFDA QSR) und

⁶⁵⁴ Vgl. etwa IBM (2002b), Siemens (2010a) oder SAP (2011).

⁶⁵⁵ Vgl. hierzu speziell H.H. Chen et al. (2008), Cantamessa et al. (2012) sowie Merminod/Rowe (2012).

⁶⁵⁶ Vgl. etwa ElMaraghy et al. (2013) sowie Bruun et al. (2015).

⁶⁵⁷ Vgl. etwa Pulkkinen/Riitahuhta (2010), Wasmer et al. (2011), Yildirim/Campean (2013), Leino et al. (2016) sowie Pulkkinen et al. (2016).

⁶⁵⁸ Vgl. hierzu Ouertani et al. (2011).

⁶⁵⁹ Vgl. etwa SAP (2011).

⁶⁶⁰ Vgl. hierzu OMG (2008).

⁶⁶¹ Vgl. hierzu etwa Van Looy (2014).

⁶⁶² Vgl. etwa Pulkkinen et al. (2013), Walton et al. (2013) sowie Hachicha et al. (2016).

⁶⁶³ Analoges gilt für Architekturasspekte, also für das *Architecture Alignment* sowie die *Architecture Maturity*, vgl. Van der Raadt et al. (2005). Mit dem BPM-PLM-Konnex spielen damit im IoX-Kontext insbesondere SOA-bezogene Reifegradmodelle eine wichtige Rolle, vgl. dazu Söderström/Meier (2007).

⁶⁶⁴ Das wird dann umfassend möglich, wenn die letzte Prozessebene mit der konzeptionellen Workflowebene identisch ist. In einer solchen auf Ausführbarkeit angelegten durchgängigen Prozesskonzeption lassen sich die etwa durch Pichler/Eder (2011) herausgestellten Unterschiede zwischen Prozessmodellen und Workflowmodellen überwinden. Die Ausführungssemantik, die mit BPMN2 implementiert wurde, vgl. hierzu Börger/Sörensen (2011), ermöglicht native BPMN2 Workflow Engines.

⁶⁶⁵ Vgl. Ma/Fuh (2008: 107).

⁶⁶⁶ Vgl. exemplarisch Siemens (2008).

Standardregelwerke (ISO, GAMP) abzustellen haben.⁶⁶⁷ Diese gehen mit den ebenfalls wissensintensiven Prozessen des Risikomanagements einher (für medizintechnische Produkte z.B. ISO 14971), wobei die Anforderungen solcher Normen selbstverständlich über alle Phasen des Produktlebenszyklus gelten. Dabei basieren diese Normen explizit auf einem prozessorientierten Ansatz zur Umsetzung eines adäquaten Risikomanagements. Für komplexe Produkte wie medizintechnische Geräte ist das Lebenszykluskonzept mit Blick auf kritische Prozesse somit auch in regulatorischer Hinsicht im Grunde unverzichtbar. Erfolgreiche Medizintechnikproduzenten suchen darüber hinaus der gegenwärtig favorisierten Total Product Lifecycle (TPLC) Methodologie der FDA zu entsprechen,⁶⁶⁸ die parallel dazu durch verschiedene PLM-Lösungsanbieter unterstützt wird.⁶⁶⁹ Auch anhand solcher hier exemplarisch bemühten spezielleren Aspekte zeigt sich, dass PLM-Systeme kombinierte Prozess- und Wissenssysteme bilden. So lässt sich bspw. die Einhaltung regulatorischer Vorschriften in allen Prozessen durch intelligente PLM-Systeme automatisch überwachen. Auch im Hinblick auf die MOL- und EOL-Phase ist die Wissensbasis Garant von Wettbewerbsvorteilen. Eine intelligente Wissensrepräsentation und daraus automatisch generiertes neues Wissen sind etwa mit Blick auf den Kundendienst, für Wartung und Optimierung, bis schließlich zur Frage der Entsorgbarkeit und Wiederverwendung einzelner Produktkomponenten von hoher Relevanz. In diesem Sinne sind sämtliche PLC-Phasen als wissensintensiv zu erachten. Dabei ist der Wissensaspekt auf das gesamte PPR-Framework zu beziehen, also nicht allein auf die Produktdimension, und es ist mit Blick auf die AI-Technologien klar, dass es um *explizites*, nicht um implizites Wissen geht.

Nicht zuletzt bildet der Wissensaspekt neben dem Prozessaspekt auch aus dem Grunde den Kern von PLM-Systemen, weil diese gerade auf die kollaborative Wissensgenerierung sowie auf den bewussten Ausbau der Wissensbasis abzielen. Bereits heute existieren in der produzierenden Industrie solche wissensintensiven Prozesse in den vielfältigsten PLC-Phasen; bspw. kommt es im Rahmen des *Knowledge Based Engineering* (KBE) zu einer zunehmenden Integration von Wissenskomponenten in den Engineering-Prozess,⁶⁷⁰ wozu auch die Wissenswiederverwendung gehört. Auch dieses KBE ist in kollaborativer Arbeitsteilung interdisziplinär orientiert, womit wiederum die *Top-level Ontologie* für eine transdisziplinäre Perspektive von grundlegender Relevanz ist. Eine globale Wissensgenerierung und Wissensteilung ist in strategischer Betrachtung mit dem elementaren Ziel der Schaffung geistigen Eigentums (IP) verbunden, das im strategischen Fokus des PLM-Konzepts steht. Bereits CIMdata (2002) sieht das gesamte PLM-Konzept vor allem deshalb als strategischen Ansatz, indem dieser der Hebung geistiger Aktiva verpflichtet ist:

⁶⁶⁷ Vgl. hierzu etwa Siemens (2007) sowie Dassault Systèmes (2009).

⁶⁶⁸ Die FDA weist die Medizintechnikproduzenten bereits im Jahr 1997 auf die Mängel der vor TPLC propagierten Wasserfallmethode im Zuge der Entwicklung komplexer Produkte hin, vgl. FDA (1997); vgl. zur Gegenüberstellung von TPLC und traditionellen Ansätzen PTC (2008a) sowie Cambashi (2010).

⁶⁶⁹ Vgl. etwa PTC (2008a) oder Dassault Systèmes (2012c).

⁶⁷⁰ Vgl. hierzu Chapman/Pinfold (1999), Franke et al. (2011) sowie Martínez-Pellitero et al. (2011).

1. Zur Funktion der Top-level Ontologie (TLO) im Internet of Everything (IoX)

»To differentiate themselves, enterprises must capture, manage, and leverage their intellectual assets. This can best be accomplished through proper application of a Product Lifecycle Management (PLM) approach that addresses the needs of the extended enterprise. PLM is a strategic business approach that helps enterprises achieve its business goals of reducing costs, improving quality, and shortening time to market, while innovating its products, services, and business operations.«⁶⁷¹

Entsprechend gilt: »For a business to be successful in today's and tomorrow's global markets, PLM is not an option—it is a competitive necessity«.⁶⁷² Vor diesem Hintergrund setzt CIMdata (2002) das Akronym "PLM" mit der Schaffung, dem Management und der Nutzung von produktbezogenem geistigem Kapital über den Produktlebenszyklus gleich, was allerdings das *U-PLM* mit Pkt. 1.5.4 unzulässig verkürzt:

»PLM has emerged as the term used to describe a business approach for the creation, management, and use of product-associated intellectual capital and information throughout the lifecycle. [...] Product definition is an intellectual property of a business; an intellectual asset that must be created, captured, maintained, and leveraged. [...] Product businesses have at their core the intellectual assets describing their products.«⁶⁷³

Diese Perspektive gilt sowohl konzeptionell mit Blick auf die Innovationsprozesse (NPD) als auch in technischer Hinsicht, wenn PLM-Lösungsanbieter nachdrücklich auf entsprechende IP-Funktionalitäten zum Schutz vor unbefugtem Zugriff und Operationen abstellen.⁶⁷⁴ PLM-Systeme stellen nicht nur die zentrale Integrationsplattform für Daten, Informationen und Wissen, für Applikationen, Systeme und Prozesse, sondern sie bilden daneben auch organisationsübergreifend die zentrale Kollaborationsplattform zur engen, koordinierten Zusammenarbeit im Grunde aller Akteure. Danesi et al. (2008: 304) führen in dieser Hinsicht richtig aus: »The catchword of PLM is collaborative work within product design processes in order to integrate all the partners and all associated knowledge efficiently. Design needs then to be defined as a collaborative process and can be optimized by allowing upstream integration of data, resources and knowledge«. Indessen bilden solche Sachverhalte gewiss überaus relevante PLM-Aspekte, doch auch solche Positionen werden dem U-PLM mit Pkt. 1.5.4 in keiner Weise gerecht. Vielmehr erstrecken sich Closed-loop U-PLM-Systeme über die BOL-Phase hinaus gerade auch auf die MOL- und EOL-Phase, während erste weitaus mehr Aspekte bietet als lediglich das Produktdesign. Vielmehr geht es hier um die Entwicklung und Realisation umfassender Produkt-Service-Systeme (PSS), die bereits in der PSS-Spezifikation auf das U-PLM abzustellen haben. PLM-Workflows stehen dabei in zwei völlig unterschiedlichen Kollaborationskontexten: in einem innovativen, der nach entsprechend ontologiegestützten Projektmanagementsystemen verlangt,⁶⁷⁵ sowie in einem repetitiven, der ODIS-basierte technische Steuerungssysteme einfordert.⁶⁷⁶

Vor dem Hintergrund, dass PLM-Systeme nicht nur integrierte, sondern auch kollaborative Prozess- und Wissenssysteme darstellen, wird die zentrale Funktion, die Ontologien in diesen Systemen spielen, nachvollziehbar. Dabei ist zunächst der Kontext solcher kollabo-

⁶⁷¹ CIMdata (2002: 1).

⁶⁷² Vgl. CIMdata (2002: 1).

⁶⁷³ CIMdata (2002: 3, 4, 7).

⁶⁷⁴ Vgl. etwa Siemens (2009a) sowie Dassault Systèmes (2012b); vgl. hierzu auch CIMdata (2002).

⁶⁷⁵ Vgl. hierzu etwa Sharon/Perelman/Dori (2008).

⁶⁷⁶ Vgl. hierzu etwa Maropoulos et al. (2004: 10 f.).

rativen Prozesse genauer zu betrachten: Nicht nur die Neuproduktentwicklung (NPD) spielt sich heute in aller Regel in einem globalen Kontext ab, bei der ein Wissensaustausch resp. eine Wissensteilung regelmäßig auf organisationale, geographische, kulturelle oder sprachliche Barrieren trifft.⁶⁷⁷ Tatsächlich gilt dies im Grunde für sämtliche PLM-Prozesse, also auch für solche der MOL- und EOL-Phasen. Für wissensbasierte Systeme (KBS) wie für intelligente Wissenssysteme (KS) mit M2M-Interaktionen sind damit ganz besondere Anforderungen an die Wissensrepräsentation zu stellen. Denn neben den oben genannten Barrieren gibt es auch fachliche, da bei komplexen resp. intelligenten Produkten eine Vielzahl unterschiedlicher Disziplinen und damit verbundenen Paradigmen beteiligt ist. Diese zeichnen sich gerade in industrieübergreifenden, interdisziplinären Kontexten oftmals durch differierende Weltansichten, abweichende Sprachkonstrukte oder aber zumindest durch eine an sich divergente Semantik aus.

Erst durch Ontologien, allen voran durch *Top-level Ontologien*, erhalten U-PLM-Systeme explizite Weltmodelle, die eine konzeptuelle Ebene zur realitätsbezogenen Modellierung und eine damit verbundene semantische Ebene zur Beschreibung der Daten eröffnen. Sie bilden die Grundlage für die Kommunikation zwischen Maschine und Mensch (M2H), für die semantische Interoperabilität maschineller Systeme (M2M), für ihre Fähigkeit zum automatischen Schließen bzw. zur Inferenz, und schließlich insgesamt für die Wissensrepräsentation und Wissenswiederverwendung.⁶⁷⁸ Mit dem industrieübergreifenden und interdisziplinären Fokus solcher Systeme bilden Top-level Ontologien dabei die fundamentale Referenzbasis, deren Erfordernis bei U-PLM-Ontologien als Heavyweight-Ontologien im Kontext kritischer Prozesse außer Frage steht. Eine wissensbasierte Kollaboration in PLM-Prozessen, ob nun zwischen Menschen, Maschinen, oder zwischen Mensch und Maschine kann nur dann in jedem Belang und auch bei kritischen Prozessen erfolgreich sein, wenn den damit verbundenen Kommunikations- und Interaktionsprozessen eine verbindliche, einheitliche Weltansicht zugrundeliegt. Diese Weltansicht muss sich bei PLM-Systemen durch zwei entscheidende Merkmale auszeichnen: sie muss zum einen zwingend realitätsbezogen sein, weil PLM-Systeme in jeder Hinsicht an die Restriktionen der Realität gebunden sind und im Kontext des PPR-Frameworks entsprechend realitätsgerecht zu steuern sind. Zum anderen sollte sie wissenschaftsbezogen sein, indem die Axiome einer Heavyweight-Ontologie selbstverständlich nicht im Widerspruch zu gesichertem wissenschaftlichen Wissen stehen können. Mehr noch: Mit Blick auf die Einsatzgebiete von PLM-Systemen sollte ihre ontologische Basis permanent mit dem wissenschaftlichen Fortschritt im Einklang stehen. Damit sind ggf. auch die Ontologien unter Gesichtspunkten neuer wissenschaftlicher Erkenntnis zu revidieren. Obschon sie keine erfahrungswissenschaftlichen Tatbestände verkörpert, kann dies bei bahnbrechenden Erkenntnisfortschritten im Sinne von Whiteheads (1933: 164) Diktum des »interplay between science and meta-

⁶⁷⁷ Vgl. auch Merminod/Rowe (2012: 296).

⁶⁷⁸ Vgl. ähnlich Grüninger/Lee (2002); hier um den Aspekt der *konzeptuellen Modellierung* erweitert.

physics« im Ausnahmefall selbst die durch die philosophische Ontologie fundierte *Top-level Ontologie* mitsamt ihrer Axiome und Regeln betreffen. Diese prinzipiell zu berücksichtigende Wissenschaftsbezogenheit von Ontologien bei gleichzeitiger Interdisziplinarität wird in einigen PLM-Kontexten, etwa in der chemischen Prozessindustrie, der Pharmazeutischen Industrie oder der Medizintechnik mit ihren komplexen medizinischen Ontologien besser als in anderen Kontexten deutlich. Prinzipiell gilt sie aber für sämtliche Wissensbereiche, und ist damit für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* vorauszusetzen. Bei der Herstellung einer solch verbindlichen, inter-, multi- oder im besten Fall transdisziplinären Weltansicht, die zugleich auch zentrale Relevanz für Fragen der Datenintegration entfalten sollte, rückt die *Top-level Ontologie* als oberste Referenzebene in den Mittelpunkt.

Die konstitutive Bedeutung des Wissensaspekts für PLM-Systeme ist lange Zeit wenig thematisiert worden;⁶⁷⁹ tatsächlich wird er in vielen, auch jüngeren PLM-Monographien nicht mit einem einzigen Wort erwähnt.⁶⁸⁰ Das gilt insbesondere für Autoren, die ursprünglich aus dem PDM-Bereich kommen und deren Schwerpunkt eher in den technischen Belangen der Produktentwicklung liegt. Doch selbst für Autoren, für die die zentrale Rolle dieses Aspekts evident ist, verzichten i.d.R. auf eine sachgerechte technologische Erörterung von Wissenssystemen. Wenn dies unterbleibt, was oftmals auch im Einklang mit einer fehlenden Thematisierung des Prozessgesichtspunkts geschieht, relativiert sich gewiss auch die Bedeutung, die der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* entgegengebracht wird. Tatsächlich werden Ontologien in allen gängigen PLM-Monographien heute nicht einmal im Ansatz diskutiert.⁶⁸¹ Bezeichnend für den Stand der Dinge ist etwa das Werk Arnolds et al. (2011: 281), das Ontologien immerhin am Ende unter der Rubrik "Trends und Ausblick" kurz erwähnt mit dem Hinweis, dass der Wissensaspekt »zukünftig das klassische PLM ergänzen [muss]«. Die Frage, was unter klassischem PLM zu verstehen ist, kann allein auf die Antwort hinauslaufen, dass es sich dabei um integrierte Prozess- und Wissenssysteme handelt. Denn tatsächlich ist es mit Ameri/Dutta (2005) vor allem dieser Aspekt, der PLM-Systeme erst von EDM- und PDM-Systemen differenziert. In der Praxis stellt sich das Bild ähnlich dar; so sind im *Code of PLM Openness* zwar Interoperabilitäts-, Interface- oder Architektur Aspekte von PLM-Systemen zentral,⁶⁸² jedoch spielen weder die Semantik noch die Ontologie als solche dabei eine Rolle. Die eigentlich entscheidende Frage der Realisierung vollumfänglicher semantischer Interoperabilität lässt sich nicht im Ansatz adressieren, wenn der Interoperabilitätsaspekt schon an sich unverstanden ist.

Offenbar herrscht noch weitgehende Unklarheit bezüglich eines allgemein akzeptierten PLM-Konzepts. Während der Wissensaspekt gegenwärtig noch als erweiterte PLM-Methode behandelt wird, besteht in ihm im Wechselspiel von Daten, Information und Wissen eigentlich der Kern der PLM-Philosophie. Das gilt, sofern sie sachgerecht verstanden ist,

⁶⁷⁹ Vgl. Abramovici/Schulte (2006).

⁶⁸⁰ Vgl. etwa Saaksvuori/Immonen (2008) oder Eigner/Stelzer (2009).

⁶⁸¹ Vgl. etwa Scheer et al. (2006), Stark (2007, 2011) oder Feldhusen/Gebhardt (2008).

⁶⁸² Vgl. ProSTEP iViP (2014).

und das ist dann der Fall, wenn es sich um ein IoX- bzw. AI-basiertes *Closed-loop U-PLM* handelt, das auf Grundlage Cyber-physischer Systeme (CPS) in den Event Streams der Cyber-Physik steht. Dabei macht die strategische Relevanz von U-PLM-Systemen unmittelbar auf ontologischer Basis an diesem Aspekt fest. Allerdings schreitet mit Pkt. 1.5.4 die Weiterentwicklung des PLM-Konzepts rapide voran, wenn ungeachtet der gegenwärtig auseinanderklaffenden PLM-Positionen der Blick auf die jüngere PLM-Forschung oder den progressiven Teil der PLM-Praxis gerichtet wird: Denn die PLM-Forschung dreht sich gegenwärtig gerade ganz entscheidend und bald ausschließlich um den Wissensaspekt bzw. Ontologien.⁶⁸³ Dabei wird teils gar der gesamte PLM-Ansatz unter diesen Aspekt gestellt: »Product Lifecycle Management is an approach to manage knowledge that involves all phases of product development from concept to disposal.«⁶⁸⁴ Indessen kann das Closed-loop U-PLM weder allein auf das Moment der Produktentwicklung abstellen noch diese Position an sich richtig sein: Wissen ist lediglich notwendiges Mittel zum Zweck, womit das sachgerechte PLM-Verständnis nochmals abschließend im folgenden Pkt. 1.5.4 zu konstatieren ist. Auch die PLM-Lösungsanbieter nehmen den Wissensaspekt in den Fokus; sie sind dazu übergegangen ihre technischen Lösungen elementar als Wissenssysteme zu offerieren.⁶⁸⁵ Mit dieser Praxis offenbart sich die Entwicklungstrajektorie der PLM-Konzepte und –Systeme: unter AI-Aspekten impliziert Wissen immer *Ontologie*, während PLM-Systeme als komplexe Systeme im *IoX-Hyperspace* stehen. Entsprechend muss die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zum Kern der ganzen PLM-Debatte avancieren, wobei die Referenz auf die *Top-level Ontologie* wie die erforderliche Agenten- bzw. Ontologiearchitektur gewissermaßen ihren natürlichen Ausgangspunkt markiert.

⁶⁸³ Vgl. Szykman et al. (2000), CIMdata (2002), Owen/Horváth (2002), Kiritsis et al. (2003), Maropoulos (2003), Maropoulos et al. (2003), Ameri/Dutta (2005), Barcikowski et al. (2005), L. Patil et al. (2005), Briggs (2006), Ducellier et al. (2006), Zha/Sriram (2006), Kopácsi et al. (2007), Young et al. (2007a, 2007b), P. Zhan (2007), Amodio et al. (2008), Baxter et al. (2008, 2009), S. Brandt et al. (2008), H.H. Chen et al. (2008), W. Chen/Stuckenschmidt (2008), Chungoora/Young (2008a), Danesi et al. (2008), Kwak/Yong (2008), J.M. Ritchie et al. (2008), Y-J. Chen et al. (2009), Cugini et al. (2009), Bernard/Xu (2010), Fathallah et al. (2010), Kríma et al. (2010, 2014), Matsokis (2010), Matsokis/Kiritsis (2010a, 2010c, 2011), Rosenberger/Denger (2010), Toussaint et al. (2010), Trotta (2010), Usman et al. (2010, 2011), Dong et al. (2011), Franke et al. (2011), Gerritsen et al. (2011), Kiritsis (2011), Mermínod/Rowe (2011, 2012), Ouertani et al. (2011), Raza/Kirkham et al. (2011), Raza/Harrison (2011a, 2011b), Rezgui et al. (2011), Teng et al. (2011), Vezzetti et al. (2011), Wasmer et al. (2011), Assouroko et al. (2012, 2014), Belkadi et al. (2012), Cantamessa et al. (2012), Demoly et al. (2012), Folkard et al. (2012), Jimenez-Narvaez et al. (2012), Jun/Kiritsis (2012), Milicic et al. (2012, 2013), Rivest et al. (2012), Røstad et al. (2012), Tayaran/Schiffauerova (2012), Bruno/Villa (2013), Fortineau et al. (2013a, 2013b, 2014), Felic et al. (2014), Gerhard (2013), C. Palmer et al. (2014), Stark/Pförtner (2015) sowie C.C. Pham et al. (2016). Hinzu kommen zahlreiche Beiträge zu Wissensaspekten relevanter PLM-Teilbereiche, wie etwa der *Produktkonfiguration*, vgl. hierzu Yang et al. (2009), *PDP-Analysemodellen*, vgl. hierzu Mocko et al. (2004), der *Konstruktion*, vgl. hierzu Li (2012), des *Knowledge Based Engineering (KBE)*, vgl. Chapman/Pinfold (1999), oder der *Prozessplanung (CAPP)*, vgl. etwa Denkena et al. (2007).

⁶⁸⁴ Vgl. Trotta (2010: 310).

⁶⁸⁵ Vgl. exemplarisch Siemens (2009a, 2009b).

1.5.4 Konventionelle PLM-Systeme vs. Closed-loop U-PLM-Systeme

»However, as stated by many academics and practitioners, the technological potential of the PLM paradigm has not been fully utilized yet [...] and the PLM approach is not mature enough to satisfy the demand of the upcoming years [...].«

— Marco Bertoni et al. (2009: 476)

PLM-Systeme verkörpern insofern die wichtigste Applikation des produzierenden Sektors, als sich auf ihrer Basis alle *Produkt-Service-Systeme* (PSS) entlang ihres gesamten Lebenszyklus in ganzheitlicher strategischer, taktischer wie operativer Hinsicht steuern lassen. Sie bilden somit zugleich die *PSS-bezogene Integrationsplattform* des *Smart Enterprise* bzw. der *Smart Factory*, indem nicht nur alle PPR-bezogenen Daten in ihnen zusammenlaufen, sondern sie erst jenes Variantenmanagement ermöglichen, das für Losgröße-1-Szenarien, d.h. eine Variante pro Kunde, unabdingbar ist. Dieses Szenario ist dabei insofern wegweisend, als es auf Basis von 4DP-Technologien gängig werden wird, indem Produkte auf ihrer Grundlage kundenindividuell programmierbar werden. Das PLM-Konzept war und ist immer *BOL-zu-EOL* am PLC ausgerichtet, während der umfassende Einbezug der Nutzungsphase (MOL) gleichermaßen von Anfang an charakteristisch ist.⁶⁸⁶ Dabei stehen die modernen Varianten dieser Systeme mit jeder einzelnen der in Abb. 1 aufgezeigten Phasen auf ED-SOA-Basis vollumfänglich im IoX-Hyperspace. Das betrifft vor allem die Produktionsphase, die als *Smart Factory* auf CPPS-Basis realisiert ist, sowie die MOL-Phasen, die das PEID-basierte Wechselspiel zwischen lokaler bzw. regionaler AI-Intelligenz des Produkt-Service-Systems und globaler AI-Intelligenz der Infrastruktur eröffnen. Im Sinne solcher Rückkopplungen wird der Gedanke der *Closed-loop U-PLM-Systeme* eröffnet.⁶⁸⁷ Sie gründen dabei auf dem *Ubiquitous Computing*, wobei sich die PEID-Potentiale in den unterschiedlichsten Hinsichten, etwa in Bezug auf GIS-bezogene Serviceprozesse, Billingprozesse, Wartungsprozesse bis hin zum ontologiegestützten *Asset Configuration Management* (ACM) oder der Produkt-/Serviceoptimierung nutzen lassen. AI-Ontologien spielen dabei nicht nur in diesen MOL-Phasen, sondern über alle Phasen hinweg eine elementare Rolle. Sie verlangen eine ontologische Integration über den ganzen Lebenszyklus wie im Hinblick auf die (synthetische) Realität ihrer Cyber-physischen Systeme (CPS).

Indem PLM-Systeme bzw. ihre PDM-Vorläufer weder wesentlich auf AI- noch IoX-Basis aufsetzen, wird deutlich, dass sich ihre Akzente wie Rolle im Laufe der Zeit elementar verändert haben.⁶⁸⁸ Im PSS-Sinne sind sie in den Mittelpunkt der gesamten Systemlandschaft gerückt, und prägen diese mit ihrem Lebenszyklusgedanken. Dieser, nicht mehr die reine Transaktionsperspektive der ERP-Systeme, arriert in Bezug auf die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) zunehmend zum systembildenden Moment. Denn das PPR-Schema wird mit Pkt. 2.5 nicht mehr primär im Sinne der Massenproduktion am ERP-Ressourcenaspekt festgemacht, sondern genau umgekehrt primär an der kundenvariantenbezo-

⁶⁸⁶ Vgl. etwa CIMdata (2002).

⁶⁸⁷ Vgl. etwa Kiritsis (2011).

⁶⁸⁸ Vgl. dazu etwa Terzi et al. (2010).

genen PSS-Produktdimension. Als Referenzszenario sind diese Systeme dabei nicht nur in diesen funktionalen Hinsichten von Relevanz, indem es um die unterschiedlichsten integrativ zu denkenden Anwendungsszenarien geht. Vielmehr stehen diese Funktionalitäten auch im Kontext der jeweiligen branchenspezifischen Anforderungen, und diese besitzen neben speziellen Praxisbelangen gerade im Hinblick auf Ontologie und Semantik regelmäßig einen direkten wissenschaftlichen bzw. technologischen Bezugspunkt: In PLM-relevanten Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der chemischen Prozessindustrie, der Biotechnologie oder der Medizintechnik sind die Grenzen zwischen Wissenschaft und Technologie einerseits und praktischem Vollzug andererseits in Bezug auf die Definition relevanter Welten bzw. in ontologischer und semantischer Hinsicht fließend. Widersprüche zwischen den Ontologietypen sind entsprechend zu vermeiden, womit eine integrative Perspektive im Sinne von Referenzontologien wesentlich wird. Dabei legt die enorme Breite PLM-relevanter Industrien eine transdisziplinäre Perspektive nahe, indem etwa in der Medizintechnik gleichzeitig physikalische, chemische und biologische Sachverhalte zu berücksichtigen sind, und es kaum sinnvoll erscheinen kann, dass es ontologische Widersprüche zu anderen PLM-Industrien wie etwa der chemischen Prozessindustrie gibt. Konkret sollten die Entitäten in der einen Industrie nicht etwa primär endurantistisch, in der anderen perdurantistisch sein, wie es auf Grundlage konkurrierender Top-level Ontologien, bspw. bei BFO vs. BORO faktisch mit genau dieser Industrierelevanz der Fall ist.

Wenn sich die PLM-Ontologieproblematik nicht nur über alle Phasen des Lebenszyklus, sondern auch quer durch die unterschiedlichsten Industrien bzw. den damit insbesondere im Hinblick auf Ontologie bzw. Semantik oftmals eng verbundenen Wissenschaften und Technologien erstreckt, wird das Erfordernis einer *Einheits-TLO* nochmals unterstrichen. Denn anders lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem weder bei der wichtigsten Applikation des produzierenden Sektors, noch in jedem anderen Fall überwinden. Dabei bildet das Inkommensurabilitätsproblem als metaphysisches Problem mit Semantikrelevanz den eigentlichen Kern des *Frame Problem*, wenn es um die Adaption in Multiagentensystemen geht. Denn zum einen induziert seine Existenz eine fehlende CPS-adäquate Top-level Ontologie und ihr Wechselspiel mit den relevanten Referenzontologien, zum anderen handelt es sich im Kuhnschen Sinne um eine paradigmatische Inkommensurabilität. D.h., dass semantische Widersprüche in MAS-Szenarien gegeben sind, die fundamental bedingt sind. Indem es sich beim PLM-Szenario in jeder Hinsicht um ein integratives Szenario handelt, ist das Inkommensurabilitätsproblem inakzeptabel. Es ist also zwingend aufzulösen, um die semantische Interoperabilität in einer komplett integrierten digitalen Wertschöpfungskette unternehmens- bzw. industrieübergreifend gewährleisten zu können.

Insofern handelt es sich um jenes Referenzszenario, anhand dessen sich der IoX-Hyperspace in seiner ganzen Breite und Tiefe exemplarisch in geeigneter Weise erschließen lässt. Denn in PPR-Hinsicht wird dann entscheidend, was in den einzelnen Industrien in Bezug auf Produkte, Prozesse und Ressourcen anhand welcher physischen bzw. virtuellen

Sensoren gemessen werden soll bzw. kann, um die jeweiligen Lebenszyklen in praxi zu steuern. Ontologien sind im Zuge der Auswertung von Sensordaten dabei sowohl in Bezug auf die jeweilige Realität als auch in Bezug auf die Wissensrepräsentation von Relevanz; entsprechend sind sie im IMKO-Sinne gleichzeitig als *metaphysica generalis* wie als AI-Ontologie zu behandeln. Dabei übernimmt die *Top-level Ontologie* die Kopplungsfunktion. Diese ist im Sinne von CM-Ontologien auch in Bezug auf die konzeptuelle Modellierung von Relevanz. Wissenschaftliche, technologische wie praktische Ontologien müssen dabei einheitlich auf die gleiche Top-level Ontologie referenzieren können. Nur dann lassen sie sich in transdisziplinärer Weise problemlos verkoppeln bzw. ihre Konsistenz sichern.

Mit ihrer Schlüsselstellung und ihrer Integrationsfunktion, die sie gegenüber anderen Applikationen besitzt, mit ihrer direkten TLO-Relevanz, ihrer unmittelbaren Nähe zur *Smart Enterprise Architecture* (SEA) wie in ihrer ED-SOA-Basis, mit ihrer Steuerung des PPR-Frameworks und ihrer zwingenden Verkopplung mit der *Enterprise Ontology* (EO) beschränkt sich ihre Referenzfunktion natürlich nicht auf die Ontologiedebatte bzw. auf die Evaluierung und Selektion konkurrierender TLO-Theorieanwärter. Vielmehr haben PLM-Systeme nicht zuletzt im Hinblick auf die Systemintegration sowie in ihrer unmittelbaren IoX-Einbettung eine ganz besondere Relevanz für die Informatik als solche. Sie sind in vielerlei Hinsicht, etwa in Bezug auf die konzeptuelle Modellierung, die Datenmodellierung oder etwa in Bezug auf die *Big Data Analytics* (BDA) prototypisch für die ganze Disziplin. Durchgängige digitale Wertschöpfungsketten sind ohne diese Systeme nicht zu realisieren, und in der Tat sind sie in allen produzierenden Industrien primär. Wenn sich alles andere nach ihnen richten muss, implizieren avantgardistische PLM-Systeme das Erfordernis zur Umstellung in vielen Bereichen: Bspw. folgt aus der 4DP-Technologie unmittelbar das Erfordernis zum Vorhalten von 4D-Datenmodellen oder die Einbindung in die *Event Streams* des IoX-Hyperspace; oder neben der ED-SOA-Basis etwa den Einsatz von CEP-Engines, was wiederum das ganze Prozessmanagement betrifft. In dieser Hinsicht ist somit die Frage wesentlich, inwiefern sich *konventionelle* PLM-Systeme (C-PLM) wesentlich von den modernen *ubiquitären* PLM-Systemen (U-PLM) und ihrer Realisation im IoX-Hyperspace unterscheiden bzw. relevante Defizite identifizierbar sind. Dabei lassen sich die Unterschiede an den folgenden elf Aspekten festmachen:

- (i) *IoX-Hyperspace*: Im Gegensatz zum U-PLM setzt C-PLM weder auf *Ubiquitous Computing* noch entsprechend konsequent an den IoX-Potentialen an. Damit lassen sich alle unter *Requirement #5* (R5) in Pkt. 7.2 genannten Aspekte im C-PLM nicht realisieren: *U-Design*, *U-Factory*, *U-AWS*, *U-Monitoring* oder *U-Maintenance*, die wiederum sämtlich auf dem *U-CEP* aufbauen. Damit wird deutlich, dass das C-PLM-Konzept zwar im Sinne des *BOL-zu-EOL* konsequent am *PLC* orientiert ist, es aber allein im U-PLM im Sinne der oben genannten phasenbezogenen Konzepte um einen in sich geschlossenen *U-PLC* gehen kann.

- (ii) *PSS/Services*: C-PLM setzt zwar neben der eigentlichen Fixierung auf Produkte ergänzend auf Services, jedoch wird weder beides systematisch auf PSS-Grundlage entwickelt noch im IoX-Hyperspace auf RTE-Basis umgesetzt. PSS-bezogene Ansätze wie *Predictive Maintenance* bleiben somit von vornherein unmöglich. Insgesamt ist C-PLM auf physische Produkte fixiert, nicht auf *cyber-physische IoT-Produkte* resp. *IoS-Services*.
- (iii) *BPM/Workflows*: C-PLM definiert sämtliche Workflows für das PLM-System isoliert; sie werden also ohne Abstimmung zum BPM entwickelt bzw. gepflegt. Inkonsistenzen sind somit im Zeitablauf die Regel und zudem besteht Ineffizienz durch Doppelarbeit in Entwicklung und Wartung. Eine BPM-PLM-Integration auf Basis von *Business Process Engines* (BPE) ist also im C-PLM nicht gegeben. Entsprechend korrespondiert es auch nicht mit dem U-PLM-Gedanken *integrierter Prozess- und Wissenssysteme*, was bereits durch eine fehlende CM/AI-Kopplung bedingt ist.
- (iv) *PPR/PPRLT*: Das PPR-Framework ist in Tradition des CIM-Gedankens keinem PLM-System fremd; allerdings ist es im C-PLM noch im PDM-Sinne einseitig auf die Produktdimension fixiert; der Fokus liegt auf dem BOL-Moment der Produktentwicklung. Demgegenüber ist der Fertigungsaspekt nur in dem Maße abdeckbar, wie dieser jenseits der *Smart Factory* bzw. *Factory of Things* liegt. Die Potentiale des *Industrial Internet of Things* (IIoT) bzw. *Internet of Industrial Things* (IoIT) werden also nicht genutzt. Analog lässt sich die *U-Factory* nicht ohne *Ubiquitous Computing* realisieren. Daneben kann mit Pkt. 2.5.2 das PPRLT-Framework keine Rolle spielen, da auch dieses das *Ubiquitous Computing* voraussetzt.
- (v) *AI/Ontologien*: In praxi wird der Einsatz semantischer Technologien bzw. Ontologien zwar in der Produktentwicklung etwa in der Automobilindustrie mit Prototypen seit Jahren versuchsweise erprobt;⁶⁸⁹ auch konnten erste Projekte erfolgreich abgeschlossen werden.⁶⁹⁰ Daneben unterstreichen umsetzungsorientierte Studien die großen Möglichkeiten, die der Einsatz von Ontologien eröffnet.⁶⁹¹ Das Fraunhofer-EU-Projekt *amePLM* zielt auf eine Ontologie für interoperable, offene Engineering-Systeme.⁶⁹² Dennoch sind viele PLM-Systeme im Sinne des C-PLM noch nicht systematisch auf ein ontologiebasiertes PLM ausgelegt; extern erstellte Ontologien lassen sich in heutige PLM-Softwaresysteme oftmals nur aufwändig integrieren. Im C-PLM sind weder *Top-level Ontologien* noch Kernontologien implementiert, womit der Gedanke der *Heavyweight-Ontologie* kaum realisierbar ist. Beides wird aller-

⁶⁸⁹ Vgl. H. Stegmüller (2003) sowie Hess et al. (2009).

⁶⁹⁰ Vgl. Syldatke et al. (2007).

⁶⁹¹ Vgl. Hahn (2005, 2007).

⁶⁹² Vgl. European Union (2012).

dings in der PLM-Forschung gefordert. Demgegenüber kommen im C-PLM allenfalls *Lightweight-Ontologien* bzw. semantische Netze zum Einsatz. Metaphysische Kategorien spielen keine Rolle, da die Ontologie an sich nicht in ihrer CPSS-Adäquanz verstanden bzw. konzipiert wird. Entsprechend wird auch das Inkommensurabilitätsproblem an sich nicht erkannt, während es gerade für PLM-Systeme in sicherheitskritischen Industrien wie der Luft- und Raumfahrt oder der Medizintechnik von zentralem Belang ist. Analog dazu stellt die Ontologie auch nicht auf die Theorie komplexer Systeme ab, wengleich es auch das C-PLM regelmäßig mit komplexen Systemen zu tun hat. Eine TLO-EO-Verkopplung gibt es entsprechend genauso wenig wie eine als Enterprise Ontology konzipierte PLM-CO. Das Erfordernis einer integrierten Ontologiearchitektur wird nicht gesehen, auch wenn es beim PLM gerade im Zuge der Integration verschiedenster Phasen um die unterschiedlichsten Ontologiearten bzw. -typen geht. Eine IS/KS-Integration bleibt unrealisierbar. Beim C-PLM handelt es sich auch nicht um rigorose Wissenssysteme im Sinne Bibels (2007). Vielmehr weist C-PLM in seiner PDM-Tradition erhebliche Mängel im Hinblick auf die integrierte Produkt- und Prozessrepräsentation wie weitere Aspekte wissensbasierter Systeme auf.⁶⁹³

- (vi) *MAS/Agenten*: Dem C-PLM fehlt regelmäßig die eigentliche AI-Basis; in Ausnahmefällen gibt es einfachste agentenbasierte Ansätze. Allerdings setzt C-PLM nicht auf Multiagentensystemen auf, die MAS/CAS-Perspektive ist ihm entsprechend fremd. U-PLM ist hingegen mit seiner Einbettung in den IoX-Hyperspace gänzlich anders akzentuiert; es entwickelt den PEID-Aspekt im Zeichen der *Device-to-Device (D2D)-Interaktion* weiter, setzt auf *Fog Computing* und *Schwarmintelligenz*.
- (vii) *PEID*: In der MOL-Phase werden durch das C-PLM keine PEID-Devices auf IoX-Basis eingesetzt, da dies wiederum *Ubiquitous Computing* voraussetzt.
- (viii) *BDA/Digital Analytics*: C-PLM nutzt ggf. das *Data Warehouse*; demgegenüber setzen moderne SDA- bzw. BDA-Technologien wie die *Real-Time Big Data Analytics (RTBDA)* IoX-Strukturen und somit das U-PLM voraus. Demgegenüber ist C-PLM weder auf *Real-Time Computing (RTC)* noch auf das Wechselspiel von globaler und lokaler Intelligenz angelegt. Entsprechend macht es auch insgesamt nicht am *Sense-and-Respond Model* bzw. am *Adaptive Enterprise Design* fest. Der RTE-Gedanke ist für das C-PLM nicht reklamierbar; die Potentiale des *IoX-Monitoring* entfallen, indem der PEID-Aspekt bzw. das *Ubiquitous Computing* fehlt.

⁶⁹³ Vgl. etwa Bilgic/Rock (1997), Szykman et al. (2000), J.X. Gao et al. (2003), Maropoulos (2003), Mesihovic et al. (2004) und S. Brandt et al. (2008).

- (ix) *Closed-loop PLM*: Geschlossene Innovationszyklen bilden für das C-PLM deshalb keine Option, weil es weder die Datenbasis noch die Datenintegration zulässt. Es fehlt die PEID-Technologie als Grundlegung.
- (x) *SOA/ED-SOA*: Alle bekannten PLM-Systeme basieren zwar auf SOA; allerdings baut das C-PLM nicht auf ED-SOA auf. Denn eine EDA- bzw. CEP-orientierte PLM-Konzeption ist erst unter Sensor-, U-CEP- oder ED-BPM-Gesichtspunkten relevant.
- (xi) *PSS-Integrationsplattform*: Mit den unter IoX-, PSS-, PPR-, BPM-, SEA- wie ontologischen Gesichtspunkten bestehenden Defiziten kann C-PLM nicht die PSS-bezogene Integrationsplattform des *Smart Enterprise* bzw. der *Smart Factory* repräsentieren. Damit scheitert auch die Idee durchgängiger digitaler Wertschöpfungsketten am C-PLM. Insbesondere eine semantische Interoperabilität ist auf seiner Basis nicht darstellbar.

Jenseits des hier entwickelten *U-PLM-Referenzszenarios* ist festzustellen, dass die gegenwärtigen PLM-Lösungen in der Theorie und insbesondere in der Praxis oftmals noch dem C-PLM entsprechen. Die unter Pkt. 1.5.3 erwähnten PLM-Standardwerke weisen durchweg diese rückständige Qualität auf. Teile der Forschung bestechen indessen durch einen avantgardistischen Anspruch, der etwa ausgehend vom EU-PROMISE-Projekt in Richtung des *U-PLM-Referenzszenarios* weist. Sie ist heute auf dem Stand der IoT-Einbindung und auch auf jenem von Ontologien, allerdings in der Gruberschen linguistischen Variante. TLO-basierte Ansätze werden zwar gefordert, sind aber nicht realisiert. Der in Pkt. 2.4 behandelte Aspekt der *TLO-EO-Verkopplung* fehlt regelmäßig, insbesondere in dieser Kombination. Eine Einbindung in den IoX-Hyperspace mit der Interdependenz der fünf IoX-Subsysteme ist auch nicht im Ansatz gegeben. Entsprechend wird auch dem SEA-Infrastrukturaspekt zu wenig Beachtung geschenkt. Eine integrative Ontologiearchitektur mit der Möglichkeit der Verschaltung von Ontologietypen und Ontologiearten ist nicht angedacht. Solche Entwicklungen erfordern zumeist auch langwierigere Prozesse.

Nicht unproblematisch ist die in Pkt. 1.1 skizzierte fundamentale ontologische Änderungsproblematik. Denn es liegt auf der Hand, dass PLM-Systeme kurz- bis mittelfristig mit Ontologien durchsetzt sein werden, allerdings nicht mit den richtigen. Das Problem ist insbesondere darin zu sehen, dass es weder einen PLM-totalen Integrationsansatz gibt noch dass eine tatsächlich CPS-adäquate Grundlegung der Ontologie verfügbar ist. Es bestehen auch keine universalen Anforderungsspezifikationen, wie sie mit Pkt. 7.2 jede IoX-konforme Ontologie zu erfüllen hat. Sie ist entsprechend auch bei der Transformation vom C-PLM in das U-PLM in fundamentaler Hinsicht wesentlich. Es ist nachvollziehbar, dass die Praxis nicht auf die langwierige Entwicklung eines Totalansatzes wartet, sondern mit einzelnen Lösungen startet. Dennoch erscheint es wesentlich, dass die Probleme, die durch solche inferioren Teillösungen entstehen, reflektiert werden. Allerdings ist in vielen Fällen die ganze Problematik an sich unklar.

1.6 Zwischenfazit: Zur IoX-adäquaten Ontologie via U-PLM-Referenzszenario

»The major difficulty in designing a PLM ontology is inherent to PLM complexity both in terms of information content and software systems.«

— Sihem Mostefai/Abdelaziz Bouras (2006: 430)

Wie eingangs dieses ersten Teils festgestellt, ist in der Disziplin heute so gut wie alles ungeklärt, wenn es um die fundamentalen Fragen geht. Im Grunde ist nach wie vor unklar, was *Computing* genau ist, was mit dem Informationsbegriff und seinem Semantikproblem beginnt und nicht zuletzt in der Ontologiedebatte mündet. Mit Cyber-physischen Systemen (CPS) steht die Informatik an einem Wendepunkt, indem Computer nicht mehr in virtuellen Realitäten das abbilden, was menschliche Modellierer bislang als Realität verstanden hatten. Vielmehr stehen die Computer nunmehr als "*Reality Machines*" physisch wie kausal "in der Welt" und bilden selbst einen "Teil" der realen Welt. D.h. die Grenze, die bisher zwischen der physischen Welt und dem Cyberspace bestanden hatte, ist weg. Das System, mit dem es der Informatiker im Kontext des cyber-physischen IoX-Hyperspace zu tun hat, ist aufgrund des physischen IoT-Subsystems insgesamt nicht mehr als virtuelles System zu verstehen. Doch mit Pkt. 3.2.3 meint man selbst noch gegenwärtig vor dem Hintergrund von Berners-Lees "*Philosophical Engineering*", man könne dieses vermittelt einer "Philosophy of the Web" verstehen, die sich explizit allein auf *digitale Objekte* beziehen soll. Allerdings übersieht man damit nicht nur den grundsätzlichen Wandel, dem die Informatik im CPS-Sinne ausgesetzt ist, sondern auch die ontologische Interdependenz.

Prinzipiell betrachtet stehen alle Systeme der Informatik nunmehr im IoX-Hyperspace, bzw. sind alle modernen Ansätze IoX-Technologien, indem sie eine IoX-Anwendung zulassen. IoX-Computing ist jedoch immer dadurch herausgefordert, dass der IoX-Hyperspace durch sein IoT-Subsystem zur physischen Realität "offen" ist, womit dieser als Gesamtsystem zwingend selbst ein Cyber-physisches System (CPS) bildet. Die sozialen Systeme, um die es den Protagonisten des "*Philosophical Engineering*" von Berners-Lee geht, sind entsprechend als *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) im CPST-Hyperspace aufzufassen. Ansonsten sind sie grundsätzlich fehlerhaft konzipiert. Denn das ganze *Computing* lässt sich nicht mehr als virtuelles verstehen, sondern es ist einzig als "*Reality Computing*" richtig konzipiert, womit sich wiederum die Frage nach den fundamentalen Strukturen der Realität stellen. Damit kommt die Metaphysik unweigerlich ins Spiel. Man kann jedoch die Probleme, vor denen die Informatik heute steht, allein im Ganzen sachgerecht begreifen. Man muss an den Ursprüngen bei Leibniz ansetzen und die Entwicklung nachzeichnen.

Die Informatik steht tatsächlich genau deshalb auf tönernen Füßen, weil man entweder ihre Ursprünge bei Leibniz verkennt oder diese im Kern missverstanden hat. Das Leibnizsche *Computing* ist allein in der Trias von *Mathesis universalis*, *Scientia generalis* und *Metaphysica* zu verstehen, womit das ganze Leibnizprogramm vor dem Hintergrund dieser Trias zu sehen ist. Worum es Leibniz primär geht ist das kosmologische Moment, die Einheit der Erkenntnis und entsprechend die transdisziplinäre Einheit allen Wissens. Die *Ma-*

thesis universalis ist hier nicht mehr wie bei Descartes Mathematik, sondern eine formale Logik, indem es Leibniz darum geht, alles Wissen, d.h. beide Seiten des Cartesischen Dualismus, formal zu repräsentieren. In der Folge Leibnizens ist wahlweise von "Weltmaschine" bzw. "Denkmaschine" die Rede, je nachdem, welche Seite des Cartesischen Dualismus gemeint ist, auf deren universale formale Adressierung Leibniz zielt. Es ist diese Idee, die Boole später aufgreift, und natürlich steht er damit in Leibnizscher Tradition, auch wenn das nicht immer offen eingeräumt wird. Denn Booles mathematische Logik bezieht sich genauso auf die formale universale Erfassung der Natur wie auf jene allen Denkens, was vor Leibniz gerade so nicht bestand. Darauf bauen auch andere Logiker wie W.S. Jevons auf, und es wird nicht mehr von Welt- oder Denkmaschine, sondern etwa mit Peirce (1887) einheitlich bzw. universal von *Logical Machines* gesprochen, die in formallogischer Hinsicht konzipiert sind. In diesen Arbeiten besteht die Vorstufe zu den physischen Rechnern; die *Electrical Logic-Machine*, ein elektrisches Gerät zum Testen logischer Aussagen, die W. Mays und D. Prinz 1949 in Manchester entwickeln,⁶⁹⁴ baut explizit auf ihnen auf. Kritisch ist zu sehen, dass sich all diese Entwicklungen einseitig allein auf das beziehen, was bei Leibniz die *Mathesis universalis* ausmacht; d.h. die ganze Informatik baut in den meisten Fällen in verzerrter Weise nur auf einer Dimension der Leibnizschen Trias auf. Sie setzt fast ausnahmslos auf die formale bzw. mathematische Logik, die jedoch bei Leibniz im Zeichen dessen steht, was später zur Trias des Leibnizprogramms avanciert.

Das Leibnizprogramm bleibt also in der Informatik mit ganz wenigen Ausnahmen wie jener Mainzers komplett unverstanden. Zwar stellt man schnell fest, dass symbolische Operationen von Informationen nicht ausreichend sind, indem die Semantik fehlt. Zur Lösung dieses Problems meint man semantische Netze einsetzen zu können; auf ihrer Basis sucht man Computern als Denkmaschine bzw. Robotern als partieller Weltmaschine echte Intelligenz beizubringen. Doch das *Frame Problem* zeigt, dass die Dinge nicht so einfach liegen; es zeigt vor allem, dass man Leibniz nicht verstanden hat, wenn man implizit gerade auf der durch diesen fundamental kritisierten Cartesischen Metaphysik aufbaut. Natürlich wird man zentralen Leibnizschen Gesichtspunkten nicht gerecht, wenn man genau dort ansetzt, was Leibniz gerade überwinden will: beim *Common Sense*, den Leibniz in seiner Inexaktheit ablehnt, beim Dualismus von Denken und Materie sowie bei der Subjekt-Objekt-Dichotomie. Entsprechend hat die Informatik ihren Grundstoff bis heute nicht sachgerecht verstanden und genauso nicht, warum dieser Grundstoff metaphysisch überhaupt besteht. Genaugenommen ist damit die eigene Disziplin unverstanden. Dass diese These stimmt, zeigt der Umstand, dass ihre Entwicklung in Richtung Cyber-physischer Systeme (CPS) keineswegs aus theoretischen Überlegungen heraus unternommen wurde. Vielmehr ist sie, zumindest was ihre heutige starke Rezeption betrifft, allein Resultat einer praktischen Notwendigkeit, nämlich des plötzlichen Auftretens des IoT-Aspekts. Richtige Antworten auf diesen hat man insofern nicht, als sie nicht von der Cyber-Physik her

⁶⁹⁴ Vgl. dazu Fn. 3315.

entwickelbar sind. Somit werden oftmals auch Cyber-physische Systeme (CPS) nicht richtig verstanden, was sich etwa daran zeigt, dass das CERP-IoT mit Vermesan et al. (2009) zu ihrer Grundlegung auf den Philosophien von Aristoteles oder Philoponos aufsetzen will.

In der sonstigen Diskussion, etwa bezüglich Ontologien oder Kognition, ist es keinesfalls besser. Diese Symptome verwundern insofern nicht, als alle Theorie der Informatik nicht mehr als ein Torso ist; sie ist fragmentarisch, nicht systematisch, denn ihr fehlt jene Wurzel, die eine systematische theoretische Grundlegung eröffnen könnte. Das erforderliche Fundament ist nicht vorhanden, was nicht überrascht, weil es auch nur in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik bestehen kann. Dabei ist es nicht zuletzt die »verhängnisvolle 'Angst vor der Metaphysik'«, von der Einstein (1934) spricht, weshalb sie nie praktiziert worden ist. Da jedoch ihr ganzer Zusammenhang ein metaphysischer ist, die Herausbildung ihres Grundstoffs allein im metaphysischen Zusammenhang steht, ist diese Angst keiner Disziplin mehr zum Verhängnis geworden als dieser. Dabei ist diese Entwicklung umso mehr zu kritisieren, als selbst in den verschiedenen formallogischen Strömungen eine Tradition existiert, die unmittelbar wie explizit an der Leibnizschen Metaphysik ansetzt. Das ist die Tradition von Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica*; diese ist nur dann richtig interpretiert, wenn sie vor dem Hintergrund des ganzen Leibnizprogramms gesehen wird,⁶⁹⁵ wie es insbesondere mit Whitehead (1919, 1920, 1925, 1929a), aber auch mit seinem Schüler Russell (1927a) deutlich wird. Aufgrund der »'Angst vor der Metaphysik'« ist jedoch auch Whitehead bis heute unverstanden, und demnach mit Pkt. 4.2 im ersten Schritt zu rehabilitieren. Whitehead wie Russell verstehen von Anfang an, dass es im Computing nicht allein um *formallogische* Repräsentation geht, sondern es vielmehr primär auf *metaphysisch und epistemologisch* adäquate Repräsentationen ankommt, worauf McCarthy/Hayes (1969) im Kontext des *Frame Problem* explizit abstellen.

Ungeachtet seiner auf den ersten Blick besseren Metaphysik ist auch Dreyfus vorzuhalten, dass er Leibniz nicht verstanden haben kann. Whitehead genauso wenig, wobei Dreyfus dem Irrtum erlegen ist, dass Whitehead in der Tradition des Cartesischen Rationalismus zu verorten sei.⁶⁹⁶ Man sieht auch Leibniz selbst oftmals in der Tradition des Rationalismus, nur stimmt das so nicht, indem man nicht nur die *Mathesis univesalis* nicht ohne die Metaphysik verstehen kann, sondern auch diese nicht ohne die *Scientia generalis*. Metaphysisch betrachtet liegen Leibniz und Whitehead letztlich relativ gleich, auch wenn die richtige Sicht bei Whitehead im Kontext der nunmehr ausdifferenzierten Wissenschaften sehr viel stärker akzentuiert wird: beide sind gerade keine Rationalisten, sondern *Ratio-Empiristen*, und genau so ist das Leibnizprogramm im Ganzen zu verstehen – und die Informatik zu konzipieren. Leibniz, Whitehead und Popper stehen nicht nur in einer Tradition, sondern liegen auch insofern auf einer Linie, als es Kosmologen sind. Kosmologie ist naturgemäß mit den Wissenschaften durchgängig; es ist das Whiteheadsche »interplay

⁶⁹⁵ Vgl. dazu etwa Russell (1900).

⁶⁹⁶ Vgl. Dreyfus/Dreyfus (1988: 16 f.).

between science and metaphysics«, das für den ganzen Leibniz ähnlich angenommen werden darf. Denn ansonsten wäre die formale Repräsentation realiter gar nicht zu fassen. Es sind beides Metaphysiken der Erfahrung, was wiederum bei Whitehead noch deutlicher zum Ausdruck kommt. Dennoch sind beide perzeptiv, d.h. im Kern sensorisch, mithin cyber-physisch an Daten orientiert. Vor dem Hintergrund des *Frame Problem* ist zu konstatieren, dass Ontologie nur bei Gruber in expliziter Tradition Genesereth/Nilssons (1987) GOFAI-Ontologie ist. Das ist sie bei Leibniz und Whitehead natürlich nicht; denn hier ist sie von der *metaphysica generalis* her bestimmt, womit ihre Semantik gerade nicht auf eine linguistische Semantik, sondern dezidiert auf eine cyber-physische Semantik hinausläuft. Auch das kann bei Whitehead auf Grundlage der modernen Naturwissenschaften im Sinne einer techno-wissenschaftlichen 4D-Metaphysik besser ausgearbeitet werden, doch es gilt im Grundsatz genauso für Leibniz. Mit der Metaphysik der Erfahrung folgt auch aus den Positionen Leibnizens, Whiteheads wie Poppers gleichermaßen, dass im Automatenuniversum von einer hybrid-kognitiven Agentenarchitektur auszugehen ist, die immer von der perzeptiven Erfahrungsbasis zu erschließen ist. Insofern wird auch eine dritte AI-Generation erforderlich, die mit Blick auf ihre Ursprünge eigentlich hätte die erste sein müssen.

Eine korrigierte Symbiose von erster und zweiter AI-Generation ist auch insofern unabdingbar, als die *metaphysisch und epistemologisch* adäquaten Repräsentationen, welche McCarthy/Hayes (1969) explizit betonen, in der Disziplin nie richtig verstanden worden sind. Letztlich gilt das auch für sie selbst, insbesondere für Hayes. Demgegenüber gebührt McCarthy das Verdienst, die eigentlichen Probleme der Informatik als einer der ganz wenigen überhaupt erkannt zu haben. Mit der Frage nach dem "*general world view*" hat McCarthy (1995) ausdrücklich auf eine Antwort der Philosophie gehofft. Allerdings ist diese bis heute ausgeblieben, indem die Philosophie selbst kaum versteht, was *metaphysisch und epistemologisch* adäquate Repräsentationen in der Informatik ausmachen. Nicht umsonst rekurren nahezu alle *Top-level Ontologien* auf philosophische Ontologien, die für die Informatik völlig ungeeignet sind. Dass die Antwort auf McCarthys (1995) Frage in den Ursprüngen der Disziplin bei Leibniz bzw. in der Weiterentwicklung des Leibnizprogramms bei Whitehead liegt, erkennt jenseits von Ausnahmen wie Mainzer bis heute kaum ein Informatiker. Genauso ist unverstanden, dass die fundamentalen Probleme der Disziplin lange Zeit nur kaschiert waren, indessen immer bestanden haben und bis heute ungelöst sind. Theoretisch – partiell – bis H.L. Dreyfus (1972), praktisch bis zum Aufkommen des IoT-Computing ist das ganze Computing durch die Informatik fehlinterpretiert worden. Es wurde gerade nach Maßgabe jenes Cartesischen Dualismus aufgesetzt, den Leibniz wie Whitehead (und auch Heidegger) gerade elementar kritisiert hatten. Die virtuelle Realität, die das Computing in Teilen selbst heute noch prägt, ist eine Cartesische Realität, indem das Prinzip kausaler Wirksamkeit nicht gegeben ist. Insofern baut das ganze Computing auf falschen Grundlagen auf; sie gehen mit seinem Ursprung bei Leibniz nicht konform.

Mit Computern als Cyber-physischen "*Reality Machines*" sind alle Grundlagen der Informatik neu zu legen; sie sind auf Basis der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik zu begründen; es gilt dann mit P.M. Simons (2006b: 95): »metaphysics constrains semantics«. Dabei sollte es mehr als eine Randnotiz sein, dass der Mays-Schüler Simons von seiner ursprünglich phänomenologischen Position, die in der AI-Ontologie bis heute maßgeblich ist, auf jene – bereits durch Mays selbst favorisierte – Whiteheads gewechselt ist. Denn darin besteht der entscheidende Schritt, den die Informatik im Ganzen zu vollziehen hat. Der Irrtum der Cartesischen Metaphysikposition der Informatik erklärt sich bereits durch Leibniz; mit diesem wird deutlich, dass bisher auch ihr Grundstoff, also Daten, Information und Wissen nie korrekt im Leibnizschen universalen Sinne ausgelegt worden ist, was das Erfordernis der Digitalmetaphysik umso mehr unterstreicht. Indessen geht nicht nur die bisherige Metaphysik der Informatik bzw. jene der ersten AI-Generation an ihren eigentlichen Erfordernissen komplett vorbei. Vielmehr ist das analog für die zweite AI-Generation zu konstatieren; wenn Dreyfus elementar an der Heideggerschen Metaphysik festmacht, gilt das gleich in dreifacher Hinsicht: erstens lässt sich auf dieser Basis schon gar nicht der Grundstoff begründen, weil diese Metaphysik genauso wenig Cyber-Physik ist. Zweitens fehlt ihr komplett das transdisziplinäre techno-wissenschaftliche Moment, auf das die Leibnizsche gerade abzielt. Drittens liegt ihr Fehler darin, dass sie in Umkehrung der Cartesischen Metaphysik in eine Kantisch-agentenbasierte Konzeption deren objektiven Standpunkt und damit gleichzeitig den Aspekt globaler Intelligenz negiert. Darum geht es jedoch mit dem *Real-Time Enterprise* (RTE) letztlich in nahezu allen IoX-Szenarien, wobei es sich dabei in fast allen Fällen gar erst um die eigentlich wesentliche AI-Intelligenzdimension handelt. Denn es ist primär die Dimension der *globalen Intelligenz*, nicht die lokale bzw. regionale Intelligenz, die das entscheidende Moment der *Superintelligenz* erst eröffnet. Anhand des IoX-Hyperspace wie am Referenzszenario wird mit dem folgenden zweiten Teil deutlich, dass es in der Informatik tatsächlich gerade hierauf ankommt.

Vor allem zeigt der CPST- bzw. IoX-Hyperspace jedoch mit Entwicklungen wie etwa dem *Internet of Geophysical Things* (IoGT), dem *Internet of Chemical Things* (IoCT), dem *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) bis hin zum *Social Internet of Things* (SIoT) bzw. *Internet of Social Things* auf, dass eine *transdisziplinäre* Wissenschaftspraxis im Sinne der Leibnizschen *Scientia generalis* unentbehrlich ist. D.h. die sachgerechte Meta-Ontologie wie ihre Semantik lässt sich nur im Ganzen des IoX-Hyperspace entwickeln und nicht etwa einzeln, wie es in der konventionellen Wissenschaftspraxis häufig praktiziert wird. Gerade auch hier hat Leibniz in seinem formallogischen Ansinnen richtig vorgedacht, indem auf Basis des Automatenuniversums seiner *Metaphysica* klar wird, dass in jeder Hinsicht eine ontologische Interdependenz gegeben ist. Daraus folgt, dass ein gemeinsames, d.h. kosmologisches Kausalitäts- und Realitätsverständnis zu entwickeln ist (et v.v.). Insofern wird auch klar, dass alles *Computing* im Sinne des IMKO OCF ein *Ontological Computing* ist, das im CPST-Hyperspace auf vier disparaten Welttypen aufzubauen hat, wie sie mit CYPO

FOX ebenfalls im dritten Teil näher umrissen werden. Leibniz ist für die Informatik also nicht nur in ihrer formallogischen Hinsicht konstituierend, sondern gerade in ihrem Wechselspiel mit den beiden anderen Momenten der Trias des Leibnizprogramms. Denn ausgehend von einem einheitlich geklärten Realitätsverständnis ist auf dieser digitalmetaphysischen Basis das zu entwickeln, was der Disziplin gegenwärtig in elementarer Hinsicht fehlt, nämlich ein universaler Ontologiebegriff und ein einheitliches Ontologieverständnis, das der Losung von P.M. Simons (2006b: 95) folgt: »metaphysics constrains semantics«. Entsprechend ist im Sinne von CYPO/IMKO eine integrierte Ontologiekonzeption zu entwickeln, die für die Informatik universal gelten kann. Ansonsten werden sich weder die fundamentalen Probleme der Disziplin jemals überwinden lassen noch könnte ihr Ursprung bei Leibniz sein. Vielmehr läge er dann nach wie vor bei Descartes, Heidegger oder sonstwo in den Weiten der Linguistik bzw. den Tiefen der Kognitionswissenschaften. Aber bestimmt nicht in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik als Cyber-Physik.

Das *U-PLM-Referenzszenario* ist deshalb von großem Belang, weil es nicht nur den IoX-Hyperspace als zukunftsoffenes *IoX-totales Referenzszenario* bzw. als miniaturisiertes IoX-Totalmodell repräsentiert, sondern weil es als universales Anwendungs- und Integrationsszenario alle fundamentalen Probleme, insbesondere seine Ontologieproblematik unmittelbar aufzeigt. Allerdings ist dies nur dann der Fall, wenn man diese Systeme unter Maßgabe des *Closed-loop Ubiquitous PLM (U-PLM)*, nicht nach Maßgabe des selbst defizitären C-PLM konzipiert. In der Tat stellen sich mit dem U-PLM, wie es in Pkt. 1.5 in allen Details dargelegt wurde, *de facto* sämtliche Anforderungen einer IoX-adäquaten Ontologie. Das beginnt damit, dass mit Pkt. 3.2.4 auch vor dem Hintergrund des U-PLM nicht zwischen einem CM- und einem AI-Ontologieverständnis differenziert werden kann. Oder dass mit Pkt. 3.3.1 ein ganzes System von Ontologien zu berücksichtigen ist, das neben den Ontologiearten auch verschiedene Ontologietypen in sich integriert. Konkret ist damit die notwendige Abstimmung zwischen *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz mit solchen der technologischen bzw. praktischen Art gemeint. Dabei besteht im Popperschen Sinne insofern ein hierarchisches Verhältnis, als das objektive Wissen über dem intersubjektiven bzw. subjektiven steht, sofern es nicht um seine Falsifizierung an sich geht. Als *integrierte Prozess- und Wissenssysteme* zeigen U-PLM-Systeme ferner auf, dass auch nicht zwischen KS-Ontologien und IS-Ontologien (ODIS) differenziert werden kann, wobei etwa BFO auf den ersten Typus, und DOLCE auf den zweiten abstellt. Vielmehr ist mit dem U-PLM die *IS/KS-Kombination* als ontologische Anforderung gesetzt. Das U-PLM-Referenzszenario macht insofern das *Internet of Geophysical Things (IoGT)*, das *Internet of Chemical Things (IoCT)*, das *Internet of Bio-Nano Things (IoBNT)* wie unmittelbar technologische Varianten wie das *Internet of Medical Things (IoMT)* zugänglich, indem PLM-relevante Industrien etwa in der Luft- und Raumfahrt, der chemischen Prozessindustrie, der Biotechnologie oder der Medizintechnik bestehen, womit es nicht nur in funktionaler, sondern genauso in industrieller Hinsicht unabdingbar im IoX-Hyperspace

verankert ist. Demnach ist die ontologische Stützung der Produktentwicklung in solchen Industrien vor dem Hintergrund von *Scientific Ontologies* zu sehen. Dabei müssen sich alle Domänenontologien (DO), alle Methodenontologien (MO) usf. selbstredend als kommunisierbar erweisen; maschinelle Agenten sollten zudem die verschiedensten Ontologien *ad hoc* miteinander verschalten können, um Superintelligenz realisierbar zu machen. Das kann wiederum allein auf Basis einer Ontologiearchitektur funktionieren, die zwischen disparaten Welt- bzw. Ontologietypen differenziert, wie es in Pkt. 3.5 diskutiert wird. In metaphysischer Hinsicht heißt das: es geht um eine *universale Ontologie*, die techno-wissenschaftliche Gültigkeit besitzt; und in Bezug auf die Semantik: um *Transdisziplinarität*, d.h. um transdisziplinär gültige Entitäten, die sämtliche Domänen semantisch transzendieren.

Aber nicht nur die IoT-Dimension bzw. alle anderen vier IoX-Subsysteme werden durch das U-PLM-Referenzszenario und seine PEIDs eröffnet,⁶⁹⁷ sondern natürlich genauso Weisers (1991, 1993b) *Ubiquitous Computing* als solches, was auch notwendig ist, wenn gilt: »An Internet of Things makes computing truly ubiquitous«. ⁶⁹⁸ Dabei korrespondiert das U-PLM nicht nur mit der heutigen universalen IoT-Auffassung, sondern selbst bereits unmittelbar mit den IoT-Ursprüngen im MIT *Auto-ID Center*. Denn diese stehen an sich explizit unter der Perspektive des *Produktlebenszyklus*, auf den die "Things" im IoT-Ansatz bezogen sind. Gleich in der ersten IoT-Publikation des *Auto-ID Center* stellt D.L. Brock (2001) fest: der *Electronic Product Code* (EPC) »uniquely identifies objects and facilitates tracking throughout the product life cycle«, ⁶⁹⁹ während Mitsugi et al. (2007) etwas später Sensoren und RFID explizit auf einzelne PLM-Phasen beziehen. Auch umgekehrt besteht diese Korrespondenz, indem die PLM-Forschung ausgiebig auf RFID, EPC wie das *Auto-ID Center* rekurriert.⁷⁰⁰ Indessen kann die EPC/SCM-Fixierung der IoT-Vision des MIT *Auto-ID Center* weder als wegweisend erachtet werden, noch ist das U-PLM als IoX-Totalmodell darauf fixiert. Vielmehr eröffnen U-PLM-Systeme als PSS-bezogene Integrationsplattform des *Smart Enterprise* bzw. der *Smart Factory* als *Factory of Things* vom Grundsatz her betrachtet genau die gleiche universale Perspektive, wie sie zuvor allein im CIM-Paradigma bestand. Dabei ist das Moment der PSS-bezogenen Integrationsplattform im cyber-physischen Sinne doppelt zu verstehen, nämlich in Bezug auf die physischen Produkt-Service-Systeme (PSS) wie damit in Bezug auf die entweder (zumeist) direkt verwobenen oder zumindest indirekt relevanten "Things" und "Services" komplexer IoX-

⁶⁹⁷ Dabei wird anhand des Referenzszenarios auch deutlich, dass es ein Irrtum ist, wenn insbesondere populärwissenschaftliche IoT-Monographien die Ontologie- bzw. Semantikfrage erst gar nicht eröffnen, vgl. etwa McEwen/Cassimally (2014). Dieses Erfordernis besteht mit der Cyber-Physik, die wiederum direkt mit den *Scientific Ontologies* zusammenhängt. Letztere sind transdisziplinär zu fassen und erfordern eine objektive, realitätsbezogene Fassung aller Semantik, womit gilt: »metaphysics constrains semantics«.

⁶⁹⁸ Vgl. Mattern/Floerkemeier (2010: 242); vgl. hierzu ferner Radenkovic/Kocovic (2017).

⁶⁹⁹ Vgl. D.L. Brock (2001: 5); vgl. zur *EPC-Technologie* allgemein Thiesse/Michahelles (2006).

⁷⁰⁰ Vgl. etwa H. Cao et al. (2009) sowie H.-B. Jun/Shin et al. (2009). Mit dem *EU-PROMISE* Projekt werden aktive und passive RFID Tags in den PLM-Kontext gebracht; entsprechend sollte das RFID-basierte *Object Tracking* im Fertigungsbereich, wie es Brusey/McFarlane (2009) thematisieren, mit dem *Closed-loop Ubiquitous PLM* (U-PLM) als PLM-Phase konzipiert werden; vgl. hierzu auch Anke et al. (2008).

Systeme. Gerade letztere unterliegen in ihrer Entwicklung selbst dem U-PLM, indem sie ausgehend vom *Requirements Engineering* unter PSS-Gesichtspunkten zu spezifizieren sind,⁷⁰¹ wobei dies integrativ unter BOL-, MOL- und EOL-Aspekten zu erfolgen hat.⁷⁰²

Oftmals wird übersehen, dass Losgröße-1-Szenarien im *Industrial Internet of Things* (IIoT) rein *produktbezogene* Szenarien bilden, die operativ allein im Zuge eines PLM-basierten Variantenmanagements umsetzbar sind. Mit anderen Worten ist das U-PLM mit Pkt. 2.5 im Sinne des PPR-Frameworks das neue CIM, nur unter gänzlich anderen Vorzeichen. Als solches besitzt es eine unmittelbare Verbindung zur *Smart Enterprise Architecture* (SEA) und zielt dabei auf ED-SOA-Basis wesensnotwendig auf die *Smart Enterprise Integration* (SEI).⁷⁰³ Entsprechend spielen Aspekte wie die semantische Interoperabilität sowie die umfassende AI-Durchdringung aller PSS-Produkte, Prozesse und Ressourcen eine elementare Rolle. Dabei sind immer die CPS/SEA- bzw. MAS/CAS-Aspekte entscheidend. Ferner besteht der direkte Bezug zur Cyber-Physik insofern, als das U-PLM mit Verweis auf Abb. 2 sämtliche Arten von Cyber-physischen Systemen (CPS) entweder in funktionaler und/oder in industrieller Hinsicht eröffnet. Damit gilt gleichzeitig der Grundsatz der erforderlichen CPS-Adäquanz aller Ontologie. Dabei werden in RTE- bzw. PEID-Hinsicht auch alle Aspekte der Sensorik und Aktorik begründet, indem es um PEID-Produkte auch gerade in der PLM-affinen Automobilindustrie geht. Vollautonome Fahrzeuge mit SAE Level 5 bilden genauso typische PEID-Produkte wie auch alle anderen Maschinen, von der Spezialbau- bis zur Werkzeugmaschine. Nicht nur in der Fertigungsphase, sondern insbesondere in den MOL-Phasen geht es dann um *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA), etwa zu Zwecken der *Predictive Maintenance*, die im PSS-Sinne selbstverständlich ist. Zweifelsohne zeigen nicht nur PEID-Produkte wie vollautonome Fahrzeuge mit SAE Level 5, dass die Adaption im Sinne hybrider Agentenarchitekturen mit Sathi (2016) sein *AI-Momentum* gleichermaßen im *Cognitive Computing* bzw. in *Cognitive Things* besitzt. Allerdings sind die bisherigen Ansätze wiederum insofern zu überdenken bzw. zu modifizieren, als es im digitalmetaphysischen Sinne um die Leibniz-Whitehead-sche Perzeption und Kognition gehen muss. Denn Digitalmetaphysik kann natürlich nur im Ganzen gelten, weder selektiv noch partiell.

⁷⁰¹ Vgl. dazu auch Messaadia et al. (2010).

⁷⁰² Vgl. Pezzotta et al. (2010).

⁷⁰³ Auch in Bezug auf Haeckels (1995, 1999) *Sense-and-Respond Model* bzw. das *Adaptive Enterprise Design* handelt es sich beim U-PLM um das relevante Referenzszenario, indem es zeigt, dass sich die Adaption maschineller Agententechnologien nicht etwa nur global, regional oder lokal vollzieht, sondern vielmehr in deren umfassendem Wechselspiel kombiniert erfolgt. Dann aber stellt sich die ganze Ontologiefrage auch in diesem Zusammenhang, nämlich gleichzeitig unter dem Vorzeichen lokaler bzw. regionaler Intelligenz, die situations- und kontextbezogen ist, wie auch jenem globaler Intelligenz, die eine entsprechend globale Perspektive einnimmt. D.h. im System der Ontologien gibt es etwa verschiedenste Methoden-, Aufgaben- und Funktionsontologien, die vor dem Hintergrund des SEA/SEI-Aspekts in transdisziplinärer Weise semantisch wie fundamentalontologisch zu orchestrieren sind. Mit dem PPR-Framework sind diese Ontologien jedoch neben der TLO-Referenz im Sinne des U-PLM als PPR-bezogener Prozessintegrator auch auf die *Enterprise Ontology* als integrative Kernontologie zu beziehen, indem sich erst über diese eine tatsächlich umfassende semantische Integration realisieren lässt.

2. Globale IoX-Intelligenz als ED-SOA-basiertes Real-Time Enterprise (RTE)

»Our claim is that ontologies will eventually succeed in the information system arena [...] and no computerized systems in this century will ever be designed without an ontological approach.«

— Domenico M. Pisanelli/Aldo Gangemi/Geri Steve (2002: 125)

Das in Pkt. 1.5 erörterte *U-PLM-Referenzszenario* ist schon insofern wegweisend, als es nicht nur im situativ-kontextuellen PEID-Sinne die Defekte der ersten AI-Generation aufzeigt und auf Basis der 4DP-Technologie ihre implizite Metaphysik genauso *ad absurdum* führt. Ex aequo macht es die Defekte der zweiten AI-Generation greifbar, wobei es nicht nur um die cyber-physische Inadäquanz der Heideggerschen Metaphysik geht. Vielmehr wird an diesem Referenzszenario ebenso offensichtlich, dass H.L. Dreyfus auch in anderer Hinsicht falsch liegt, nämlich mit der impliziten Annahme, dass sich die AI-Intelligenz allein auf den situativ-kontextuell eingebetteten Agenten bezieht. Mit dem *IoX-Hyperspace* bzw. dem Referenzszenario als IoX-konformen Totalmodell zeigt sich vielmehr, dass die lokale Intelligenz und selbst die regionale bzw. Schwarmintelligenz lediglich Teilaspekte darstellen. Denn im *IoX-Hyperspace* ist prinzipiell kein Agent frei von Infrastruktur, und in den meisten Fällen sind die Agenten als MAS-Agenten bloß Teil eines übergeordneten Systems. Das beginnt beim einzelnen Sensor von Erdbebenfrühwarnsystemen im *Internet of Geophysical Things* (IoGT) und endet nicht erst bei *vollautonomen Fahrzeugen* mit SAE Level 5 im *Internet of Vehicles* (IoV). Selbst der auf den ersten Blick isolierte bzw. freie Roboter, der fremde Planeten erforscht, steht in der Infrastruktur etwa einer Raumfahrtbehörde, deren Rechner genauso mit Artifizierter Intelligenz durchsetzt sind. Allerdings müssen dabei keineswegs die gleichen AI-Technologien Einsatz finden, bzw. verschiebt sich im Spannungsfeld von lokaler bis globaler Intelligenz ihre jeweilige Eignung. Denn lokale technische Vorgänge sind etwas anderes als globale Reflexion, doch geht es in beiden Fällen um Haeckels *Sense-and-Respond Model* bzw. um Intelligenz als Problemlösungsvermögen. Zweifelsohne gibt es auch bei natürlicher Intelligenz völlig unterschiedliche Problemklassen, die sich in praktische, technologische und wissenschaftliche kategorisieren lassen. Diese Kategorisierung ist für die Frage der Realisierbarkeit von *Superintelligenz* entscheidend. Allerdings setzt die bisherige AI-Forschung auf Basis falscher Metaphysik selbst hier nur auf die einfachste Klasse, was natürlich nicht Leibniz-konform ist.

Haeckels *Adaptive Enterprise Design* gehört in den Bereich der EA-Disziplin, und die AI-Disziplin krankt daran, dass sich AI-Forscher entweder nicht für EA-Belange interessieren oder sich aber auf diesem Gebiet nicht kompetent fühlen. Doch auch darin besteht ein Kardinalfehler, wenn wir eingangs des ersten Teils auf McCarthy (1963a: 66) verwiesen hatten, mit dem außer Frage steht, dass die Informatik nicht nur einen AI-Kern besitzt, sondern zur Entsprechung immer komplexerer Systeme im IoX-Hyperspace notwendig auf das Moment der *Superintelligenz* hinausläuft. Natürlich muss man in der Sache konsequent sein: Artifizielle Intelligenz impliziert *Autonomic Computing*, das wiederum als *cyber-physisches "Reality Computing"* zu denken ist. Deshalb muss auf diesen ersten Schritt not-

wendig der zweite folgen: dann müssen die Systeme auch wesentlich über menschliche Intelligenz hinausgehen. Ohne eine solche *Superintelligenz* können komplexe AI-basierte Systeme, etwa überregionale Verkehrsleitsysteme, nicht sachgerecht funktionieren. So gesehen ist *Superintelligenz* nicht bedrohlich, sondern einfache Konsequenz fortschreitender Informatik. Bedrohlich wäre eher das Gegenteil, wenn man den ersten Schritt ginge, nicht aber den zweiten.⁷⁰⁴ Mit diesem AI-Kern der Informatik müssen ihre Teilbereiche als ein großes Ganzes verstanden werden. Das scheitert bisher daran, dass ihr die digitalmetaphysischen Fundamente fehlen, auf denen sie sich erst systematisch begründen lassen. Demgegenüber besitzen in der heutigen Informatik, die sich primär an gerade praktisch relevanten Themen, nicht aber an einem systematischen Unterbau orientiert, viele Teilfelder ihre eigenen Methoden.⁷⁰⁵ Diese sind weder in meta-ontologischer Weise richtig reflektiert, noch über die Teilbereiche hinweg abgestimmt. Das zeigt sich nicht nur daran, dass AI-Forscher die Integration zwischen lokaler und globaler Intelligenz nicht suchen. Vielmehr gilt dies generell, wenn im Grunde alles in der Disziplin ontologisch determiniert ist.

In der EA-Disziplin ist die konzeptuelle Modellierung Grundlage für jedes *Enterprise Model*; seit Anfang der 1990er Jahre wird sie auch explizit auf der Basis von *Top-level Ontologien* als CM-Referenzbasis praktiziert, während die Ontologie den Methoden zuvor immer mindestens implizit inhärent war. Allerdings hat die CM-Ontologie in den wenigsten Fällen etwas mit der AI-Ontologie zu tun. Regelmäßig werden in beiden Bereichen völlig disparate TLO-Ansätze eingesetzt. Mit Blick auf den AI-Kern der Informatik steht jedoch außer Zweifel, dass diese Praxis grundsätzlich falsch ist. Eine *Smart Enterprise Integration* (SEI) lässt sich auf diesem Wege sicher nicht erreichen, und auch keine *Superintelligenz* realisieren. Die Folge sind vielmehr potentiell instabile Systeme, deren Basis weder konsistent ist noch auf die cyber-physischen Momente der Realität abstellt. Doch sind es genau diese inferioren Grundlagen, auf denen man heute meint Cyber-physische Systeme (CPS) begründen zu können – und dies im IoT-Kontext faktisch auch vollzieht. Das Problem besteht letztlich darin, dass die AI-Ontologie fast immer rein linguistischer Natur ist, was für einige Top-level Ontologien wie jene von SUMO oder Cyc analog gilt. DOLCE geht als kognitiver Ansatz darüber etwas hinaus, während die BFO in Kombination phänomenologischer wie sprachphilosophisch ausgelegter neo-aristotelischer Momente die Besonderheit strikter Realitätsrepräsentation auszeichnet.⁷⁰⁶ Demgegenüber sind andere wie GFO oder BWW als realistische Ansätze zu zählen; sie machen als solche im Unterschied zur ersten Gruppe *deskriptiver* Metaphysik an einer *Ontology of Levels* fest. Allerdings entspricht nur die BWW-Basis echter *revisionärer* Metaphysik. Die GFO weist

⁷⁰⁴ Entsprechend sollte auch das Erfordernis gesehen werden, maschinelle Agenten primär nicht auf *Common Sense*, sondern vielmehr primär auf *Scientific Ontologies* basieren zu lassen.

⁷⁰⁵ Das gilt gar für die ausdifferenzierte bzw. überspezialisierte AI-Disziplin selbst, vgl. Sowa (1991d).

⁷⁰⁶ B. Smith (2009) bekennt sich grundsätzlich zu Strawsons *deskriptiver* Metaphysik, allerdings unter der Maßgabe, die *Common Sense Reality* durch eine wissenschaftlich erfassbare Realität im Sinne seiner *Scientific Ontologies* zu ersetzen. Umgekehrt ist damit gesagt, dass es sich gerade nicht um *revisionäre Scientific Ontologies* des Whitehead-Popperschen Typus handelt, gerade auch methodologisch nicht.

eine eklektische Natur auf, besitzt somit im Unterschied zur ersten keine wissenschaftliche Metaphysik als Basis, über die sich die Durchgängigkeit zu den Wissenschaften realisieren und die fundamentalen Strukturen der Realität tatsächlich systematisch reflektieren ließen. Doch ist, wie erwähnt, die BWW-Metaphysik mit Pkt. 5.3 für die Informatik gänzlich ungeeignet. Entscheidend sind hier aber nicht die Defizite als solche, sondern der Umstand, dass diese TLO-Ansätze ihren Schwerpunkt auf der einen oder anderen Seite haben. Sie sind somit prinzipiell defekt, weil die Informatik eine durchgängige Perspektive einfordert, die simultan in Bezug auf konzeptuelle *und* semantische Modelle überzeugen kann.

Indessen gibt es zwei nennenswerte Ausnahmefälle, die sowohl auf den CM- wie auf den AI-Bereich fixiert sind; das sind die UFO-TLO sowie die Sowa-TLO. Allerdings ist, wie vor dem Hintergrund des fünften und sechsten Teils deutlich wird, erste inkohärent wie inkonsistent; obendrein ist sie im Kern neo-aristotelisch, ergo endurantistisch gehalten. Indem das eine fundamentale CPS-Inadäquanz bedingt, ist hier darauf nicht weiter einzugehen. Besser sieht es vom Grundsatz her bei der Sowa-TLO aus; Sowa kennt als praktischer IBM-Forscher auch die tatsächlichen Integrationsbelange, die im SEA-Sinne runter in den Maschinenraum des *Computing* führen, also keineswegs an der Oberfläche von externer Welt und ihrer semantischen Repräsentationsfrage bleiben. Sowa/Zachman (1992a, 1992b) suchen selbst die EA-Verbindung, und nicht zuletzt dieses Moment ist dafür ausschlaggebend, dass Sowa mit großem Abstand zu den kompetentesten Ontologen der Informatik zu rechnen ist. Denn in seiner Praxissicht ist Sowa klar, dass die Ontologie der Informatik dezidiert mit dem *Information Processing* korrespondieren muss. Insofern überrascht es nicht, wenn es einzig Sowa (2000) ist, dessen TLO-Ansatz zumindest partiell der CM-AI-Integration entspricht. Das verdankt Sowa wiederum explizit der Philosophie bzw. Metaphysik, namentlich jener von Peirce und Whitehead, die beide im Leibnizschen Sinne die mathematische Logik auf die Ebene des metaphysischen Logizismus bringen. Es gilt mit Peirce (1897: 184): »The logical doctrine [...] must [...] find its application in metaphysics, if we are to accept the Kantian principle that metaphysical conceptions mirror those of formal logic«, wobei die Umdrehung dieses Sachverhalts allerdings zutreffender wäre: Denn im Sinne des Ratio-Empirismus Whiteheads ist die Metaphysik immer zuerst, und deshalb können sich prinzipiell gesehen auch nur *ihre* Prinzipien in den Kalkülen der Logik spiegeln. Erst am Ende der metaphysischen Analyse kann klar sein, dass es sich mit Kant (1800) um ein formallogisches *Regeluniversum* handelt. Auch sind die *Event Streams* Whiteheads nicht etwa Folge eines auf der Hand liegenden Ereigniskalküls, sondern sie sind Resultat der Erkenntnis, dass das Kantische Regeluniversum zweifellos auf die Leibnizsche Cyber-Physik zurückgeht, was sich wiederum im Ereigniskalkül spiegelt.⁷⁰⁷

Sowa entspricht in seinen wechselnden Sichtweisen partiell diesem metaphysischen Logizismus, der für die Informatik im Sinne der Digitalmetaphysik die einzig richtige ontolo-

⁷⁰⁷ Insofern liegt Varzi (2009: 33) falsch, wenn er feststellt: »Metaphysics comes first, as long as logic is already there« – was wiederum an einem defekten Metaphysikverständnis liegt.

gische Option markiert. Denn ihre irrtümliche Trennung zwischen CM- und AI-Ontologie, die den Superintelligenzaspekt genauso wie jenen Cyber-physischer Systeme unmittelbar konterkariert, wäre auf diesem digitalmetaphysischen Fundament erst gar nicht entstanden. Insofern ist gezeigt, dass ihre Nichtexistenz unmittelbar folgenschwere Konsequenz besitzt, die zudem von direkter praktischer Relevanz ist. Sowas ontologische, epistemologische, methodologische und formallogische Überlegungen gründen entsprechend komplett in der Philosophie, mithin in der Metaphysik. Alles andere wäre auch nicht wegweisend, was nochmals die Richtigkeit der Metapher "*AI is metaphysics*" unterstreicht. Sowas (1984) *konzeptuelle Graphen* entsprechen dabei im Kern den *logischen bzw. existentiellen Graphen* Peirces (1897);⁷⁰⁸ insbesondere bei letztem sind diese unmittelbar im metaphysisch existentiellen, d.h. *realistischen* Sinne gemeint, womit sie dann die Kopplung von CM-Entitäten und AI-Semantik sicherstellen. Sie besitzen dann eine konzeptuelle und semantische Doppelfunktion, die speziell bei Sowa (2000) im 4D-Sinne auch ereigniszentrisch ausgelegt wird.⁷⁰⁹ Das geschieht nicht von ungefähr, sondern Sowas (2000) "*general world view*" gründet auch insgesamt auf der ereigniszentrischen Metaphysik Whiteheads. Diese wird allerdings nicht in der Weise konzipiert, in der sie im Kern gedacht ist. Für Sowa (2000) ist evident, dass die metaphysisch verankerte *Top-level Ontologie* mitsamt ihrer Top-level Kategorien jene "*superstructure*" bildet, die erst die Integration aller Ontologien der verschiedensten AI-Szenarien bzw. AI-basierter Applikationen zulässt.⁷¹⁰

Mit Blick auf den Aspekt der globalen Intelligenz bzw. aller SEA-Momente erkennt Sowa – im Unterschied zu den meisten Ontologen – auch die erforderliche Verbindung zwischen Ontologie und der in Pkt. 2.1 bzw. Pkt. 2.2 behandelten *Enterprise Integration* (EI).⁷¹¹ Allerdings übersieht er dabei mit Pkt. 2.3 die integrative Rolle der *Enterprise Ontology* (EO), in der als Kernontologie letztlich analog die "*superstructure*" aller integrativen SEA-Aspekte besteht. In ihr liegt das *integrative* Intelligenzmoment begründet, während die Top-level Ontologie das *universale* bzw. fundamentale Intelligenzmoment im Sinne des "*general world view*" verkörpert. Erstes Intelligenzmoment impliziert das Verständnis aller lokalen, regionalen oder globalen Intelligenz (damit aller Agenten) für alle *infrastrukturellen* SEA-Zusammenhänge; zweites Intelligenzmoment jenes für alle *cyber-physischen* CPS-Aspekte einschließlich des MAS/CAS-Gesichtspunkts. Denn nur auf diese Weise können CPS-adäquate Agenten die Realität verstehen, in die sie kausal unter Geltung der gleichen Gesetzmäßigkeiten eingebunden sind. Damit ist auch klar, dass dieses Verständnis eine Durchgängigkeit in die Domänenontologien (DO) impliziert, wenn die Metaphysik nach der Physik kommt. Entsprechend ist das, was in Pkt. 4.2 als "*New Physics*", als "*New Chemistry*", oder als "*New Biology*" skizziert wird, als Domänenontologien (DO) aufzubereiten, indem Agenten als intelligente Automatenvariante nur dann CPS-adä-

⁷⁰⁸ Vgl. ferner Peirce (1933: 291 ff.) [*Book II: Existential Graphs*]; vgl. ergänzend D.D. Roberts (1973).

⁷⁰⁹ Demgegenüber legt der frühe Sowa die *konzeptuellen Graphen* im Sinne Wittgensteins *linguistisch* aus.

⁷¹⁰ Vgl. *ibid.*

⁷¹¹ Vgl. Sowa (2000: 53).

quat konzipiert sein können, wenn für sie jederzeit auch in den Details ersichtlich ist, wie es sich mit der physischen Welt verhält. Analoges gilt in Bezug auf die übrigen Erfahrungswissenschaften, die es vor allem mit Agenten zu tun haben. Auch diese haben ihre ontologische Wende, die auch hier in expliziter Opposition zu Strawson (1959) im Sinne *revisionärer* Metaphysik verstanden wird, genauso längst hinter sich.⁷¹² Nur haben die deskriptiven Ontologen davon entweder keine Notiz genommen, ignorieren es, oder wissen nicht, wie sie damit umgehen sollen.⁷¹³ Insgesamt kommt also das ganze in Pkt. 3.3.1 bzw. Abb. 3 umrissene *System von Ontologien* ins Spiel. Entsprechend wird durch Sowa mit Pkt. 2.4 auch nicht die obligatorische Relevanz der *TLO-EO-Verkopplung* adressiert. Die *Enterprise Ontology* (EO) als Kernontologie betrifft alle Details, die mit dem Maschinenraum des *Computing* bezeichnet werden, etwa die Integration des *Service-Oriented Computing* (SOC) bzw. XaaS-Paradigmas mit Web Services, Prozessen und Ressourcen des in Pkt. 2.5 behandelten PPR-Frameworks. Dabei sind die EA/EI/EO-Aspekte bzw. das PPR-Framework nicht misszuverstehen; diese gelten nicht etwa nur für die *Smart Factory* bzw. das *Industrial Internet of Things* (IIoT) usf., sondern im Sinne von Haeckels *Sense-and-Respond Model* als *Adaptive Enterprise Design* für jedes IoX-Szenario in Bezug auf infrastrukturelle Belange bzw. die globale Intelligenz *universal*. Sie gelten also genauso etwa für alle rein wissenschaftlichen IoT-Multisensorsysteme z.B. des *Internet of Geophysical Things* (IoGT), des *Internet of Chemical Things* (IoCT) oder des *Social Internet of Things* (SIoT).

Von globaler Intelligenz kann bei Sowa (2000) deshalb keine Rede sein, weil er nicht das Erfordernis sieht, zwischen praktischen, technologischen und wissenschaftlichen Welttypen zu differenzieren und diese im Sinne des Whiteheadschen Ratio-Empirismus in eine hierarchische Ordnung zu bringen. Hier besteht die Crux jeder Sowa-Kritik: Sowa liegt zwar in seiner metaphysischen Fundierung vollkommen richtig, und auch darin, dass es dabei um einen metaphysischen Logizismus im Sinne von Peirce und Whitehead gehen muss, weil nur dieser in Richtung der Digitalmetaphysik weist. Gleichzeitig ist Sowa im Sinne des Leibniz-Whiteheadschen Moments der *Perzeption* klar, dass es in der AI-Grundlegung um eine *Metaphysik der Erfahrung* gehen muss, nicht etwa um eine Cartesisch geprägte deskriptive Metaphysik. Allerdings reicht das nicht aus. Vielmehr übersieht Sowa das eigentlich entscheidende Moment bei Leibniz, Peirce und Whitehead bzw. in dieser Tradition auch Poppers (auf den sich Sowa konsequenterweise auch nicht bezieht), nämlich das Moment der *Kosmologie*, das in direkter Durchgängigkeit zu allen Struktur- und Erfahrungswissenschaften steht. Metaphysik ist also bei allen dezidiert als transdisziplinäres techno-wissenschaftliches Unterfangen gedacht – nur nicht bei Sowa. Entsprechend

⁷¹² Vgl. Vromen (2004); allerdings sind die *Evolutionary Economics* dann konsequenterweise im transdisziplinären Zeichen *revisionärer Metaphysik*, und nicht in einem multidisziplinären Sinne zu erschließen.

⁷¹³ Natürlich ist die *revisionäre* Metaphysik nicht aufgrund des *Ratio-Empirismus*, sondern auch in Bezug auf die modernen, an *komplexen Systemen* orientierten Wissenschaften *exklusivistische 4D-Metaphysik* Whiteheadscher Provenienz. Und daran scheitert die *deskriptive* Metaphysik Strawsons (1959) komplett.

geht es Sowa auch nicht um spezifische *Scientific Ontologies* bzw. um technologische, die jeweils spezifische methodologische Verfahren voraussetzen. Vielmehr gibt es diese Unterschiede bei Sowa nicht, und das wird vor allem deshalb zum Problem, indem Sowa (1992b) seit jeher zugleich die Ausdruckskraft der Normalsprache preist. Denn damit nimmt er eine elementare Gegenposition zu allen Metaphysikern ein, auf deren Systeme er seine *Top-level Ontologie* gerade begründen will. Sie alle, einschließlich der Whitehead-Schüler Russell und Quine wie dem ebenso im Whitehead-Paradigma stehenden Popper sehen diese Ausdruckskraft nicht. Es handelt sich also um eine diametral andere Position.

Für Sowa (2006d: 64) besitzt die Normalsprache absolute Ausdruckskraft; er bezieht sich auf die Position von R. Montague (1970), wonach es keine wichtigen theoretischen Unterschiede zwischen formaler und natürlicher Sprache gäbe.⁷¹⁴ Allerdings zeigt sich bereits etwa in Bezug auf die Farbphysik eine Diskrepanz, indem die Normalsprache das Farbspektrum lediglich an Farbnuancen wie etwa "hell" oder "dunkel" usf. festmachen kann, während Variablen mit ausdifferenzierten Farbcodes wie dem RGB-Farbraum bzw. Hex-Farbcodes belegbar sind. Genauso ist es in allen anderen Fällen auch, wenn es um die exakte Bestimmung von Sachverhalten geht. Entsprechend ist die Normalsprache zwar für menschliche Agenten probates Mittel der Wahl; doch damit ist sie für maschinelle Agenten noch lange nicht superior. Leibniz und Nachfolger würden vielmehr auf Montague (1970) entgegen, dass alles im Universum erst richtig auf Grundlage von Bits und Bytes bzw. logischer Atome und damit der formalen Logik gedacht ist. Tatsächlich lassen sich weder der infinitesimale Bereich noch der informatorische Kern des Prinzips kausaler Wirkbarkeit, somit auch keine komplexen Systeme auf Basis von Normalsprache sachgerecht fassen. Das gilt insbesondere, wenn diese nicht als Situations- und Ereignissemantik, sondern bei Sowa primär als *Alltagssprache* gedacht ist. Dabei bezieht sich diese schon auf einen anderen Grundstoff, nämlich im gegenständlichen Sinne auf Materie. Unter kosmologischer Maßgabe ist diese Ausdruckskraft also kaum gegeben, und sie gilt auch nicht für techno-wissenschaftliche Zwecke. Das zeigt: in Wahrheit ist selbst der späte Sowa eher im *Common Sense*, auf dessen Idee auch das ganze heutige *Cognitive Computing* abstellt. Es geht jedoch mit Popper (1972a) in Platon-Leibniz-Whiteheadscher Tradition um *Objective Knowledge*, mithin um *Scientific Ontologies*, und ohne diese lässt sich von *globaler Intelligenz* nicht sprechen. So gesehen ist die Ausdruckskraft der Normalsprache nicht superior, sondern inferior. Man sollte es so sehen: in Bezug auf Epik, Lyrik und Dramatik ist diese Ausdruckskraft tatsächlich gegeben, da wäre die exakte Logik geradezu fehl am Platze. Man kann sie insofern auch durchaus neben dem IoP-Aspekt unter jenem der Imagination in der Ontologiearchitektur berücksichtigen. Währenddessen wird diese Ausdruckskraft erkaufte zum Preis von Vagheit, Ambivalenz und Inexaktheit, während mit der Alltagssprache die naive Weltauffassung noch hinzukommt.

⁷¹⁴ Vgl. Sowa (2010: 232); vgl. dazu kritisch Sowa (2010: 241).

Vor allem aber besteht der Widerspruch nicht nur zu den Metaphysiken bzw. zu deren metaphysischen Logizismus, sondern vielmehr zugleich zum *Computing* als solchem. Denn sein Ursprung wie sein Elementargedanke besteht in der *formalen Logik* bei Leibniz. Insofern kreist die Ontologieauffassung Sowas um drei Problembereiche: (i) Normalsprache kann, selbst wenn sie nicht Alltagssprache ist, der Cyber-Physik und formalen Logik immer nur nachgeordnet sein, was bei Sowa so nicht praktiziert wird; (ii) Normalsprache ist systematisch unter das techno-wissenschaftliche Regime revisionärer Metaphysik zu stellen, wie es bei dem Quine- bzw. Whitehead-Schüler Davidson (1967) der Fall ist. Dies ist bei Sowa nicht gegeben, während sich erst der späte Sowa (2006d) konsequent Davidsons Ereignissemantik zuwendet; (iii) vor dem Hintergrund der ersten beiden Punkte irrt Sowa (2006d) in der Annahme, dass es bei den Unterschieden etwa zwischen dem wissenschaftlichen und praktischen Bereich allein um grammatikalische Unterschiede gehe, indem er auf die *Radical Construction Grammar* (RCG) bei Croft (2001) verweist. Vielmehr handelt es sich aus dem Grunde um disparate Welt- bzw. Ontologietypen, als sie *methodologisch* anders ausdifferenziert sind, etwa in Bezug auf Deduktion, Falsifikation bzw. entsprechend verschiedenartiger Wahrmacher. Dabei lässt sich gerade auch ihr hierarchisches Verhältnis nicht als grammatikalischer Sachverhalt einer Konstruktionsgrammatik fassen. Die Grundsätze des *Computing* finden sich nicht in der Linguistik, sondern in der Metaphysik, und zwar genau in *einer*, der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Alles *Computing* ist *Ontological Computing*, und seine Semantik ist allein von der *metaphysica generalis* her kosmologisch zu bestimmen.

Dass diese Zusammenhänge nicht nur Sowa nicht immer klar sind, sondern auch im Ganzen unklar sind, zeigt sich bei Strawson (1959, 1992). Dieser meint tatsächlich, dass cyber-physische Ereignisse, die beim Whitehead-Schüler Davidson (1967) nur linguistisch verpackt sind, in ihrer insgesamt Zulässigkeit *sprachphilosophisch* beurteilt werden könnten.⁷¹⁵ Auf *dieser* Basis gelangt Strawson (1992) dann zum Schluss, dass Davidsons Ereignissemantik "unrealistisch" und "nicht notwendig" sei.⁷¹⁶ Indem fast die gesamte AI-Forschung Strawsons (1959) abwegiger Idee der deskriptiven Metaphysik in unkritischer Weise folgt, erklärt sich auch mit Strawson (1992), dass die Ereignissemantik Davidsons mit Ausnahme Sowas (2006d) in der Informatik keine nennenswerte Rolle spielt. In Wahrheit aber liegen die Dinge völlig anders. Denn Strawson (1959) hat mit seiner deskriptiven Metaphysik weder Kant noch damit die revisionäre Metaphysik Whiteheads (1929a) auch nur im Ansatz verstanden. Und mit diesem Unverständnis kann Strawson (1992) die Bewandnis der 4D-Ereignissemantik des Whitehead-Schülers Davidson ebenso nicht verstehen. Die nicht zuletzt auch durch ihn eingeleitete linguistische Wende war eine fatale Wende, die durch eine erneute ontologische Wende zu revidieren ist. Dabei betrifft sie nicht nur fast die gesamte AI-Disziplin, sondern natürlich auch die Philosophie als solche.

⁷¹⁵ Wenn Sowa (2006d) auf Tenny/Pustejovsky (2000) verweist wird der Eindruck verstärkt, dass es um rein *sprachphilosophische* Überlegungen geht; vielmehr aber steht die Konsistenz allen Wissens in Frage.

⁷¹⁶ Vgl. Strawson (1992: 104).

Denn auf der Position Strawsons gründet, zumindest was ihre metaphysische Bewandnis anbelangt, ein entscheidender Teil der Analytischen Philosophie, die entsprechend mit Pkt. 5.5 einer kritischen Reflexion zu unterziehen ist. Das gilt umso mehr, als sich auch Sowas Position anfänglich durch einen ihrer Vorläufer bestimmt, indem der frühe Sowa in elementarer Weise auf dem späten Wittgenstein – und damit zunächst auf der deskriptiven Metaphysik aufsetzt. Um also die auf 4D-Basis zu denkende situations- bzw. ereignissemantische Variante der Normalsprache beim späten Sowa von der 3D-Grammatik der – genauso unter die Normalsprache fallenden – Alltagssprache des frühen Sowa hinreichend unterscheiden zu können, ist mehr erforderlich: Die Ontologie und Semantik der AI-Disziplin ist entsprechend strikt in die Leibniz-Whiteheadsche Kosmologie einzubetten, da ansonsten eine ontologische bzw. semantische Inkonsistenz auftreten würde.⁷¹⁷ Denn die Normalsprache wird durch Ontologen der Informatik für gewöhnlich als Alltagssprache ausgelegt. Es gilt »metaphysics constrains semantics« und somit "*AI is metaphysics*", was sich mit P.M. Simons (2006b: 95) insofern konkretisieren lässt, als die richtige Metaphysik der Informatik im Sinne Cyber-physischer Systeme (CPS) allein *revisionäre* Metaphysik ist. Diese ist zu den Struktur- und Erfahrungswissenschaften hin offen.

Wenn zwar das Problem globaler Intelligenz noch am ehesten auf Grundlage von Sowas Ontologie zu fassen ist, gilt es zunächst diese selbst zu verstehen, was nicht ganz einfach ist. Denn im Ganzen betrachtet verkörpert sie keineswegs eine konsistente Position; es handelt sich analog zu P.M. Simons um einen Pfad individueller wissenschaftlicher Entwicklung. Nur kommt Sowa nicht wie P.M. Simons von der Phänomenologie, sondern mit Wittgenstein – in der OLP-Linie von Moore, über den späten Wittgenstein zu Strawson – von einem zentralen Vorläufer der Analytischen Philosophie zu Whitehead. Dabei ist der Sachverhalt insofern verworren, weil damit eigentlich gleichzeitig auch die *deskriptive* Metaphysik strikt in die *revisionäre* Metaphysik zu transformieren gewesen wäre. Allerdings geschieht dies bei Sowa gerade nicht bzw. im Rekurs auf die Whiteheadschen Kategorien allenfalls fragmentarisch. Sowa übernimmt zwar die ereigniszentrische Perspektive Whiteheads, ist in Bezug auf deren grammatikalische Implikationen aber inkonsequent. Denn natürlich macht es einen Unterschied, ob im Whiteheadschen 4D-Sinne *Ereignisse* primär sind, oder aber im 3D-Sinne des späten Wittgenstein *Objekte*.⁷¹⁸ Entsprechend problematisch ist bei Sowa die Semantik als solche. Denn für den frühen wie den späten Sowa gilt zwar einheitlich der Primat der Normalsprache, während allerdings das, was darunter im Einzelnen verstanden wird, ganz erheblich evolviert: der frühe Sowa steht explizit im

⁷¹⁷ Sowa (1991h: 180) sind diese Inkonsistenzprobleme durchaus bewusst; jedoch reicht die Logik nicht aus, um sie auszuschließen. Vielmehr ist die Ontologiearchitektur durch Ontologie- bzw. Welttypen auszudifferenzieren, deren Geltung vom *objektiven Wissen* ausgehend hierarchisch strukturiert ist, vgl. Pkt. 3.5.

⁷¹⁸ Mit der Nähe zum Whitehead-Schüler Russell wiegen die Probleme in Bezug auf den *frühen* Wittgenstein weniger stark; dieser kommt jedoch erst mit Sowa (2010) ins Spiel. Dennoch sind sie natürlich auch hier gegeben, indem der frühe Wittgenstein (wie später Quine) zwar als Votum für naturwissenschaftliche Sätze zu verstehen ist, diese aber nicht wie bei Whitehead im metaphysischen Sinne auf eine rationempirische Universalsynthese samt metaphysischem Realismus gebracht werden.

Zeichen von Wittgensteins (1953) *Sprachspielen*.^{719,720} Vor ihrem Hintergrund geht es für Sowa um *semantische Netze*, wobei er sich auf das Ursprungskonzept Mastermans (1961) bezieht,⁷²¹ die wiederum Schülerin Wittgensteins ist. Wichtig erscheinen hier zwei Feststellungen: Für den frühen Sowa ist *Normalsprache* im Sinne Wittgensteins (1953) *Alltagsprache* ("ordinary language"),⁷²² während Wittgensteins Sprachspiele für ihn nicht zuletzt deshalb von Interesse sind, als Sowa eine explizite Gegenposition zum Cyc-Ansatz bezieht:⁷²³ »it represents the antithesis of a teachable system: instead of acquiring knowledge from natural language dialog, Lenat and his associates are entering it all by hand«. ⁷²⁴ Sowa geht es also im Sinne des durch IBM favorisierten *Cognitive Computing* um ein *lernfähiges AI-System*, und insofern sind Wittgensteins Sprachspiele wie die semantischen Netze Mastermans (1961) auch von direkter Relevanz. Sowa (1991b) stellt dabei nur auf den Lernaspekt ab, nicht aber auf eine andere Art von Semantik bzw. Wissen; Cyc-Wissen verkörpert explizit *Common Sense Knowledge*, und das ist bei Sowa letztlich nicht anders. Denn Sowa geht es explizit um "ordinary language",⁷²⁵ vor allem um "ordinary English" einschließlich seiner spezifischen Grammatik,⁷²⁶ nämlich um »[o]rdinary nouns, verbs, adjectives, and adverbs«. ⁷²⁷ Sowa (1991g) beschäftigt sich mit semantischen Interpretern, die auf Basis linguistischer bzw. lexikalischer Ontologien operieren. Das Ganze zielt also auf *Natural Language Processing* (NLP), das zwar einen IoP-bezogenen AI-Teilbereich darstellt, jedoch in seiner linguistischen Natur in keiner Weise den AI-Kern als solchen ausmachen kann. Insgesamt ist festzuhalten, dass der frühe Sowa von Wittgenstein (1953) ausgehend im OLP-Sinne auf Alltagsprache samt *Common Sense* fixiert ist,⁷²⁸ was der deskriptiven Metaphysik Strawsons (1959) entspricht.

Diese OLP-Fixierung gilt selbst dann, wenn bereits der frühe Sowa auf die Situationssemantik von Barwise/Perry (1981b, 1983) abstellt. Denn Sowa interpretiert diese kaum im physikalischen 4D-Sinne, wie sie im Rekurs auf Whitehead bzw. Russell bei Barwise/Perry explizit gemeint ist. Sowa bezieht die Situationssemantik vielmehr auf "ordinary English". Von Raumzeit ist bei ihm auch keine Rede; es geht etwa vielmehr um »a situation in which the cat was chasing the mouse«. ^{729,730} Beim frühen Sowa fehlt auch jeder Hinweis

⁷¹⁹ Vgl. Sowa (1991e; 1991f; 1991j: 75 f.).

⁷²⁰ Mit *Sprachspielen* meint Wittgenstein (1953: 16 f.) den Vorgang des Gebrauchs der Worte mitsamt des Erlernens dieses Gebrauchs.

⁷²¹ Vgl. Sowa (1991c, 1991e).

⁷²² Vgl. etwa Sowa (1991a).

⁷²³ Sowa (1991i: 221) hält darüber hinaus das [Cyc-] Ziel einer einheitlichen Ontologie, die alles Wissen abdeckt, für unerreichbar.

⁷²⁴ Vgl. Sowa (1991b: 188).

⁷²⁵ Vgl. Sowa (1991a: 3, 9).

⁷²⁶ Vgl. Sowa (1991c: 56).

⁷²⁷ Vgl. Sowa (1991a: 18; 1992b: 170).

⁷²⁸ Vgl. dazu auch Sowa (1984: 17 ff.).

⁷²⁹ Vgl. Sowa (1991a: 10).

⁷³⁰ Um ein weiteres Beispiel zu bemühen, das gänzlich im Zeichen der *konzeptuellen Graphen* steht: »John is the agent of going, a bus is the instrument, and Boston is the destination of going. To represent the past

auf die Whiteheadsche Metaphysik bzw. einer damit in Verbindung stehenden Semantik. Das ändert sich mit dem Aufkommen der TLO-Ansätze mit Sowa (1995) TLO-Kategorien, die wiederum auf der Basis der Whiteheadschen Metaphysik stehen. Mit ihnen wird seine Ontologie in die Variante des späten Sowa (2000) transformiert. Hier wird sowohl die *Situationssemantik* von Barwise/Perry als auch die *Ereignissesemantik* Davidsons umfassender adressiert, und die Semantik rückt insgesamt stärker in Whiteheads 4D-Kontext. Bei Sowa (2006d) ist die Normalsprache schließlich nicht mehr einfache 3D-Alltagssprache, sondern steht nunmehr explizit auf Basis der 4D-Ereignissesemantik des Quine- bzw. Whitehead-Schülers Davidson. Währenddessen vollzieht Sowa diese Wende nicht allein; vielmehr geht Masterman (1984) ihm damit einige Jahre voraus, und das im Bekenntnis zur revisionären Metaphysik weitaus konsequenter. Schon sie wendet sich bereits von ihrem Mentor Wittgenstein ab und Whitehead zu. Für die AI-Forschung ist es mehr als eine Randnotiz, dass sie diese Wende im Rekurs auf Haack (1979) wiederum explizit im Widerstreit zwischen der *deskriptiven* Metaphysik Strawsons (1959) und der *revisionären* Metaphysik Whiteheads (1929a) unternimmt. Noch bemerkenswerter ist, dass die AI-Disziplin mit der deskriptiven Metaphysik zu einem nicht geringen Teil noch immer an Mastermans (1961) *semantischen Netzen* festmacht, während Masterman (1984) selbst längst in gänzlich andere Sprachsphären entrückt ist, wenn sie abschließend diagnostiziert:

»In conclusion [...] I will only hazard one guess. This is that the further this new Whiteheadian model of language is technically developed, the more Whiteheadian, and not the less Whiteheadian, it will turn out to be. And that fact, in itself, has metaphysical implications.«⁷³¹

Was mit diesen *metaphysischen Implikationen* genau meint, bleibt bei Masterman (1984) galant ungesagt; kommt man auf den Anfang ihrer Ausführungen zurück, wo sie auf Haacks (1979) Position abstellt, wonach *deskriptive* und *revisionäre* Metaphysik als strikte Alternativen zu behandeln sind, ist es indes offensichtlich. Sie entwickelt auch die alternative Grundlegung der Sprache auf Whiteheadscher Basis in direkter Opposition zum ordinären Sprachmodell Strawsons (1959). Wenn nun im Grunde die gesamte AI-Ontologie auf der deskriptiven Metaphysik Strawsons (1959) gründet, dann steht die Tragweite von Mastermans Wende, die nach der linguistischen Wende als erneute ontologische Wende verstanden werden muss, außer Zweifel. Mit Blick auf ihre spezifische Expertise gilt das umso mehr.⁷³² Masterman führt damit nicht nur indirekt die Ontologie Grubers (1993, 1995) *ad absurdum*, indem diese prinzipiell auf Mastermans semantischen Netzen aufbaut. Auch betrifft es alle Top-level Ontologien, indem diese bis auf zwei Ausnahmen keine revisionären, sondern vielmehr deskriptive Metaphysiken verkörpern. Doch selbst

occurrence of this situation, the monadic relation PAST is attached to a *context* that encloses the entire graph«, vgl. Sowa/Way (1986: 58).

⁷³¹ Masterman (1984: 110).

⁷³² Auf Masterman geht nicht nur die Entwicklung semantischer Netze zurück, sondern sie wird in ihrer dreifachen Rolle als Philosophin, Linguistin und Vordenkerin der maschinellen Übersetzung allgemein als Autorität in der Computerlinguistik erachtet. Als direkte Schülerin Wittgensteins ist sie gegenüber jeder unbegründeten Kritik der deskriptiven Metaphysik unverdächtig; vielmehr wurde sie selbst in dieser metaphysischen Tradition ausgebildet.

die beiden revisionären Ausnahmen sind unhaltbar. Denn die eine, BWW, steht auf dem Fundament Bunes, das gerade als materialistische Antithese zu Whitehead und Popper gedacht ist. Natürlich scheitert Bunge damit grundsätzlich, indem die modernen Wissenschaften und Technologien das informatorische Moment des Whiteheadschen Antimaterialismus im cyber-physischen Sinne einfordern und auch insgesamt auf der Metaphysik Whiteheads stehen. Der andere "revisionäre" Fall ist die Sowa-TLO, die zwar in Richtung Whitehead korrigiert wird, dabei allerdings ihren Wittgensteinschen Kern nie verleugnen kann. Genauer besehen ist sie insofern inkohärent, als sie gar nicht in den eigentlich entscheidenden techno-wissenschaftlichen Modus der Whiteheadschen Metaphysik kommt. Vielmehr handelt es sich beim späten Sowa (2006d) im Grunde um eine neue Art von *Common Sense* auf Basis der 4D-Ereignissemantik des Whitehead-Schülers Davidson. Allerdings wird diese vom falschen Ende her entwickelt. Damit steht bei Sowa eine nicht richtig korrigierte Normalsprache im Fokus, während der methodologische Vollzug von *Scientific Ontologies* im Sinne Poppers keinerlei Rolle spielt. Sowa übersieht damit, dass beides im Zusammenhang steht, was als Leibniz-Whitehead-Popper-Konnex zu verstehen ist. Gesezt den Fall die Position Mastermans ist richtig, dann liegt die gesamte Ontologie bzw. Semantik der Informatik bereits schon in Bezug auf das *Normalsprachenargument* in Trümmern. Denn auch in dieser Sache setzt sie auf die falsche Metaphysik bzw. wird im Ausnahmefall Sowas die richtige Metaphysik weder überhaupt im *revisionären* Modus vollzogen, noch P.M. Simons' (2006b: 95) Postulat »metaphysics constrains semantics« in dieser revisionären Weise entsprochen.

Mastermans (1984) Position ist nicht nur in Bezug auf die *Normalsprache* aufklärend, sondern kann dann, wenn die AI-Disziplin daraus im Ganzen die Konsequenzen zieht, für sie auch bahnbrechend sein. Das betrifft speziell die Frage der Superintelligenz, indem diese auf Basis deskriptiver Metaphysik nicht realisierbar ist. Es gibt bis heute keinen AI-Ansatz, der der *revisionären* Metaphysik im Whiteheadschen Sinne des *Ratio-Empirismus* tatsächlich entspricht. Vor dem Hintergrund der Einbettung Cyber-physischer Systeme (CPS) in die Cyber-Physik wird das Erfordernis einer dritten AI-Generation somit unabdingbar. Kant hat nicht nur in Bezug auf den Agentengedanken, sondern gerade auch in Bezug auf das Metaphysikverständnis in der AI-Disziplin Gewicht. Bzgl. der epistemologischen Auslegung der Ontologie wie bzgl. der deskriptiven Metaphysik rechtfertigt sich die AI-Disziplin explizit mit Kant. Doch kaum ein AI-Forscher hat Kant wirklich verstanden, was nicht überrascht, wenn das auch nur bei ganz wenigen Philosophen oder philosophisch geschulten Physikern wie Einstein (1934) anders ist. Denn in Wirklichkeit läuft Kants (1781) Metaphysikkritik wie Kants (1783a) Prolegomena wissenschaftlicher Metaphysik darauf hinaus, dass die einzig zulässige Metaphysik die *revisionäre* Metaphysik ist. Vor diesem Hintergrund zielt die Ontologiearchitektur von CYPO/IMKO auf die Behebung dieser Fundamentaldefekte, indem sie die Ontologie unter dem Regime revisionärer Metaphysik konzipiert. D.h. genau so, wie sie mit dem Ursprungsparadigma der Informatik

auch auszulegen ist. Tatsächlich ist im Leibniz-Whiteheadschen Sinne bzw. ergänzend mit Popper strikt zwischen wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien zu differenzieren, wobei diese Reihenfolge streng hierarchisch zu verstehen ist. Zudem gibt es bei Kant nicht nur den Agenten als Subjekt, sondern auch einen objektiven Standpunkt, wie ihn die Metaphysik als "Zensoramt" zum Ausdruck bringt. Beides ist wiederum im Sinne des *Ratio-Empirismus* zu verstehen, womit die Metaphysik auf eine techno-wissenschaftliche *Metaphysik der Erfahrung* hinausläuft. Richtig umgesetzt ist sie nur bei Whitehead (1929a), und auf ihrer Grundlage wird deutlich, dass die AI-Disziplin und mit ihr die Informatik im Ganzen zwischen drei Intelligenztypen zu differenzieren hat: zwischen *lokaler*, *regionaler*,⁷³³ und *globaler* Intelligenz. Dabei sind die ersten beiden Typen im Grundsatz bzw. primär induktiv, während der letzte primär deduktiv ist. Zusammen entsprechen diese drei Intelligenztypen dem Ratio-Empirismus, der sich bei Leibniz zwar nicht in der Metaphysik, wohl aber in deren Kombination mit seiner *Scientia generalis* findet. Insofern wird dieser Ratio-Empirismus durch Kant proklamiert, durch Whitehead metaphysisch umgesetzt und durch Popper methodologisch ausgebaut.

Bei *globaler IoX-Intelligenz* geht es um mehr als um spezifische AI-Szenarien. Vielmehr ist ihre Bewandnis *universal*; sie zielt auf die digitalmetaphysischen Fundamente der Informatik mitsamt ihres AI-Kerns. In dieser Weise ist dieser zweite Teil zu verstehen: jedes IoX-Szenario, also auch etwa das Erdbebenfrühwarnsystem im *Internet of Geophysical Things* (IoGT), verkörpert mit Pkt. 2.1 ein *Real-Time Enterprise* (RTE). Dieses steht mit Pkt. 2.2 in einer *Smart Enterprise Architecture* (SEA), die wiederum mit Pkt. 2.3 maßgeblich durch die *Enterprise Ontology* (EO) bestimmt ist, und in ihrer Verknüpfung mit der Top-level Ontologie die *TLO-EO-Verkopplung* zur Realisierung globaler IoX-Intelligenz voraussetzt (Pkt. 2.4). Auch das in Pkt. 2.5 behandelte PPR-Framework ist in diesem universalen Sinne zu verstehen, indem es in jedem IoX-Szenario um die Koordination PSS-basierter Services, Prozesse und Ressourcen geht. Oder produktionstheoretisch um die prozessuale Transformation von Input via Throughput in Output. In dieser universalen Hinsicht wird klar, dass die *metaphysica generalis* gerade insofern unentbehrlich ist, als die meisten Teilgebiete der Disziplin nicht durchgängig konzipiert sind. Das betrifft nicht zuletzt die in Pkt. 3.2 ff. abgehandelte Rolle von Ontologien in integrierten IoX-Systemen, die mit Pkt. 3.2.4 eine Konvergenz der CM- und AI-Ontologieverständnisse impliziert. Der bisherige Zuschnitt der AI-Disziplin offenbart, dass die Mehrzahl der AI-Forscher nicht verstanden haben kann, dass es einen elementaren semantischen Unterschied zwischen superintelligenten maschinellen Agenten und menschlichen Agenten gibt. Dabei liegt dieser Unterschied in den Agenten- bzw. Automatenklassen mitsamt ihres divergierenden Intelligenz- bzw. Problemlösungsvermögens wiederum bei Leibniz und Whitehead begründet. Mit der exklusivistischen 4D-basierten Cyber-Physik ist die aktualisierte Fassung des

⁷³³ Regionale Intelligenz kann durchaus auch *überregional* sein, sich also auf den ganzen Schwarm von Agenten im Sinne der *Schwarmintelligenz* beziehen; wesentlich ist, dass sie im Grundsatz *induktiv*, nicht – wie globale Intelligenz – im Grundsatz *deduktiv* ist.

Leibnizprogramms durch letzteren entscheidend. Gilt es die Ontologie maschineller Agenten nicht rein auf symbolischer Logik, sondern auf Basis von Normalsprache zu fassen, was in Bezug auf die Bestimmung metaphysischer Kategorien wie Prozess, Ereignis, Situation usw. wesentlich ist, benötigen sie explizit eine 4D-basierte Situations- bzw. Ereignissemantik, die von der Metaphysik ausgehend zu entwickeln ist. Diese ist im Kern auf den Grundstoff *Information*, nicht auf den erst im naturwissenschaftlichen Zusammenhang hinzukommenden der Materie zu beziehen. Als solcher hat er auch den Grundsätzen *komplexer Systeme* zu entsprechen. Zweifellos muss die Semantik Cyber-physischer Systeme (CPS) CPS-adäquat sein. Doch das ist die Semantik der Alltagssprache nicht. Umgekehrt gilt, dass *Common Sense*, der am Grundstoff Materie festmacht und im Ganzen CPS-inadäquat ist, jenseits des Menschverstehens bzw. HCI-Aspekten für die eigenen Zwecke maschineller Agenten nutzlos ist. Genauso wenig bedürfen sie selbst des "*ordinary English*".

Dass neben allen anderen Ontologen der Informatik auch Sowa an den Erfordernissen echter Superintelligenz scheitert, induziert bereits seine Fehlinterpretation von Peirces Term "*scientific intelligence*". Natürlich ist es unrichtig, wenn Sowa (2006d: 62) annimmt, dass damit »any intellect capable of learning from experience, among which he included dogs and parrots« gemeint sei. Richtig ist vielmehr, dass zwar die Intelligenz (und damit das Lernen) im Leibnizschen Sinne bei Peirce universal erschlossen wird, jedoch steht die "*scientific intelligence*" in der *wissenschaftlichen* Metaphysik Peirces gewiss in einem anderen Zusammenhang: Es geht um die "*scientific inquiry*" und ihre Hypothesenbildung. Sie ist natürlich nur dem *Animal rationale* bzw. Artifiziereller Intelligenz als *Superintelligenz* vorbehalten. Letztlich führt bereits dieses Missverständnis auch Sowas Ontologiearchitektur *ad absurdum*, indem sie damit nicht ihren eigentlichen metaphysischen Grundlagen entsprechen kann. Denn mit "*scientific intelligence*" ist bei Peirce – wie bei Whitehead oder Popper – bzw. im Grundsatz bei Leibniz eine völlig andere Intelligenz gemeint. Es geht um die *reflexive Intelligenz*,⁷³⁴ auf die es gerade bei *globaler Intelligenz* ankommt. Sie ist im Popperschen Sinne deduktiv, was im Kontext etwa der *Big Data Analytics* (BDA) für die Informatik insofern von direkter Relevanz ist, als diese nicht zuletzt auf Basis genau solcher deduktiven Hypothesen zu vollziehen ist. Es geht um Induktion und Deduktion, um lokale bzw. regionale und globale Intelligenz. Doch zwischen diesen drei Modi unterscheidet Sowa nicht. Auch spielt bei ihm der Whiteheadsche *Ratio-Empirismus* bzw. die Durchgängigkeit zu den Wissenschaften und Technologien keine Rolle, was wiederum zeigt, dass seine Metaphysik keine *revisionäre Metaphysik* im eigentlichen Sinn ist. Es geht bei ihm nicht um die *Theorie komplexer Systeme*, nicht um "*New Physics*", nicht um

⁷³⁴ Mit *reflexiver Intelligenz* ist hier insofern etwas anderes gemeint als bei G.H. Mead (1934), als es um *globale Intelligenz* im kosmologischen Leibniz-Whiteheadschen Sinne geht. Was den natürlichen Agenten anbelangt, gibt es diese *reflexive Intelligenz* natürlich auch, wobei G.H. Mead in diesem Sinne *lokaler Intelligenz* des *Subjekt-Superjekts* explizit im Schema der *Metaphysik der Erfahrung* Whiteheads steht. Vgl. dazu G.H. Mead (1938); hier wird neben der dezidierten Auseinandersetzung mit Whitehead auch seine kosmologische Perspektive übernommen; vgl. dazu ergänzend G.A. Cook (1979).

Cyber-Physik. Damit lassen sich jedoch auch die Cyber-physischen Systeme der Informatik auf Basis seines Ontologieverständnisses kaum adäquat fundieren.⁷³⁵

Dass Sowa das Leibniz-Whitehead-Programm weder konsequent verfolgt noch wirklich verstanden haben kann, wird deutlich, wenn sich der späte Sowa (2010: 244 ff.) schlussendlich wieder an einem Neo-Wittgensteinschen Ansatz versucht, während er gleichzeitig am (fehlinterpretierten) Whitehead festhält. Allerdings übersieht Sowa, dass er mit Wittgenstein wieder in der *deskriptiven* Metaphysik ist, die mit der *revisionären* Metaphysik Whiteheads konfligiert.⁷³⁶ Dabei geht es nicht nur um die problematische Alltagssprache; vielmehr sollte dies auch vor dem Hintergrund jenes Teils der analytischen Philosophie gesehen werden, der wesentlich auf Wittgenstein fußt, indem insbesondere auch dieser dem Anspruch einer *wissenschaftlichen* Philosophie nicht gerecht wird.⁷³⁷ Das umso mehr, als die Cyber-Physik nur mit Whitehead konform geht und darüber hinaus nur mit einem modernen Physikverständnis, das am Prinzip kausaler Wirksamkeit, am universalen Informationsmoment, an relationalen Strukturen, an Komplexität usf. festmacht. Auf Basis eines universalen bzw. kosmologischen Evolutionsprinzips geht es im Whiteheadschen Sinne um Komplexitätsphysik bzw. um die Physik der Evolutionsprozesse, nicht um jene veraltete Physik, mit der *Common Sense* korrespondiert. Analog verhält es sich in Bezug auf alle anderen Domänen.

Der entscheidende Gegensatz zwischen deskriptiver und revisionärer Metaphysik, an dem Masterman (1984) im Rekurs auf Haack (1979) festmacht, wird durch Sowa nie aufgearbeitet. Erst Sowa (2006d: 59 f.) setzt sich vor dem Hintergrund der Kritik Reschers (1962) überhaupt mit Strawson (1959) auseinander, dann aber auch nur oberflächlich, nicht jedoch im Hinblick auf den Gegensatz von deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik. In der Missachtung ihrer Relevanz ist das eigentliche Problem zu sehen, und das gerade auch, wenn es um den Aspekt *globaler Intelligenz* geht. Einen halben Whitehead gibt es nicht; seine Kombination mit der deskriptiven Metaphysik, auf die Sowas Ontologie letztlich hinausläuft, ist im Sinne Haacks (1979) unzulässig. Indes schwankt Sowa erheblich zwischen beiden metaphysischen Positionen: Der frühe Sowa ist komplett bei Wittgenstein; Sowa (1995) stellt demgegenüber richtig auf die elementare Bedeutung der *Top-level Kategorien* ab, die er explizit von Peirce und Whitehead herleitet. Allerdings zeigt sich das ratio-empirische »interplay between science and metaphysics«, in dem diese Kategorien bei Whitehead stehen, bei Sowa keinesfalls richtig umgesetzt. Was richtig ist, bringt P.M. Simons' (2006b: 95) »metaphysics constrains semantics« zum Ausdruck. Denn dies bezieht sich in korrekter Weise auf die *revisionäre* Metaphysik Whiteheads. D.h. die Semantik ist von der techno-wissenschaftlichen Metaphysik herzuleiten, deren empiristische

⁷³⁵ Indes findet sich bei Sowa (2000) der Gedanke der *Perzeption* bzw. *Sensorik*; Roboter stehen in Datenströmen bzw. auf Basis der Robotik-Kompetenzebenen bei Brooks (1986) in *subsymbolischen* Prozessen.

⁷³⁶ Sowa (1996) nutzt den Whiteheadschen *Prozessgedanken* im Grunde ausschließlich, um den *Common Sense* auf Basis von Alltagssprache realistischer zu definieren. Das geht an der Whiteheadschen Realitätsauffassung jedoch komplett vorbei. Bei Sowa (1996) kann der *primäre* AI-Ansatzpunkt nicht liegen.

⁷³⁷ Vgl. Mulligan/Simons/Smith (2006: 63); vgl. dazu im Einzelnen Pkt. 5.5.

Universalsynthese rational reflektiert wird, wie es dem Ratio-Empirismus entspricht. Im Kategoriensystem wird diese Reflexion fixiert, an dem wiederum alle Aussagensysteme in fundamentaler Hinsicht festmachen. Umgekehrt gilt es mit Gracia (1999: 156) im zirkulären Sinne zu prüfen, »how knowledge fits within the most general categories and is related to them«. Damit wird deutlich, dass die *Knowledge Ontology* der Informatik unmittelbar in der metaphysischen Ontologie verankert ist, während die techno-wissenschaftliche Metaphysik umgekehrt als transdisziplinäres Unterfangen im Leibniz-Whiteheadschen Sinne der formalen Wissensrepräsentation bedarf.

Insofern sind Philosophie und Informatik keine Fremdkörper, sondern sie bilden eine metaphysische Einheit. Das gilt sowohl unter dem realistischen Gesichtspunkt der Cyber-Physik bzw. des Automatenuniversums als auch in semantischer Hinsicht, die von diesem realistischen Standpunkt zu erschließen ist. Entsprechend sind Daten und Informationen im Sinne der Automatentheorie universal auszulegen, während Wissen auf eine transdisziplinäre Repräsentation zielt, die im Sinne der Referenzontologien zuvorderst dem objektiven Standpunkt verpflichtet ist. Vor diesem Hintergrund übernimmt die *Top-level Ontologie* eine Scharnierfunktion, indem sie die metaphysischen Kategorien in die oberste Referenzebene der Informatik transformiert. Dabei gilt diese Referenzebene universal für den CM- wie AI-Konnex. Das macht wiederum die für Superintelligenz erforderliche Integrationsleistung aus. Die Metaphysik ist hierbei insofern revisionäre Metaphysik, als sich jede empiristische Universalsynthese *prinzipiell* in langen Zeitabläufen ändern kann, wie es beim Übergang von der klassischen Physik zur "*New Physics*", bzw. von den Cartesisch-mechanistischen Wissenschaften zu Whiteheads organismischen Wissenschaften und Technologien feststellbar ist. Indem die gegenwärtige empiristische Universalsynthese mit Pkt. 4.1, Pkt. 4.2 sowie Pkt. 4.3 in der *Theorie komplexer Systeme* zu erachten ist, auf der letztlich die gesamte moderne Wissenschaft steht, ist evident, dass sich die Kategorien der Whiteheadschen Komplexitätsmetaphysik nicht so schnell wieder ändern werden. Ungeachtet dessen ist für Whitehead das *prinzipielle* Moment dieser Offenheit entscheidend, worin in der Tat der essentielle Aspekt des kategorialen Realitätsbezugs gegeben ist:

»[I]n the development of intelligence there is a great principle which is often forgotten. [...] We must be systematic; but we should keep our systems open. In other words, we should be sensitive to their limitations. There is always a vague beyond, waiting for penetration in respect to its detail.«⁷³⁸

Vor dem Hintergrund der modernen Wissenschaften, die in richtiger Auslegung nicht auf multidisziplinären Konzepten, sondern auf den *transdisziplinären* Prinzipien der Whiteheadschen Kosmologie bzw. Komplexitätsmetaphysik gründen, wird klar, wie P.M. Simons' (2006b: 95) »metaphysics constrains semantics« konkret zu verstehen ist. Die Semantik ist kosmologisch und damit transdisziplinär auszulegen, wie es Mainzer (1993, 2012) vor dem Hintergrund einer *integrativen Wissenschaft* im Zeichen Leibnizens fordert. Natürlich lässt sich keine Transdisziplinarität herstellen ohne transdisziplinäre Semantik, die es jedoch auf AI-Basis heute gar nicht gibt. Entgegen vielfacher Annahme kann eine

⁷³⁸ Whitehead (1938: 6).

moderne Semantik weder aus den multidisziplinären Einzelwissenschaften kommen,⁷³⁹ noch auf *Common Sense* gründen. Die Kernsemantik der Informatik kann weder der DBpedia Ontology (DBPO) noch WordNet als lexikalisch-semantisches Netz englischer Sprache entnommen werden. Doch das setzen Sowas (1991g) *Semantic Interpreter* bzw. dessen Nachfolger des in seiner gegenwärtigen Form nicht mit Leibniz konform gehenden *Cognitive Computing* genau voraus. Tatsächlich kommt nach Sicht Sowas die eigentliche Wortbedeutung aus dem *Dictionary*, wie es dem Gedanken des *Common Sense* bzw. des "ordinary English" entspricht:

»[E]very system that develops some kind of semantic interpretation for natural language needs such a dictionary. For each word, the dictionary provides a small graph, called a canonical graph, that is associated with that word.«⁷⁴⁰

Sowas (1991g) *Semantic Interpreter* basiert wiederum auf diesen normalisierten Graphen: »a semantic interpreter can use canonical graphs from the lexicon as building blocks for reconstructing the meaning of a sentence«.⁷⁴¹ Allerdings ist seine Position insofern mit P.M. Simons' (2006b: 95) »metaphysics constrains semantics« inkonsistent, als es sich nur im letzten Fall um eine *revisionäre* Metaphysik handelt, die gegenüber allen techno-wissenschaftlichen Disziplinen durchgängig ist. Ihre universale Semantik transzendiert alle Disziplinen, indem diese durchgängig auf die *Top-level Ontologie* als "ontological backbone" zu referenzieren haben. Erst dieses lässt sich dann in konformer Weise disziplinär semantisch ergänzen. Daraus folgt, dass die generelle AI-Semantik nicht etwa einem normalisierten *Common Sense* entsprechen kann, was wiederum zur Einsicht führt, dass auch Sowa mit seinem Semantik- bzw. Ontologieverständnis am falschen Ende ansetzt. Ungeachtet seines Rückgriffs auf Whiteheads Kategorien gilt auch für ihn: »the linguistic tail wagging the ontological dog«. Dennoch halten es gegenwärtig nur ganz wenige AI-Forscher für problematisch, dass die AI-Kernsemantik nicht im Whiteheadschen Sinne von der ratio-empirischen Metaphysik her entwickelt wird. Vielmehr nehmen sie fast ausnahmslos mindestens implizit dazu eine Gegenposition ein, indem sie sich mehr oder weniger komplett an der deskriptiven Metaphysik orientieren. Diese wird dabei oftmals auch mit der phänomenologischen Position verbunden.⁷⁴² Demnach gilt die deskriptive Metaphysik dann nicht nur für die erste, sondern auch für weite Teile der zweiten AI-Generation. Damit wird die Frage der in Pkt. 3.3.2 aufgegriffenen OE-Ansatzpunkte für die transdisziplinäre Wissensrepräsentation elementar. Denn diese hat insofern unmittelbar etwas mit dem Moment globaler Intelligenz zu tun, als für superintelligente maschinelle Agenten eine echte *Einheit der Erkenntnis* nur auf Basis realistischer Ontologie realisierbar ist. Auf Basis einer *Common Sense Reality* ist diese natürlich nicht erreichbar; denn diese Einheit ist im verstehenden Sinne kosmologisch gemeint, nicht auf Basis naiver Weltauffassung, die alle tiefergehenden Hintergründe außer Acht lässt. Im Allgemeinen sind gerade diese

⁷³⁹ Vgl. exemplarisch Vromen (2004), der *revisionäre* Ontologie *quer-* bzw. *multidisziplinär* versteht.

⁷⁴⁰ Sowa (1991a: 26).

⁷⁴¹ Vgl. Sowa (1991g: 121).

⁷⁴² Vgl. etwa Kabbaj et al. (2006).

im techno-wissenschaftlichen Sinne entscheidend, kaum das, was oberflächlich naheliegender erscheint oder auf brüchigen Annahmen überliefert ist. Hier kommen erneut die Positionen von Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer ins Spiel, die im Rahmen des *Frame Problem* unter Pkt. 1 erörtert wurden. Dabei wird mit Blick auf die folgende Differenzierung von AI-Stufen deutlich, dass die Position von Hayes/Ford mit Superintelligenz nicht konform geht, während Fetzer zumindest das techno-wissenschaftliche Moment adressiert:

»Fetzer is concerned with the classical scientific problem of how to describe processes of change in the actual world. He is after the facts. Our aim is more like that of psychology: it's focus is not the world, but people's everyday beliefs about the world.«.⁷⁴³

Kosmologisches Tiefenverständnis ist etwas anderes als semantische Interpretation. Mit letzterem erlernt ein Automat eine *linguistische* Semantik; im besten Fall hat er damit die Semantikstruktur als solche verstanden, aber auch nicht mehr. Selbst den *Common Sense* erlernt ein lernendes AI-System allein auf diese *linguistische* Weise, was auch gar nicht anders geht, solange die Theorien nicht auf einem einheitlichen metaphysischen Fundament entwickelt werden. Ein tatsächlich reflexives AI-System müsste das erlernte Wissen in den Kontext einer umfassenden Basis echter *Scientific Ontologies* setzen können, um es selbst umfassend zu reflektieren. Das würde in etwa der Whitehead-Popperschen Idee von *Cognitive Computing* entsprechen, während das, was darunter gegenwärtig verstanden wird, dieser Bezeichnung kaum wirklich gerecht werden kann. Wäre eine solche Reflexion durchführbar, würden sich schnell elementare Probleme zeigen: Insbesondere ist es unmöglich, auf Basis der objektzentrischen 3D-Grammatik der Alltagssprache die ereigniszentrischen 4D-Sachverhalte der "*New Physics*" zu erfassen. Genauer besehen können solche AI-Systeme überhaupt nicht die Sichtweisen der modernen Physik wie der übrigen Wissenschaften auf ihrem gegenwärtigen Stand verstehen. Denn dazu müsste zunächst die *Theorie komplexer Systeme* im Ganzen verstanden sein, was auf Basis der 3D-Grammatik indes genauso unmöglich ist. Und dann wird man nicht umhinkommen einzusehen, dass dieser Ansatz im Ganzen CPS-inadäquat und damit für die Informatik inakzeptabel ist.

Allerdings gibt es solche *Scientific Ontologies* im *Common Sense* gerade nicht; denn er beschränkt sich gerade nicht auf eine enge Realität sozialer Artefakte, was in einer nachrangigen Behandlung unproblematisch wäre. Vielmehr besteht das Problem darin, dass er im Zeichen der *Naïve Physics* usf. Anspruch auf die ganze Realität erhebt; er reduziert diese insgesamt zur *Common Sense Reality*. Das heißt ungefähr so viel, dass komplizierte, schwer verständliche Sachverhalte, die hier bewusst ausgeblendet werden, etwa umfassende komplexe Wechselwirkungen, auch tatsächlich in der Realität gar nicht vorkommen. Zumindest lassen sie sich auf einer solchen Wissensbasis nicht richtig einordnen, womit ein Roboter diese auch bei seinen Aktionen bzw. Reaktionen nicht berücksichtigen kann. Auch wird das Wissen, etwa physikalisches Wissen, keiner methodologischen Prüfung unterzogen, denn auch das widerspricht dem Gedanken des *Common Sense*, der im Kern ein rein linguistischer Gedanke ist. Vielmehr gilt die defekte Harmonie-These; danach ist das

⁷⁴³ Vgl. Hayes/Ford (1993b).

richtig, was sich im Konsens des Alltagsverstands als richtig herausgestellt hat bzw. als solches erachtet wird. Es gibt indes keine Gewähr, dass das AI-System den realen Zusammenhang mit dieser Wissensbasis faktisch zutreffend erfasst. Somit entspricht sie ungefähr dem Gegenteil dessen, was der Kritische Rationalismus unter *objektivem Wissen* versteht.

Deep Learning ist dann unproblematisch, wenn es sich im strukturalistischen Sinne direkt auf die Realität bezieht; im Fall der Semantik und des *Common Sense* liegen die Dinge jedoch etwas anders. Auch hier ist es unproblematisch, solange es um das Menschverstehen geht, also darum, die Sprachwelten von menschlichen Agenten bei Alltagsverstand zu erlernen. Problematisch wird Deep Learning im Kontext des *Frame Problem*, wenn Hayes/Ford (1993b) und die ganze AI-Forschung auf Grundlage von *Common Sense* ein *Autonomic Computing* zulassen wollen, und sie auf dieser Basis als *cyber-physische "Reality Machines"* physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind. Damit wird deutlich, dass Deep Learning gerade im ontologischen Zusammenhang gewiss seine Grenzen besitzt; es ist zwar als solches unverzichtbar, indessen mit Pkt. 6.3 keinesfalls allein ausreichend. Sowa irrt in der Annahme, dass alles Wissen in einer einzigen *Knowledge Soup* verborgen liegt.⁷⁴⁴ Denn damit behandelt Sowa wiederum die Semantikstrukturen im rein grammatikalischen bzw. linguistischen Sinne. In Wahrheit müssen jedoch die Semantikstrukturen auf die metaphysischen Strukturen weisen. Entsprechend ist strikt zwischen verschiedenen Arten des Wissens zu differenzieren, womit im Zeichen Poppers die *metaphysische* Abgrenzung distinkter Welttypen erforderlich wird. Dabei ist zu beachten, dass es eine strenge Hierarchie in der Qualität des Wissens und entsprechend im Vorrang der Semantik gibt. Das wiederum zeigt, dass Sowa der Natur des Wissens auch insofern nicht gerecht wird, als unterschiedliche Wissenstypen auch methodologisch anders verankert sind. Sie besitzen etwa andere Wahrmacher, und diese lassen sich nicht aus der linguistischen *Knowledge Soup* herausfischen. Nimmt man diesen methodologischen Aspekt ernst, wird klar, dass Poppers (1972a) *objektives Wissen* für kausal in die cyber-physische Realität eingebettete Agenten qualitativ das beste allen Wissens ist. Demgegenüber benötigen sie *Common Sense* nur dann, wenn sie im CPST-Hyperspace mit menschlichen Agenten interagieren. Dann müssen sie auf dieses Niveau herunter, um menschlichen Alltagsverstand zu verstehen und mit diesem semantisch interoperabel kommunizieren zu können. Genauso irrt Sowa insgesamt, wenn er meint, die AI-Kernsemantik primär aus der Normalsprache ableiten zu können. Das geht wiederum darauf zurück, dass sich das heutige *Cognitive Computing* auf die falsche Agentenklasse bezieht: Es macht elementar an menschlichen Agenten und deren spezifischen Eigenheiten fest, obschon es in der AI-Forschung eigentlich um eine ganz andere Agentenklasse geht. Dass Sowa ein noch weniger adäquates AI-Verständnis als jenes unter Pkt. 1 behandeltes von Hayes/Ford besitzt, wird daran deutlich, dass er auch hier am falschen Ende ansetzt, nämlich am unteren, nicht am oberen Ende der AI-Intelligenzvermögen. Indessen lassen sich alle wesentlichen konzepti-

⁷⁴⁴ Vgl. Sowa (1991f).

onellen Aspekte der AI-Disziplin, insbesondere ihre Ontologiefrage, allein vom oberen Ende her sachgerecht erschließen. Auch das wird wiederum erst auf digitalmetaphysischer Basis richtig nachvollziehbar.

Das obere wie das untere Ende bestimmt sich dabei über das Grundverständnis Artificieller Intelligenz; im Allgemeinen werden dabei drei gängige Stufen von AI-Intelligenz abgegrenzt, nämlich: (i) *Artificial Narrow Intelligence* (ANI), (ii) *Artificial General Intelligence* (AGI), sowie (iii) *Artificial Superintelligence* (ASI). Ad (i) *Artificial Narrow Intelligence* (ANI) ist jenes Intelligenzvermögen, bei dem die Maschinenintelligenz in einem spezialisierten Bereich menschlicher Intelligenz gleichkommt bzw. diese übertrifft. Die maschinelle Übersetzung lässt sich als Beispiel für ANI-Intelligenz anführen. Mit seiner elementaren Fixierung auf Wittgensteins (1953) *Sprachspiele*, die "ordinary language" sowie Mastermans (1961) *semantische Netze* ist Sowa genau hier zu verorten. Denn Sowas (1991g) *Semantic Interpreter* entspricht nur einem dieser spezialisierten Bereiche, während andere, etwa die Bild- oder Mustererkennung, damit wenig zu tun haben. Ad (ii) *Artificial General Intelligence* (AGI) repräsentiert ein Intelligenzvermögen, das quer durch die Bank alle Aufgaben erfüllen kann, die einem menschlichen Agenten bei Alltagsverstand entsprechen. AGI-Intelligenzvermögen ist das, was Hayes/Ford (1993b) im Kontext des *Frame Problem* vorschwebt, indem ihr Ziel in einem »artificial human-level thinker« besteht. Umgekehrt betrachtet kommt dieser maschinelle Agent aber auch nicht über menschliche Intelligenz hinaus. Genau das wird bei AI-basierten *komplexen Systemen* zum Problem, um die es bezeichnenderweise bei Hayes auch nicht geht. Allerdings ist mit den CPS/SEA- bzw. MAS/CAS-Momenten, in denen sich AI-Agenten bewegen, klar, dass darin ein Trugschluss besteht. Dabei wäre auf Grundlage der Digitalmetaphysik Whiteheads (1929a) von vornherein klar gewesen, dass es im Sinne der darauf gründenden Automatentheorie genau um diese komplexen Systeme gehen muss. Das umso mehr, als die eigentliche breite AI-Forschung im Grunde mit Shannon/McCarthys (1956) *Automata Studies* als Ergebnis der *Dartmouth-Konferenz* beginnt, und selbst Bunge (1973: 154) die metaphysische Qualität und universale Anwendbarkeit der Automatentheorie preist.⁷⁴⁵ Allerdings haben nur wenige verstanden, dass ihre eigentliche Idee keineswegs von J. von Neumann et alii, sondern selbst in der speziellen Auslegung *selbstreproduzierender Automaten* von Whitehead stammt, der das Automatenuniversum Leibnizens insbesondere im Sinne von Hegels kosmologischen Evolutionsgedanken einer organismischen Transformation unterzieht.⁷⁴⁶ Auf Basis der Digitalmetaphysik hätte auch die Automatentheorie richtig aufgesetzt werden können, nämlich im Whiteheadschen Sinne zellulärer Automaten. Diese implizieren wiederum, dass sie prototypisch als komplexe Systeme auszulegen sind, wie es Whiteheads Komplexitätsmetaphysik im Ganzen entspricht. Sind *komplexe Systeme* im Spiel, ist auf

⁷⁴⁵ Allerdings versteht Bunge nicht, dass ihr metaphysischer Kern in Leibnizscher Tradition bei Whitehead liegt, und dies gerade dessen Antimaterialismus begründet. Insofern hätte Bunge (1977a) sich auch seine materialistische Alternative zu Whitehead sparen können.

⁷⁴⁶ In Teilen finden sich diese Ideen bereits bei Kant und dem frühen Schelling, vgl. Pkt. 4.2.

AGI-Basis keine *reflexive Intelligenz* in Echtzeit möglich. Das gilt nicht zuletzt für den Standpunkt globaler Intelligenz. Indem die AI-Forschung heute primär an AGI-Intelligenz festmacht, wird das Wechselspiel von komplexen Systemen und globaler Intelligenz gemeinhin nicht adressiert.

Ad (iii) *Artificial Superintelligence* (ASI) bildet das obere Ende aller Intelligenzvermögen. Es handelt sich um jene Intelligenz, die über AGI-Intelligenz maßgeblich hinausgeht. Dabei wird *Superintelligenz* hier – anders als etwa bei Bostrom – strikt im Leibniz-Whiteheadschen Sinne der Digitalmetaphysik verstanden. Dementsprechend bestehen zwischen dem Verständnis von *Superintelligenz* der zweiten AI-Generation, wie es sich etwa bei V.C. Müller/Bostrom (2016) findet, und der hier entwickelten Sichtweise wesentliche Unterschiede. Denn der Oxford-Philosoph Bostrom beschäftigt sich zwar mit Superintelligenz, bezieht diese aber nicht auf die metaphysischen Grundlagen der Informatik bzw. ihres AI-Kerns. Insofern wird ein neues Verständnis von *Superintelligenz* erforderlich, das mit Pkt. 6.3 der dritten AI-Generation verpflichtet ist. Superintelligente maschinelle Agenten sind "Leibnizsche Agenten"; d.h. solche, die prinzipiell eine universale, kosmologische Perspektive besitzen. Das setzt indes die Lösung des Transdisziplinaritätsproblems und damit des in Pkt. 1.2 dargelegten Inkommensurabilitätsproblems als Kernproblem voraus. Bei dieser höchsten Form maschineller kognitiver Agenten handelt es sich um eine Agentenklasse, die mit ihrem Intelligenz- bzw. Problemlösungsvermögen *prinzipiell* oberhalb jener menschlicher Agenten steht. Auch innerhalb von Superintelligenz gibt es Abstufungen; das höchste Moment ist dabei fiktiv und unerreichbar; es ist die totale Rationalität. Werden superintelligente maschinelle Agenten adäquat ausgelegt, kann es keine Barrieren mehr geben, die menschliches Denken in jeder ausdifferenzierten Technologie- und Wissenschaftspraxis kennzeichnet. Denn selbst das Spezialisierungsargument hat seine Ursache letztlich in kognitiven Beschränkungen. Die Probleme der Praxis nehmen weder auf solche künstlichen Abgrenzungen noch auf die kognitive Begrenztheit von Agenten Rücksicht. Insofern sind maschinelle Agenten potentiell die besseren Problemlöser, vorausgesetzt, sie werden im Sinne "Leibnizscher Agenten" konzeptionell richtig aufgesetzt.

Globale Intelligenz zielt prinzipiell auf die *Einheit der Erkenntnis*, ganz gleich, auf welche Domäne sich diese erstreckt bzw. wie weit oder eng diese gefasst ist. Demnach setzt sie jeweils eine *Einheit des Wissens* voraus. Kosmologisch weist die Einheit der Erkenntnis auf eine fiktive, letztlich nie erreichbare totale Rationalität. Sie ist deshalb unerreichbar, weil für alle Agentenklassen alles Wissen, nicht nur das subjektive, sondern selbst das objektive fehlbar ist. Es gilt nur, solange es nicht falsifiziert ist. Will die AI-Disziplin das Moment globaler Intelligenz berücksichtigen, auf das es bei AI-Systemen letztlich immer ankommt, muss sie umdenken. Denn dann ist die gesamte Agententheorie anders zu verstehen: im Popperschen Sinne ist dem expliziten, nicht dem impliziten Wissen – wenn immer möglich – Vorrang einzuräumen. Analog ist dem objektiven Wissen immer Vorrang vor intersubjektivem bzw. subjektivem Wissen zu geben. Indessen kommt die *Natur des*

Wissens in der bisherigen AI-Forschung viel zu kurz, obschon im Wissen der eigentliche Kulminationspunkt der AI-Disziplin wie der Informatik besteht. Intelligenz ist zwar nicht Wissen; im Allgemeinen weist sie vielmehr auf Neuronen und Synapsen. Wird Intelligenz im Leibnizschen Sinne universal ausgelegt, gibt es eine Reihe von Automatenklassen, die intelligent sind, aber mit Wissen gar nichts zu tun haben. Das ist bei einem universalen Intelligenzverständnis zu berücksichtigen, und in genau dieser Hinsicht weist jenes der zweiten AI-Generation seit den Vorarbeiten von H.L. Dreyfus (1972, 1979) mit *neuronalen Netzen* auch in die richtige Richtung. Dennoch kann Künstliche Intelligenz auch in definitorischer Hinsicht nicht allein am ANN-Aspekt bzw. an Neuronen und Synapsen festmachen. Tatsächlich hat die AI-Disziplin in den Anfängen, d.h. in der ersten AI-Generation darunter auch etwas ganz anderes verstanden. Sie hat nämlich Intelligenz als Handlungs- bzw. Problemlösungsvermögen von Agenten definiert. Intelligenz macht hier nicht an Neuronen und Synapsen fest, sondern an der symbolischen Repräsentation, und letztlich konkret am Wissen bzw. der Wissensrepräsentation. Was ist also Intelligenz in der AI-Disziplin? Hat das Intelligenzverständnis jenem der ersten oder der zweiten AI-Generation zu folgen? Die richtige Antwort ist: weder noch. Vielmehr ist Intelligenz mit Mainzer (2016c) als Problemlösungsvermögen zu definieren, was eine Symbiose zulässt.

Von Mainzer (2016c) ausgehend ist Intelligenz in der dritten AI-Generation im Sinne hybrider Agentenarchitekturen in einer dualistischen Weise zu verstehen: Leibnizsche Automaten lassen sich in der Intelligenzfrage allein auf Basis neuronaler Netze in universaler Weise fassen, wenngleich sie alle im Grundsatz logischen Regeln folgen: Wie erwähnt, gibt es niedrigere Automatenklassen, die Intelligenz aufweisen, ohne dass in irgendeiner Form von Wissen gesprochen werden kann. Sie sind intelligent, wissen aber nichts. Sie wissen nicht einmal, dass sie intelligent sind. Denn sie besitzen keine reflexive Intelligenz. Bestimmte höhere kognitive Automatenklassen weisen demgegenüber diese reflexive Intelligenz auf; sie sind dann gesondert als "Leibnizsche Agenten" zu differenzieren. "Leibnizsche Agenten" sind *per se* superintelligent, indem sie notwendig über AGI-Intelligenz hinausgehen. Denn diese beruht wesentlich auf *Common Sense*, der bei Leibniz, wie bei Whitehead und Popper unter techno-wissenschaftlicher Maßgabe gerade als Wissenskern abgelehnt wird. Das Problemlösungsvermögen "Leibnizscher Agenten" basiert elementar auf reflexiver Intelligenz; d.h. sie sind nicht nur in der Lage, jedes Problem an sich zu hinterfragen, sondern es auf techno-wissenschaftlicher Grundlage umfassend zu verstehen. Dabei hängt der Grad ihres Problemlösungsvermögens entsprechend von der Frage des für sie *ad hoc* verfügbaren Wissens ab. Neben ihrem impliziten Wissen geht es dabei im reflexiven Sinne vor allem auch um explizites Wissen. Somit stellt die dritte AI-Generation auch insofern eine Symbiose von erster und zweiter AI-Generation dar, als Intelligenz neben den neuronalen Aspekten der zweiten AI-Generation gleichzeitig unter dem Wissensaspekt der ersten AI-Generation zu definieren ist.

Intelligente Automatenklassen besitzen bei Leibniz *Intelligenz* unabhängig vom Wissen. Demgegenüber gibt es auf Basis reflexiver Intelligenz bei kognitiven "Leibnizschen Agenten" keine Intelligenz ohne Wissen. Daraus folgt mit Pkt. 6.3, dass sich eine qualitative Reflexion von Superintelligenz zuvorderst um die Wissensfrage drehen muss. Wenn Sowa sich im Spannungsfeld zwischen Wittgenstein und Whitehead, zwischen deskriptiver und revisionärer Metaphysik bewegt, ist abschließend festzustellen, dass Sowa (1991g) *Semantic Interpreter* in Bezug auf die AI-Kernsemantik semantisch am falschen Ende ansetzt. Das lässt sich konkret an dem Umstand aufzeigen, dass in der Philosophie bzw. Metaphysik viele normalsprachliche Begriffe eine andere Bedeutung haben als in den Einzelwissenschaften sowie insbesondere im *Common Sense*. Das gilt insbesondere für solche Ansätze, um die es im Kantischen Sinne eigentlich gehen muss, nämlich für ratioempirische Metaphysiken, die zugleich Kosmologien verkörpern. Als solche besitzen sie im Leibniz-Whiteheadschen Sinne letztlich notwendig eine *transdisziplinäre* Semantik. Es geht also um einen *universalen* Bedeutungsgehalt, und dieser kann nur dann universal sein, wenn er alles andere dominiert, verdrängt bzw. ersetzt. Alle andere Semantik, ob disziplinäre oder praktische, kann der transdisziplinären Semantik immer nur nachgeordnet sein.

Mit Whiteheads Ratio-Empirismus können wir das Semantikproblem bei Sowa ganz konkret fassen. Wenn Sowa sich in der Definition der AI-Semantik explizit dem "*ordinary English*" *Dictionary* bedienen will, sei dies hier exemplarisch in genau der gleichen Weise vollzogen. Dazu lässt sich auf das für "ordinary English" gängige Longman (1991) *Dictionary of English* zurückgreifen, um beispielhaft sechs relevante Begriffe auf dieser Grundlage semantisch zu bestimmen:

<i>Information:</i>	»knowledge about something or someone in the form of facts«;
<i>Evolution [1]:</i>	»the gradual development of the various types of plants and animals from simpler forms over thousands of years«;
<i>Evolution [2]:</i>	»gradual change and development: <i>the evolution of the motor car</i> «;
<i>emergent:</i>	»in the early stages of existence or development: <i>the emergent countries of Africa</i> «;
<i>Self-Organization:</i>	n/a
<i>Event:</i>	»something that happens which is important, interesting, or unusual«;
<i>Process [1]:</i>	»a set of actions or changes that develop or happen naturally«;
<i>Process [2]:</i>	»to treat something by a particular method: <i>processed cheese</i> «.

Selbst wenn die Möglichkeit der Normalisierung besteht, ist das die Ausgangslage der Alltagssprache. Masterman (1984) wird als Vordenkerin semantischer Netze gewusst haben, warum die AI-Disziplin schon allein unter dem Gesichtspunkt der *Normalsprache* nicht auf Wittgensteins (1953) bzw. Strawsons (1959) "ordinary language" aufsetzen kann und sich vielmehr dem Whiteheadschen Sprachmodell zuwenden muss. Um dieses muss es bei der Semantik der Informatik bzw. der AI-Disziplin aus verschiedenen Gründen gehen; vor allem aber auch insofern, als nur ein transdisziplinäres Sprachmodell überparadigmatisch gültig sein kann. Indem sie schlecht mit Komplexität umgehen können, neigen menschliche Agenten mit ihren kognitiven Grenzen zur Spezialisierung. Die Folge sind ausdifferenzierte Wissenschaftssysteme, die oftmals eine gleichermaßen ausdifferenzierte Semantik besitzen. "Leibnizsche Agenten" besitzen demgegenüber eine universale Per-

spektive bzw. einen cyber-physischen "*general world view*"; sie denken kausal durchgängig auf dem informatorischen Prinzip kausaler Wirksamkeit. Sie setzen auf eine transdisziplinäre Semantik, die technologie- und wissenschaftskonform ist. Sie sind auf Basis von CYPO/IMKO jedoch genauso im Stande, menschlichen Alltagsverstand zu verstehen, während sie wissen, dass es sich dabei lediglich um eine naive Weltansicht handelt. Ihnen ist klar, dass sie nicht ihre realen Operationen darauf gründen lassen können. Ihr Ziel besteht in der Einheit der Erkenntnis, selbst dann, wenn sie modular auf spezifische Domänen fixiert sind.

Ungeachtet seiner Verkörperung eines *lernfähigen AI-Systems* kommt Sowas (1991g) *Semantic Interpreter* nicht über ANI-Intelligenz hinaus. Das liegt weniger daran, dass dieser an Wittgensteins (1953) Sprachspielen bzw. Mastermans (1961) semantischen Netzen festmacht. Vielmehr geht die Klassifizierung ursächlich darauf zurück, dass dieser lediglich ein spezielles AI-Feld adressiert. Mit Blick auf das gegenwärtige *Cognitive Computing* stellt sich damit die Frage, um welche Art von Semantik es bei solchen lernfähigen AI-Systemen gehen kann. Konkret: kann es ein universales *Ontology Learning* geben? Die Fortschritte in der Maschinenübersetzung und ontologiegestützten Textanalyse zeigen, dass das *Natural Language Processing* (NLP) dann funktioniert, wenn es um menschlichen *Common Sense* geht. Es stellt AI-Systeme inzwischen auch vor keine Probleme, etwa ein Kundenfeedback in tonaler und damit in emotionsbezogener Hinsicht auf die Intention zu analysieren.⁷⁴⁷ Allerdings sollte nicht übersehen werden, dass es dabei wiederum rein um die *deskriptive* Metaphysik bzw. um Linguistik geht. Schon hier geht es nicht zwingend um die realen Fakten als solche. Ein solcher Text kann in Grenzfällen auch nur ungeschickt formuliert sein. Entsprechend hat all dies mit *revisionärer* Metaphysik genauso wenig zu tun wie mit "*Reality Computing*". Denn der *Semantic Interpreter* bezieht sich auf eine Sprachwelt des "ordinary English", und nicht auf die reale Welt, in die CPS-Agenten jedoch unmittelbar kausal eingebettet sind. So gesehen sind die heutigen AI-Systeme letztlich auch nur sehr begrenzt intelligent.

Problematisch ist dabei keineswegs Sowas (1991g) *Semantic Interpreter* als solcher, sondern drei mit den Intelligenzstufen zusammenhängende Aspekte: erstens, seine ontologische Generalisierung in Richtung AGI-Intelligenz, die sich ähnlich bei Hayes/Ford (1993b) findet. Damit verbunden zweitens, dass die AI-Disziplin entsprechend konzeptionell, etwa in Bezug auf die Ontologie oder das *Cognitive Computing* an der mittleren AGI-Intelligenz und einer naiven *Common Sense Reality* festmacht. Nicht an Cyber-physischen Systemen (CPS) und dem damit erforderlichen Gedanken der CPST-Realität, die komplexe Systeme voraussetzt und somit insgesamt ASI-Intelligenz erforderlich macht. Damit schließlich drittens, dass ASI-Intelligenz, wie sie Bostrom und andere thematisieren, lediglich visionär umrissen, nicht aber auf die eigentliche Basis der Informatik und ihren AI-Kern heruntergebracht wird. Das ist letztlich erneut den falschen philosophischen bzw.

⁷⁴⁷ Darauf zielt etwa der IBM Watson Tone Analyzer.

metaphysischen Grundlagen der zweiten AI-Generation geschuldet. Entsprechend wird ihre Verbindung zur Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik, zu komplexen Systemen, zur Popperschen Wissensproblematik, zum Moment globaler Intelligenz und seine Verbindung zum CPST- bzw. IoX-Hyperspace erst gar nicht thematisiert. Auf diesem Forschungsstand kann die AI-Disziplin selbstredend auch nicht am oberen Ende der Intelligenzvermögen festmachen, worauf es allerdings in konzeptioneller Hinsicht gerade ankommt. Entsprechend wird die dritte AI-Generation auch insofern erforderlich, um ASI-Intelligenz konzeptionell greifbar zu machen. Darauf zielt die hybride Agentenarchitektur bzw. die integrierte Ontologiearchitektur von CYPO/IMKO.

Superintelligent sind AI-Systeme noch längst nicht, indem dieses Prädikat weder am *Common Sense* noch am praktischen Problemlösen festmachen kann. Mit dem dualistischen Verständnis von Intelligenz, mit dem vor allem auch der Aspekt des Handlungswissens beim Problemlösungsvermögen zu berücksichtigen ist, lässt es sich genauso wenig nur auf den isolierten lokalen Agenten oder auf das intersubjektive Moment der Schwarmintelligenz beziehen. Denn dieses Handlungswissen, das je nach Agent wissenschaftliches, technologisches oder praktisches ist, entsteht erst im Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz, jenem von Induktion und Deduktion, jenem von Empirismus und Rationalismus, jenem von subjektivem und objektivem Standpunkten oder schließlich jenem von Metaphysik und spezifischen Domänen. Generiert wird solches Handlungswissen also in einem komplexen Gefüge, während es durchaus im Sinne von AI-Ontologien schließlich genau *einem* Agenten bzw. einer *"Reality Machine"* für Zwecke der Problemlösung zur Verfügung steht. Analog ist der SOC-Konnex des *Internet of Services* (IoS) auf ED-SOA-Basis zu verstehen: dann geht es parallel zum Rückgriff auf Wissen um den Rückgriff auf verschiedenste Services, um Probleme zu lösen. Die Frage der Intelligenz eines Agenten verlangt also im Zeichen seines Problemlösungsvermögens eine differenzierte Betrachtung. Es kann auf Grundlage eines dualistischen Intelligenzverständnisses keinesfalls wegweisend sein, den Agenten dabei rein isoliert zu betrachten. Es geht bei der Intelligenzfrage durchaus um genau einen konkreten Agenten; allerdings ist dieser in seiner gesamten IoX-Vernetzung zu analysieren.

Die Frage, inwieweit AI-Systeme überhaupt *superintelligent* sein müssen, ist mit den Unterschieden zwischen der AGI- und ASI-Intelligenz praktisch beantwortet: AGI-Intelligenz reicht mit einem naiven *Common Sense* für *Autonomic Computing* auf Basis *cyber-physischer "Reality Machines"* in komplexen Systemen selbstverständlich nicht aus. Umgekehrt ist ASI-Intelligenz jedoch erst einmal auf genau diese cyber-physische Basis zu bringen, womit die bisherigen vagen Vorstellungen von *Superintelligenz* durch konkrete einzutauschen sind. Eine solche Konkretisierung ist insofern problemlos möglich, als sich alle Fundamente der Informatik, gerade auch jene ihres AI-Kerns, in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik finden. Denn diese ist nach oben offen, d.h. das Automatenuniversum umfasst *sämtliche* Automaten, auch solche möglicher Welten. Entsprechend

geht es um alle Stufen von Intelligenz, wobei diese mit Mainzer (2016c) universal als Problemlösungsvermögen zu verstehen ist. Gilt es ASI-Intelligenz konkret zu denken, ist sie mit Pkt. 6.3 entlang des CPST- resp. IoX-Hyperspace zu entwickeln, wie es mit CYPO/IMKO auf digitalmetaphysischer Basis vollzogen wird. Entscheidend ist hier die globale Intelligenz im techno-wissenschaftlichen Kontext; somit stehen im Sinne der Einheit der Erkenntnis ein kosmologisches Gesamtverständnis und schließlich eine revisionäre metaphysische Perspektive im Fokus. Superintelligenz in einer solch reflektierenden Weise globaler Intelligenz besitzen lernfähige AI-Systeme vom Typ Sowas gewiss nicht. Das zeigt ein einfaches Gedankenexperiment: würden diese Systeme Deep Learning auf hinreichender Basis unzähliger Texte für je ein Dutzend von *Top-level Ontologien* wie BFO, DOLCE, BWW, Sowa usf. vollziehen, könnten sie nach einer ausreichenden Zahl an Lernschleifen diese TLO-Ansätze in ihrer *semantischen* Konstellation richtig interpretieren. Doch *metaphysisch* verstanden ist damit noch nichts, und es zeigt sich dann, dass alle TLO-Kategorien, selbst solche linguistischer TLO-Ansätze, letztlich immer als metaphysische Kategorien zu verstehen sind. Auch die intelligentesten AI-Systeme können auf diese Weise nicht sachgerecht bestimmen, welche *Top-level Ontologie* für die Informatik adäquat ist. Das gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Metaphysikproblematik wie des erforderlichen Ratio-Empirismus, der die Durchgängigkeit zu allen Struktur- und Erfahrungswissenschaften semantisch zu eröffnen hat. Denn es gilt, die Cyber-Physik an sich zu verstehen.

Dass Sowas (1991g) *Semantic Interpreter* an *Top-level Ontologien* scheitert, erklärt sich also durch ihre metaphysische Natur. Auf diese Ebene ist ein solcher Interpreter natürlich nicht ausgelegt. Mit Blick auf ein universales *Ontology Learning* stellt sich somit die Frage, inwieweit ein solcher Interpreter dann zumindest mit wissenschaftlichen bzw. technologischen Ontologien umgehen kann. Allerdings ist dann wesentlich, ob *Scientific Ontologies* im Sinne B. Smithens im deskriptiven Sinne gemeint sind, indem sie dann einen sprachphilosophischen Zugang eröffnen. Oder ob es sich um *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz handelt, um die es demgegenüber bei CYPO/IMKO geht. Im Fall B. Smithens lässt sich der relevante Sachverhalt an der biomedizinischen OBO Foundry aufzeigen: Hier geht es zwar im Kern um klassische Grammatik, jedoch lässt sich mit Sowas (1991g) *Semantic Interpreter* schon deshalb nicht ansetzen, weil alle Semantik auf Smithens BFO-TLO zu referenzieren hat. Wenn sich diese fundamentale Semantikstruktur nicht im textuellen Ausgangsmaterial selbst findet, wird automatisiertes *Ontology Learning* unmöglich. Damit zeigt sich, dass selbst auf Basis deskriptiver Metaphysik und neo-aristotelisch gefasster Normalsprache lernfähige AI-Systeme wie Sowas *Semantic Interpreter* nicht zwingend funktionieren. Vielmehr lässt es das erforderliche Hintergrundwissen nicht zu, solche Schritte zu automatisieren. Vollends scheitern solche *Semantic Interpreter* dann, wenn es gilt, *revisionäre Scientific Ontologies* im Popperschen Sinne von Grund auf neu zu konzipieren. Denn dann geht es mit Masterman (1984) um ein Whiteheadsches

Sprachmodell, auf dessen Basis eine *transdisziplinäre* Semantik zu entwickeln ist. Gerade auch in diesem Fall wird man diese Schritte in keiner Weise automatisieren können. Was es dann im nächsten Schritt geben kann, sind *Semantic ASI-Interpreter*, die auf Basis des geschaffenen transdisziplinären Systems *Ontology Learning* vollziehen, um im Sinne AI-basierter *Scientific Discovery* automatisch neue Ontologien zu generieren. Allerdings beziehen sich solche *ASI-Interpreter* im Gegensatz zu Sowa (1991g) dann jedoch nicht auf eine *Sprachwelt*, sondern auf Grundlage von Multisensorsystemen direkt auf die *reale Welt* der Cyber-Physik. Damit steht außer Zweifel, dass Sowas (1991g) *Semantic Interpreter* und darauf aufsetzende Entwicklungen für die AI-Disziplin zwar wichtig sind, indem sie auf das Verständnis des IoP-Subsystems zielen. Indessen ist es ein folgenschwerer Irrtum, hierin die allgemeinen AI-Grundlagen bzw. die AI-Kernsemantik ausmachen zu wollen. Vielmehr kommt dem *Semantic Interpreter* vom Typ Sowas (1991g) bei echter Superintelligenz lediglich eine Funktion des Menschverstehens zu. Indem die reale Welt mehr und mehr die synthetische Realität inkludiert, ist sie zunehmend mit Cyber-physischen Systemen (CPS) durchsetzt. Demnach ist es keinesfalls ausgeschlossen, dass sich im Sinne Mastermans (1984) die Normalsprache in Richtung des Whiteheadschen 4D-Sprachmodells weiterentwickelt. D.h., dass sich die Sprachstruktur nicht rein objektzentrisch, sondern insgesamt primär ereignis-, situations- und kontextbezogen darstellt. Die Heideggerische Metaphysik weist bei menschlichen Agenten bereits konkret in diese Richtung. Indem sich die Sachlage in Bezug auf das IoA-Subsystem und das Erfordernis CPS-adäquater Agenten gerade mit Blick auf die globale Intelligenz völlig anders darstellt als bei Sowas (1991g) IoP-bezogenen Interpretern ist evident, dass das eigentliche Ontologieproblem im Kern in der ontologischen Interdependenzproblematik besteht. Damit handelt es sich um das in Pkt. 1.2 erörterte Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem.

Schon in Bezug auf die Normalsprache, deren Bedeutung sich für die Artifizielle Intelligenz im Ganzen relativiert, ist im Sinne Mastermans (1984) der Unterschied zwischen *revisionärer* und *deskriptiver* Metaphysik für die Informatik konstituierend. Keine AI-Forschung lässt sich sinnvoll aufsetzen, wenn nicht zuvor die Metaphysikfrage geklärt ist. Dazu sollte sie sich im Sinne McCarthys (1963a: 66) an der Superintelligenz orientieren. Das aber setzt ein digitalmetaphysisches Verständnis von Superintelligenz voraus, wie es in Pkt. 6.3 umrissen wird. Dann wird nachvollziehbar, dass Artifizielle Intelligenz nicht nur im Realitätsganzen, sondern im Sinne Mastermans (1984) gerade auch in semantischer Hinsicht allein an der *revisionären* Metaphysik festmachen kann. Dabei ist mit Pkt. 6.2.2 in Verbindung mit Pkt. 4.1 bzw. Pkt. 4.2 unzweifelhaft, dass *revisionäre* Metaphysik auf das Whiteheadsche Metaphysiksystem hinausläuft. Bostrom (2006, 2014) liegt zwar richtig, dass Superintelligenz gerade auch "*scientific creativity*" und "*general wisdom*" inkorporieren muss; was das aber genau heißt bzw. wie beides konkret umzusetzen ist, legt Bostrom allerdings technisch nicht einmal im Ansatz dar. Das kann er auch gar nicht, weil er weder an der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik ansetzt noch sich im Sinne des

CPST- bzw. IoX-Hyperspace bzw. eines geeigneten Referenzszenarios wie den U-PLM-Systemen auf die eigentliche Ebene der Informatik vorwagt. Wenngleich die Superintelligenz der dritten AI-Generation erst auf Grundlage der im sechsten Teil vorzunehmenden meta-ontologischen Reflexion in Pkt. 6.3 spezifizierbar ist, lässt sich mit Blick auf die in diesem zweiten Teil behandelte globale Intelligenz als ihr zentrales Moment an dieser Stelle bereits folgendes feststellen: "*scientific creativity*" ist gewiss nicht auf Grundlage eines fehlinterpretierten Whiteheads möglich, wie es sich bei Sowa (2000) zeigt. Vielmehr muss es mit Pkt. 4.2 um den echten Whitehead gehen. Das umso mehr, als dessen Metaphysik bis heute weitgehend unverstanden ist, und mit G.R. Lucas (1989) mit Blick auf die zahlreichen Fehlinterpretationen zunächst einmal zu rehabilitieren ist. Nicht zuletzt ist die Metaphysik Whiteheads bis heute weder richtig als Cyber-Physik noch damit in ihrer Funktion als digitalmetaphysischer Kern der Informatik richtig erfasst. Bostroms "*scientific creativity*" weist also auf das, was sich bei Bostrom selbst gerade nicht findet, nämlich auf eine transdisziplinäre techno-wissenschaftliche Metaphysik, die auf Basis des CPST- bzw. IoX-Hyperspace umzusetzen ist. Auf ihrer Grundlage meint "*general wisdom*" eine philosophische Reflexion, die sich als metaphysische Einheit von Ontologie, Epistemologie und Methodologie darstellt. Sie konkretisiert sich mit Mainzer und Mittelstraß im Leibnizschen Sinne als *Einheit der Erkenntnis*, die sich wiederum über die transdisziplinäre *Einheit des Wissens* begründet. Gewiss kann "*general wisdom*" nur das sein, was hier als *reflexive Intelligenz* bei globaler Intelligenz auf Grundlage *expliziten* Wissens konkretisiert wird.⁷⁴⁸ Was sollte "*general wisdom*" als Superintelligenz auch anderes sein?

Die Informatik benötigt eine universale Semantik und damit eine AI-Kernsemantik, die – wie Sowas Fall zeigt – natürlich nicht auf *Common Sense* gründen kann. Denn in Bezug auf CPS-adäquate Agenten bzw. CPS-adäquate Ontologien interessiert es in erster Linie nicht, *was* bzw. *wie* menschliche Agenten auf Basis naiven Alltagsverstands über die reale Welt denken bzw. sprechen. Entscheidend ist natürlich was anderes, nämlich wie die reale Welt in cyber-physischer Hinsicht *faktisch* ist. Alles andere ist nur von sekundärem Belang, insbesondere in Bezug auf die HCI-Schnittstelle. Denn es handelt sich bei der AI-Kernsemantik um eine *CPS-adäquate Semantik*, die sich allein von der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik her entwickeln lässt. Genauer gesagt geht es um *Cyber-Metaphysik*, ergo um Digitalmetaphysik, die in direkter Durchgängigkeit zu Physik und Informatik die Cyber-Physik in sich inkorporiert. Analog inkorporiert sie die Komplexitätsphysik als *Komplexitätsmetaphysik* bzw. die Physik der Evolutionsprozesse als *Metaphysik der Evo-*

⁷⁴⁸ Insofern besteht beim Superintelligenzverständnis der zweiten AI-Generation bereits insofern ein Widerspruch, als allein auf Basis *expliziten* Wissens von einer echten Reflexion gesprochen werden kann. Dann sind *AI-Ontologien* primär, die jedoch in der zweiten AI-Generation kaum eine Rolle spielen. Genauso kann nicht von Reflexion gesprochen werden, wenn McCarthys (1995) "*general world view*" unklar ist; vielmehr muss es gerade auch darum gehen, womit die *metaphysische Ontologie* primär ist. In diesem Sinne weist nicht nur der gespaltene Status quo der AI-Disziplin, sondern auch das Superintelligenzverständnis der zweiten AI-Generation indirekt im Zeichen von CYPO/IMKO selbst auf das Erfordernis einer dritten AI-Generation, vgl. dazu im Einzelnen Pkt. 6.3.

lutionsprozesse. Sie ist also nicht naturalistisch veranlagt, sondern vielmehr digitalistisch im cyber-metaphysischen Sinne. Auf Basis des Grundstoffs der Information transzendiert sie sämtliche Disziplinen, und so erklärt sich auch ihr Antimaterialismus, der gerade kein Immaterialismus ist. Denn Whiteheads Metaphysik verkörpert neben ihrem universalen Strukturalismus gerade eine Metaphysik der Erfahrung, und diese bezieht eine völlig andere, nämlich die für alle Kosmologie, für alle Wissenschaften und Technologien und alle Praxis einzig richtige Position: Alles im Universum ist Fakt; jede Veränderung ist Fakt. Jedes Cyber-physische System ist als *Artefakt* Fakt. Jede Veränderung in ihm ist genauso Fakt. Jedes Faktum ist Datum; es ist ontisch, ggf. epistemisch, sofern es durch ein *Subjekt-Superjekt* erfahren wird. Dann ist es im ersten Schritt subjektiv; im zweiten, methodologischen Schritt objektiv. Beide Schritte erfolgen im Whitehead-Popperschen kritischen Realismus, der in methodologischer Vollendung zum Kritischen Rationalismus avanciert.

Vor diesem Hintergrund wird mit Pkt. 3.3.2 deutlich, dass die *transdisziplinäre* Semantik notwendig einen *realistischen* OE-Ansatzpunkt voraussetzt. Im Ganzen gesehen handelt es sich demgegenüber bei Sowa primär um einen *linguistischen* OE-Ansatzpunkt, auch wenn dieser teils Rückgriff auf realistische Kategorien im Sinne der Referenz auf das Kategoriensystem Whiteheads nimmt. Insofern stehen auch Sowas *konzeptuelle Graphen* primär in einem linguistischen Zusammenhang, der sich an Mastermans (1961) semantischen Netzen orientiert. Auch unter den realistischen Aspekten einer Situationsbeschreibung im Zeichen von Barwise/Perry (1981b, 1983) können diese nur sehr bedingt einer konzeptuellen Modellierung im eigentlichen Sinne entsprechen. Im Ganzen muss – nicht zuletzt mit Blick auf die globale Intelligenz – der OE-Ansatzpunkt also der diametral andere sein. Primär ist *realistische* Ontologie, aus der im Sinne P.M. Simons' (2006b) die Semantik im ersten Schritt deduziert wird. Bei aller nachfolgenden, etwa auch direkt praktisch definierten Semantik sind dann etwaige semantische Inkonsistenzen in automatisierter Weise durch eine referentielle Strategie abzufangen. Im Kern geht es dabei um die TLO-Referenz einschließlich der TLO-EO-Verkopplung sowie um Referenz auf ein System von Referenzontologien, das wiederum systematisch von den *Scientific Ontologies* ausgehend zu entwickeln ist. Dieses Vorgehen ist insofern angezeigt, als die IoP-Semantik nicht nur den *Common Sense* betrifft, sondern durchaus genauso im techno-wissenschaftlichen Zusammenhang steht. Das U-PLM-Referenzszenario verdeutlicht dies, indem sich U-PLM-Systeme nicht nur gleichzeitig aus menschlichen und maschinellen Agenten konstituieren. Vielmehr erfordern hier dann auch erste eine exakte, techno-wissenschaftliche Semantik, wenn es in PLM-typischen Industrien wie der Medizintechnik, der Aviation usf. um integriertes Produkt- und Prozess-Engineering geht. Auch im Hinblick auf das Web-Engineering besteht im Grunde keine Möglichkeit einer gesonderten Handhabung von IoP-Agenten. M2H- bzw. H2M-Interaktionen lassen sich genauso wenig durch das Setzen von HCI-Brücken gesondert behandeln. Denn das IoP-Subsystem reduziert sich keineswegs auf Agenten naiven Alltagsverstands; es umfasst im Sinne der *exakten Semantic E-Sciences*

genauso wissenschaftliche bzw. technologische Agenten. Wie mit Pkt. 8.2 dargelegt wird, spricht vieles dafür, dass sich auch die Alltagssprache vor dem Hintergrund des in Pkt. 1.5.1 behandelten 4DP-Paradigmas ändern sollte bzw. ändern muss. Denn das, was der Alltagsverstand wahrnimmt, ist bei einer für ihn auf Basis einer mehr und mehr mit synthetischen Cyber-physischen Systemen (CPS) durchsetzten Realität etwas anderes: Die einfachsten Dinge sind dann kaum noch als strikt selbstidentisch verstehbar, wenn sie im 4DP-Paradigma beständiger Transformation unterliegen. Das ontologische System, mithin die Semantik, ist gewissermaßen an eine höherentwickelte Realität anzupassen, wie es selbst Computerlinguisten wie Masterman (1984) längst erkannt haben. Indem diese Entwicklungen schon technisch realisierbar sind, sollten sie mit Blick auf die in Pkt. 1.1 erörterte fundamentale ontologische Änderungsproblematik beim erforderlichen Neuentwurf der Ontologiearchitektur gleich mit erledigt werden.

Echte Superintelligenz ist immer *globale CPST-Intelligenz*; technologisch konkret ist diese als *globale IoX-Intelligenz* zu fassen. Indem die AI-Forschung bisher weder konsequent am Moment der Superintelligenz festmacht, noch dass diese überhaupt auf Basis der dritten AI-Generation entwickelt ist, wird ein Quantensprung erforderlich. Denn Agenten sind im "*Reality Computing*" als *CPS-Agenten* zu entwickeln, und als solche stehen sie zwingend im CPST-Hyperspace, der sich auf der konkreten Grundlage des *Smart Web* als *IoX-Hyperspace* darstellt. Für *CPS-Agenten* ist kennzeichnend, dass sie in der Lage sind, die Cyber-Physik bzw. Cyber-Metaphysik im Ganzen begreifen zu können. Sie sind in der Lage, mit komplexen Systemen umzugehen, indem ihnen die *Theorie komplexer Systeme* zugänglich ist. Insofern sie dabei auf echten *Scientific Ontologies* aufbauen müssen, die es in der AI-Disziplin noch gar nicht gibt, ist klar, dass es auch solche umfassend reflexiven *CPS-Agenten* nicht gibt. Dennoch muss die Agententheorie mit dem cyber-physischen Anspruch der Informatik in diese Richtung laufen. *CPS-Agenten* müssen zum kognitiven *Subjekt-Superjekt* mutieren, das selbst Teil der Cyber-Physik ist und nach Maßgabe des Prinzips kausaler Wirksamkeit in die Realität eingebunden ist. Bevor *CPS-Agenten* sachgerecht entwickelbar sind, müssen die Grundlagen der Informatik neu gelegt werden. Sie benötigt dazu gänzlich neue ontologische, epistemologische, methodologische wie formallogische Grundlagen, die auf dem bis dato fehlenden Fundament, der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik aufsetzen. Wenn Superintelligenz als globale CPST-Intelligenz zu verstehen ist, bedarf sie darüber hinaus der konsequenten Orientierung am CPST-resp. IoX-Hyperspace. Das impliziert wiederum, dass das *Sense-and-Respond Model* nicht lediglich auf lokaler Agentenebene oder auf der regionalen Ebene der Schwarmintelligenz zu denken ist. Vielmehr ist es genauso auf Ebene der globalen AI-Intelligenz zu verankern. Das betrifft entsprechend Haeckels *Adaptive Enterprise Design* in grundlegender Weise, worum es in diesem zweiten Teil geht.

McCarthys (1963a: 66) Einschätzung, wonach die AI-Disziplin zum Kern der Informatik avanciert, ist gerade auch in ihrer Relevanz für die *Enterprise Architecture* (EA) richtig.

Denn nicht zuletzt vor dem Hintergrund intelligenter Agenten ist der EA-Gedanke zwangsläufig in jenen der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) zu überführen. AI-Intelligenz kann es im CPST- bzw. IoX-Hyperspace nur dann geben, wenn sie auch in der Infrastruktur implementiert ist. Das doppelte Intelligenzverständnis ist gerade hier elementar: es kann nicht allein um die Intelligenz isoliert gedachter Agenten gehen, sondern vor allem ist diese im interaktiven Wechselspiel von Services, Prozessen und Ressourcen zu verstehen und damit insgesamt auf die Basis von Ontologien zu heben. Wie intelligent CPS-Agenten in cyber-physischen Strukturen Probleme zu lösen vermögen hängt dabei keineswegs allein von ihrer neuronalen Verschaltung ab. Es beginnt schon bei ihrer Sensorik, indem sie zunächst einmal die reale Problemstruktur richtig erkennen müssen. Vor allem aber betrifft es ihre Ausstattung mit Hintergrundwissen bzgl. der Cyber-Physik. Entscheidend ist dabei, dass sie dies selbst weder lokal noch ad hoc zu generieren vermögen. Vielmehr handelt es sich im Sinne Poppers um methodologisch raffiniertes *objektives Wissen*, das vom einzelnen Agenten abgelöst ist, jedoch durch diesen prinzipiell nutzbar ist. Insofern ist die Agentenintelligenz in der praktischen, insbesondere aber in der technologischen und wissenschaftlichen Sphäre maßgeblich bestimmt durch die Verfügungsgewalt bzgl. problem-lösungsrelevanten Services, wissensgenerierenden Prozessen und unterstützenden Ressourcen. Im Wesentlichen basiert die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) dabei auf einem System von Ontologien, das in seiner TLO-EO-Verkopplung nicht nur alle ED-SOA-Services orchestriert, sondern ebenso das in Pkt. 2.5 behandelte PPR-Framework. Erst Ontologien eröffnen das *Real-Time Enterprise* (RTE), d.h. solche IoX-Teilstrukturen, die in Echtzeit das *Sense-and-Respond Model* auf Basis eines *IoX-Monitoring* transparent und im organismischen Sinne Whiteheads steuerbar machen.

In der Tat ist die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) in der Intelligenzfrage entscheidend: *Superintelligenz* lässt sich zwar an jedem einzelnen Agenten festmachen, doch hat sie ihren wesentlichen Ursprung vor allem im objektiven Wissenschaftsvollzug der anderen. In diesem doppelten Intelligenzverständnis als Problemlösungsvermögen ist dies bei menschlichen Agenten nicht anders. Sie sind auf Basis des Wissens der anderen ausgebildet und können auch ad hoc auf externes Wissen zur Problemlösung zugreifen; nur so können sie komplexe Probleme, insbesondere solche technologischer bzw. wissenschaftlicher Art lösen. In solchen Fällen, etwa beim Engineering in der Luft- und Raumfahrt, geht es um methodologisch umfassend geprüftes Wissen, und nicht um einen individuellen, ad hoc erlernten Workaround. Lernen ist somit auch bei maschinellen Agenten keineswegs nur Deep Learning; vielmehr gibt es ganz unterschiedliche Arten des Lernens. Das betrifft gerade auch solches, das sich auf Ontologien bezieht bzw. sich auf ihrer Basis vollzieht. Dass dabei gleichzeitig auch die neuronale Verschaltung ausschlaggebend ist, steht auf einem anderen Blatt. Entscheidend ist also beides zusammen, nicht umsonst wird auch vielfach eine Korrelation angenommen. AI-Intelligenz ist damit immer nur als Wechselspiel zwischen lokaler, regionaler und globaler Intelligenz sachgerecht adressierbar. Und dieser

Gedanke, insbesondere seine im CPST-Hyperspace erforderliche Verknüpfung mit der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) findet sich nicht in der bisherigen AI-Forschung. Auch insofern stellt sich das Erfordernis der dritten AI-Generation; sie ist dann hier korrigierende Symbiose der bestehenden Teildisziplinen der Informatik, die auf ihrem digitalmetaphysischen Fundament zu bewerkstelligen ist.

Entscheidend ist also, dass es im Grunde in jedem AI-Szenario eine Infrastruktur gibt, die physisch als Netzwerk von einem bis wenigen Großrechnern und einer ggf. schier endlosen Zahl an Sensoren zu verstehen ist. Zumeist aber geht es auf lokaler Ebene um mehr als um solche *Multisensorsysteme*, wenngleich schon dieser Fall *Superintelligenz* auf Basis nur *eines* Rechners begründen kann. Zumeist geht es in AI-Szenarien aber um *Multi-agentensysteme* (MAS). Im IoX-Hyperspace ist entsprechend vom MAS/CAS-Konnex auszugehen, der sich insofern darstellt, dass in verteilten Systemen auf lokaler Ebene eine enorme Zahl von Minirechnern verstreut ist, die oftmals neben der Sensorik auch über ein Adaptionvermögen und eine mehr oder weniger ausgeprägte Aktorik verfügen. Erst über diese lässt sich in den physischen Teil Cyber-physischer Systeme (CPS) aktiv eingreifen. Dieser Impuls kann lokal, ggf. aber auch regional oder global induziert werden, was jedoch besondere Sicherheitsrisiken birgt. Auch wenn damit der Schwerpunkt des *Sense-and-Respond Model* gerade bei globaler Intelligenz deutlich auf dem "*Sense*" liegt, und das "*Respond*" in sicherheitskritischen Fällen ggf. nicht online vollzogen wird, bleibt ihr enormer Stellenwert, ohne damit jenen lokaler bzw. regionaler Intelligenz relativieren zu wollen. Vielmehr sind die drei Intelligenztypen komplementär und durch die Informatik auf Basis ihres digitalmetaphysischen Denkschemas nur im Ganzen richtig entwickelbar.

In den meisten Szenarien des IoX-Hyperspace werden solche Infrastrukturen durch verschiedene Service Provider mit den unterschiedlichsten Diensten parallel betrieben. Jedes IoV-Fahrzeug besitzt eine Verbindung zum Hersteller, zur ggf. separierten Leasinggesellschaft und es interagiert mit den Leitsystemen der Smart City genauso wie mit den Rechnern von intelligenten Parkhäusern. Zudem kommen noch zahlreiche andere Provider hinzu, etwa jene, die das Kartenmaterial stellen und aktualisieren, oder jene, die alle Applikationen für verschiedene Insassen als IoP-Agenten über das Bordnetz bereitstellen. Voice-Befehle bilden dabei ein gängiges HCI-Medium, wobei die AI-Systeme auf naive Alltagssprache genauso reagieren können müssen wie auf die exakte situations- und ereignisbezogene 4D-Semantik einer Normalsprache, wie sie auf Basis gängiger 4D-Trajektorien etwa für Fluglotsen impliziert ist. Die meisten Service Provider werden dabei insofern auf 4D-Basis arbeiten, als viele Applikationen situiert bzw. kontextbezogen variabel auf die Geodaten der Fahrzeuge reagieren. Es besteht also lokale wie globale Intelligenz, während regionale Intelligenz im Sinne der Schwarmintelligenz etwa in der Weise ins Spiel kommt, dass sich vorausfahrende und nachfolgende Fahrzeuge automatisch in vielfältiger Weise austauschen. Im IoV-Fall geht es also um ganz verschiedene Interaktionen; indem das IoV-Szenario konsequent im ganzen IoX-Hyperspace zu denken ist, wird

inzwischen von einem Vehicle-to-Everything (V2X) ausgegangen. Hierzu gehören u.a. folgende Interaktionen: Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Pedestrian (V2P), Vehicle-to-Sensor (V2S), Vehicle-to-Device (V2D), Vehicle-to-Road (V2R), Vehicle-to-Infrastructure (V2I) oder Vehicle-to-Cloud (V2C), Vehicle-to-Network (V2N) oder etwa Roadside-to-Roadside (R2R); beim Electric Vehicle (EV) bzw. Plug-in Electric Vehicle (PEV) kommen die Interaktionen Vehicle-to-Grid (V2G), Vehicle-to-Building (V2B) sowie Vehicle-to-Home (V2H) hinzu.⁷⁴⁹ Im IoX-Hyperspace treffen sich somit die verschiedensten Szenarien; von Smart Mobility bzw. etwa den *Real-Time Context-Aware Taxi Dispatch* einbeziehenden Smart Transport angefangen,⁷⁵⁰ über Smart City, Smart Grid oder Smart Home usf. bis hin zur Produkt- bzw. Produktionsoptimierung der Smart Factory. Gleichzeitig wird klarer, dass alle IoX-Integrationsszenarien wie exemplarisch das IoV-Szenario nur in dieser dreigeteilten Intelligenz, also in lokalem, regionalem wie globalem AI-Zusammenhang zu verstehen sind. Dabei sind die lokale und regionale Intelligenz situativ entscheidend, während die globale Intelligenz primär eine techno-wissenschaftliche Auswertung in jeder Hinsicht im Sinne der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) gewährleistet. Sie stellt insofern die eigentliche Intelligenz dar, als sie erst Leibnizens Einheit der Erkenntnis auf Basis der Einheit allen Wissens eröffnet. Auf ihrer Basis wird es möglich, im Sinne eines teilnehmenden Beobachters die richtigen Fragen zu stellen und diese datenanalytisch gestützt in globales Wissen zu transformieren. Dieses globale Wissen ist in prinzipieller Hinsicht vor allem eines, nämlich objektives Wissen im Sinne Poppers. Als *explizites* Wissen weist es unmittelbar auf den Einsatz von Ontologien, während zur situativen Problemlösung vor allem auch *implizites* Wissen erforderlich ist – allerdings keineswegs ausschließlich. Den meisten AI-Forschern entgeht dieses integrative Moment der AI-Szenarien; sie übersehen das Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz. Auf dieser Basis führen sie dann die Debatte um die AI-Technologien in jener Ausschließlichkeit, die sich im Zuge der Erörterung des *Frame Problem* offenbart hat, indes im Ganzen besehen inakzeptabel ist. Der IoX-Hyperspace ist somit nicht nur unabdingbar, sondern er weist der Disziplin den Weg.

Die dritte AI-Generation ist somit nicht nur zu proklamieren, sondern sie ist überfällig, indem die zweite AI-Generation genauso zu kurz greift wie die erste. Beide sind auf Basis des IMKO *OCF* einer korrigierenden Konsolidierung zu unterziehen, die in ihrer Symbiose in der dritten AI-Generation mündet. Die Metaphysik der dritten AI-Generation ist weder die Cartesische der ersten, noch die Heideggersche der zweiten. Vielmehr ist es in Leibnizscher Tradition die Whiteheadsche Metaphysik als 4D-ereigniszentrische Cyber-Physik. Für die Frage der globalen Intelligenz im CPST- bzw. IoX-Hyperspace ist diese – und keine andere – metaphysische Basis insofern elementar, als *IoX-Computing* immer *Reality-Computing* ist, das auf Basis von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"*

⁷⁴⁹ Vgl. D. Chen/Asplund et al. (2015), T.-H. Chang et al. (2016), Hewlett Packard (2016), Pandey/Subbiah (2016), Rawat/Bajracharya (2017), N. Xia/Yang (2017), Chaudhary (2018) sowie Kamouch et al. (2018).

⁷⁵⁰ Vgl. dazu A. Morris et al. (2016).

operiert, die mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind. Diese Einbettung ist keine Heideggersche, weil sie gerade im cyber-physischen Sinne von *Event Streams* zu verstehen ist. Diese sind im Zeichen des metaphysischen Realismus faktisch gegeben, d.h. objektiv messbar. Der Heideggerschen Metaphysik fehlt dieses physikalische Moment der Cyber-Physik; ähnlich wie bei der deskriptiven Metaphysik spricht man von *Metaphysik*, sie kommt aber inhaltlich gesehen gar nicht nach der Physik. Daneben gibt es bei Whitehead die erfahrenden *Subjekt-Superjekte*, d.h. die kognitiven Agenten, die in ihrer relationalen Verbindung als organismische Automaten im MAS/CAS-Sinne zu verstehen sind, und dabei auch die regionale *Schwarmintelligenz* eröffnen. Entsprechend bewegt sich mit Verweis auf Pkt. 5.6 die Whiteheadsche Cyber-Physik inklusive ihrer direkten Durchgängigkeit zur Physik und Informatik auf einem qualitativ gänzlich anderen Niveau als jene inferiore subjektivistische Phänomenologie, die seit H.L. Dreyfus (1972) vielfach als zentrales AI-Fundament erachtet wird. Ontologie ist immer *metaphysica generalis*, und zwar in genau der Tradition, die Wolff (1730) meint, nämlich in der Leibnizschen, die bei Whitehead in der Weise konkretisiert wird, dass sie Cyber-Physik ist, die im Sinne der Leibnizschen *Scientia generalis* zu den Wissenschaften und Technologien offen ist bzw. sich mit ihnen im zirkulären Sinne als durchgängig zeitigt.

Die Devise "*AI is metaphysics*" zielt nicht zuletzt auf die Ontologie als *metaphysica generalis* und damit auf die Frage der richtigen Metaphysik, da die ersten beiden AI-Generationen auf für sie letztlich völlig ungeeigneten metaphysischen Grundlagen stehen. Indem die Informatik in dieser cyber-physischen Durchgängigkeit die erste Strukturwissenschaft, die Physik die erste Erfahrungswissenschaft bildet, wird nochmals klar, was bereits zu Beginn von Pkt. 1.1 festgestellt wurde, nämlich, dass die ontologische Revolution der Informatik erst noch bevorsteht. Indem diese als eine *transdisziplinäre* Revolution im Leibnizschen Sinne zu verstehen ist, die mit Mainzer die Idee einer *integrativen Wissenschaft* im Zeichen Leibnizens verkörpert bzw. mit Mittelstraß die transdisziplinäre *Einheit allen Wissens in einer Leibniz-Welt* impliziert, betrifft sie die Informatik in ihrer Schlüsselstellung in besonderem Maße. Das gilt allen voran für den KR-Aspekt und seiner AI-basierten Manipulation. Doch betrifft diese Revolution natürlich alle Disziplinen, d.h. alle Wissenschaft, alle Technologie und alle Praxis. Und gewiss auch die Philosophie, indem deutlich wird, dass alle anderen philosophischen Programme der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik insofern hoffnungslos unterlegen sind, als sie weder diese Totalintegration schaffen noch überhaupt auf dem Stand der modernen Wissenschaften und Technologien sind. Andere Metaphysikprogramme sind insofern inferior, als sie im Sinne der Kantischen Metaphysikkritik in keiner Weise dem Moment des *Ratio-Empirismus* entsprechen. Man braucht diese veralteten Philosophien nicht nur nicht mehr, sondern sie führen, wie der Fall der Informatik anschaulich zeigt, vielmehr in die Irre. Wer diese Feststellung bezweifelt, müsste gegen die Cyber-Physik argumentieren, gegen die Existenz und Gestaltbarkeit Cy-

ber-physischer Systeme (CPS) und gegen das Verschmelzen der synthetischen und physischen Realität. Vor allem müsste auch gegen die Metaphysikkritik Kants argumentiert werden. Aber welcher Philosoph will das wirklich unter den faktischen Gegebenheiten tun? Alles, selbst die berühmten Gedankenexperimente der analytischen Philosophie, lässt sich genauso auf Basis der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik vollziehen, nur um Längen besser: Denn es geht dann nicht nur um *mögliche Welten*, sondern es gibt die bei D.K Lewis und anderen zu vermissende Bodenhaftung durch das techno-wissenschaftliche Korrektiv noch dazu. Wenn D.K. Lewis über Quine partiell in der Whitehead-Tradition steht, sollte diese Art von Philosophie zur Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik zurückkehren, damit sie gut wird. Denn mögliche Welten spielen in der Informatik in jeder Hinsicht eine wesentliche Rolle, andererseits ist die virtuelle Realität in das Realitätsganze einzubetten, indem sie mitunter Vorstufe zur synthetischen Realität ist. Die Leibniz-Whiteheadsche Metaphysik eröffnet aber nicht nur mögliche Welten, sondern sie macht als stärkste aller Metaphysiken gerade auch die aktuelle Welt kosmologisch greifbar. Zudem lassen sich bei Gedankenexperimenten auf digitalmetaphysischer Basis in umfassender Weise AI-Technologien einsetzen, womit sich bisher bestehende kognitive Grenzen sprengen lassen. Deskriptiven Metaphysikern bleibt die Normalsprache; sie ist jedoch im Sinne Mastermans (1984) vor dem Hintergrund der revisionären Metaphysik auf das Whiteheadsche Sprachmodell zu bringen. Wenn die Metaphysik nach der Physik bzw. den Erfahrungs- und Strukturwissenschaften kommt, und nicht nach einer normativ verstandenen Linguistik der Alltagssprache, liegt die für die Philosophie eigentlich angemessene Normalsprache mitnichten im OLP-Schema. Russells ILP-Schema ist dem Whiteheadschen Sprachmodell insofern unterlegen, als es sich nicht um eine empiristische Universal-synthese bemüht. Diese ist jedoch erforderlich, um zu einer transdisziplinären Semantik gelangen zu können. Mit anderen Worten bedarf jede universale Erfassung techno-wissenschaftlicher Sachverhalte einer *Klasse-4-Metaphysik der Erfahrung*, während eine *Klasse-2-Metaphysik a priori* an diesem Erfordernis vollständig scheitert. Die Informatik ist dabei auf dieses Moment der techno-wissenschaftlichen Erfahrung in jeder Hinsicht angewiesen. Das betrifft nicht nur H.A. Simons (1995a) Feststellung, dass die AI-Disziplin eine *Empirical Science* ist, sondern es betrifft alles: das Agentenprinzip, die cyber-physischen Gestaltungsprinzipien aller Systeme der Informatik auf Basis des aktuellen Stands des Wissens, oder etwa die transdisziplinäre Wissensrepräsentation als solche, die mit den Grundkategorien aller Struktur- und Erfahrungswissenschaften notwendigerweise korrespondieren muss.

Insbesondere die Metaphysik der zweiten AI-Generation offenbart den Umstand, dass die entscheidenden Aspekte nicht an der Oberfläche liegen. Das macht wiederum die Metapher "*AI is metaphysics*" zur echten Losung, indem die AI-Disziplin entsprechend nicht um das umfassende Vollziehen von Metaphysik umhinkommt. Denn ihre gesamten Grundlagen sind anders gar nicht zu schaffen. Die Position von H.L. Dreyfus (1972, 2007)

zeigt, dass die AI-Disziplin gerade in ihrer fundamentalen Begründung keineswegs oberflächlich vorgehen kann. Denn auf den ersten Blick liegt sie mit ihrem situativ-kontextuellen Moment des Kantischen Agenten in ihrer Heideggerschen Variante richtig; umgekehrt eröffnet sie jedoch viele Irrtümer, insbesondere in Bezug auf den Subjektivismus bzw. Konstruktivismus und eine entsprechend verfehlte Wissenschaftsauffassung. Als Technologie kann die AI-Disziplin gar nicht auf solch verfehlten Sichtweisen gründen, wenn sie sich als cyber-physische Disziplin zur Gestaltung realer Systeme begreift. Denn Technologie steht immer einerseits in kombinierender Weise in Relation zu den Wissenschaften, andererseits jedoch im technischen Sinne genauso zur Handlungspraxis. Darüber hinaus wird mit dem Moment globaler IoX-Intelligenz ebenso deutlich, dass die Skepsis gegenüber dem metaphysischen und epistemologischen Realismus völlig unbegründet wie unangebracht ist. Vielmehr führt sie genau umgekehrt zu ungeeigneten bzw. im Sinne der Cyber-Physik falschen Sichtweisen, die echtem Fortschritt der Informatik entgegenstehen. Dabei ist bzgl. ihres strukturwissenschaftlichen Fundaments der bisherige Fortschritt tatsächlich bescheiden; er ist eigentlich nur technisch. Dabei gibt es nur ein Fundament der Informatik, und das liegt in ihrem eigentlichen Ursprung, in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Will die Disziplin echten Fortschritt erzielen, der nicht nur technisch, sondern grundlegend ist, dann muss sie hier ansetzen.

Metaphysik der Erfahrung basiert auf dem Leibnizschen Moment der Perzeption, das in kognitiven Agenten gipfelt, ohne auf diese beschränkt zu sein. Insofern wird die Metaphysik zum Ratio-Empirismus, zur Kombination von Induktion und Deduktion, die das subjektive wie objektive Moment im kosmologischen Sinne vereint. Darin besteht der einheitliche Gedanke der Positionen von Leibniz, Whitehead und Popper, wobei auch die beiden letztgenannten dem prozessualen Automatenuniversum Leibnizens verpflichtet sind. Es ist dieses, das ihre Realitätsauffassung, ihren Grundstoff der Information wie ihr durchgängiges Prinzip kausaler Wirksamkeit begründet. Indem alles objektive Wissen auf begrenzt rationale Agenten zurückgeht und lediglich die methodologische Besonderheit der Falsifikation deduktiver Hypothesen aufweist, ist alles Wissen fehlbar. Insofern gilt für alle CPS-Agenten der kritische Realismus: Und wenn sie helfen, das objektive Wissen zu verbessern, folglich der Kritische Rationalismus als methodologischer Vollzug des Whiteheadschen Ratio-Empirismus. Nicht nur die Ursprünge der Informatik bestehen in diesem Automatenuniversum, sondern die hier mit perzeptiven und kognitiven Agenten beschriebene Dualität von Subjektivismus und Objektivismus, von Empirismus und Rationalität ist das, was die Informatik zwingend in genau dieser Weise voraussetzen hat. Denn anders kann sie nicht Strukturwissenschaft sein, die als Technologie Cyber-physische Systeme (CPS) konstruiert, sie in die faktische Realität bringt, und diese empirisch untersucht. Natürlich gelten dabei die universal vorauszusetzenden Gesetze der Cyber-Physik. Diese Position berührt alles in der Informatik; im richtigen Verständnis macht es sie erst als Disziplin aus. Besonders betrifft das ihren AI-Kern: vom *Cognitive Computing* Leibniz-Whiteheadscher

Provenienz, über die transdisziplinäre Wissensrepräsentation bis hin zu den Aspekten von Big Data und der Information Fusion, d.h. der Verdichtung von Daten zu Information und Wissen. Indem solche Daten aus Multisensorsystemen stammen, ist dieses Wissen weder ein lokales noch ein subjektives; es ist ein globales Wissen und methodologisch richtig aufbereitet eines von objektiver Natur. Entsprechend bilden *exakte Semantic E-Sciences* konventionelle Wissenschaften in der Informatik nicht etwa nur ab; vielmehr eröffnen sie im Leibnizschen Sinne auf Basis von *Scientific Ontologies* echte Superintelligenz, was sich an einem einfachen Beispiel verdeutlichen lässt: Angenommen alle Messpunkte in allen Regionen der Erde wären informatorisch miteinander verbunden bzw. man würde diese im Sinne von Multisensorsystemen zu einem globalen Erdbebenfrühwarnsystem im *Internet of Geophysical Things* (IoGT) ausbauen, dann ließen sich prinzipiell alle relevanten physischen Sachverhalte überall in exakt der gleichen Weise automatisch über die Sensoren messen. Alle Signale würden in genau der gleichen Weise in digitale Daten umgewandelt und liefen in einem Zentralrechner zusammen. Hier werden sie im CEP-Sinne der Information Fusion (HLIF) verdichtet und im Wechselspiel mit *Scientific Ontologies* im deduktiven Sinne durch eine globale Intelligenz wissenschaftlich analysiert. Auf diese Weise ließe sich im Leibniz-Whiteheadschen Sinne für diese Domäne eine *Einheit der Erkenntnis* realisieren, was für alle anderen IoX-Fälle, etwa im primär technologischen IoV-Fall, analog gilt. Es wird also auf Basis globaler IoX-Strukturen jene transdisziplinäre *Einheit allen Wissens in einer Leibniz-Welt* eröffnet, die eine kosmologische Einheit der Erkenntnis exakt und in Echtzeit als IoX-Intelligenz möglich macht.

Vor diesem Hintergrund wird besser deutlich, dass globale Intelligenz qualitativ etwas gänzlich anderes bedeutet als Schwarmintelligenz oder lokale Intelligenz. Letztere ist etwas rein subjektives, vorletzte etwas intersubjektives, während erste auf etwas Objektives hinausläuft. Denn das methodologische Mittel der Wahl ist hier nicht die Induktion, sondern die Deduktion. Es geht auch um nichts subjektgebundenes, sondern im Popper-schen W3-Sinne gerade um die Ablösung des Wissens vom Subjekt. Es geht um Artefakte, um AI-Ontologien. Gegenstand der globalen Intelligenz im IoX-Hyperspace ist die Generierung objektiven Wissens, das sich auf Grundlage von *Near Real-Time Analytics* (NRTA) bzw. teilweise in Echtzeit alternativ für wissenschaftliche, technologische oder praktische Zwecke nutzen lässt. So gesehen besteht in der globalen Intelligenz erst die eigentliche Artifizielle Intelligenz, indem diese als *M2M-Superintelligence* zu verstehen ist, der Superintelligenzgedanke aber weder auf den einzelnen maschinellen Agenten noch auf einen Schwarm von Agenten, sondern auf den globalen Aspekt verweist. Richtig verstanden ist Superintelligenz erst, wenn sie vor dem Hintergrund sämtlicher Möglichkeiten entwickelt wird, die erst die globale Intelligenz im Wechselspiel mit lokal verankerten Agenten eröffnet. Erst mit der dritten AI-Generation stellen sich alle grundlegenden Fragen in tatsächlich universaler Weise, wie es der CPST- bzw. IoX-Hyperspace verlangt. Dann geht es nicht nur etwa um maschinelle IoA-Agenten oder um kognitive IoP-Belange; viel-

mehr lässt sich erst dann das *Internet of Things* (IoT) richtig verstehen: Im Sinne des *Service-Oriented Computing* (SOC) bzw. dem Wechselspiel von *Cloud* und *Edge Computing* ist es im Sinne globaler Intelligenz auszulegen. Dazu müssen die infrastrukturellen IoD- und IoS-Aspekte hinzukommen. Die Leibniz-Whiteheadsche Metaphysik ist vor diesem Hintergrund auch insofern entscheidend, als sie einerseits eine perzeptive Metaphysik der Erfahrung darstellt, was technologisch auf die Sensorik weist. Andererseits ist sie umgekehrt notwendig rationalistisch, indem sie vor dem Hintergrund globaler Intelligenz gar nicht anders verfahren kann. Insofern ist die Digitalmetaphysik *ratio-empirisch*, wie es bei Whitehead im Kontext der modernen Erfahrungswissenschaften und Technologien noch deutlicher wird als bei Leibniz. Denn bei letztem gelangt der Ratio-Empirismus nicht in der *Metaphysica* selbst, sondern erst vor dem Hintergrund der kosmologischen Intention des Leibnizprogramms zum Vorschein.

Weder die erste noch die zweite AI-Generation ist zwingend auf den CPST- bzw. IoX-Hyperspace angelegt; sie sind auf diesen auch gar nicht zugeschnitten, da sie alle infrastrukturellen Aspekte wie insgesamt jenen der globalen Intelligenz übersehen. Zwar gilt für die "Heideggerian AI" bei H.L. Dreyfus (2007) und anderen das "Being-in-the-World", doch ist dies allein in phänomenologischer Kognition kontext- bzw. situationsbezogen. Demgegenüber kann es nicht auf jene *universale* Stufe des "Being-in-the-World" der "Whiteheadian AI" gestellt werden. Doch ist es diese, die mit der dritten AI-Generation vorauszusetzen ist. Denn Automaten als *cyber-physische "Reality Machines"*, die mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, operieren beständig in Datenströmen und induzieren Datenströme, die prinzipiell objektiv messbar sind: Es gibt Fakten im Universum, unabhängig davon, ob bzw. wie der Agent sie subjektiv perzipiert. Mit Whitehead gilt explizit der metaphysische und epistemologische Realismus im Sinne des kritischen Realismus; es gilt die Koexistenz von Poppers Welt 1 und Welt 2. All das ist für die Informatik vorauszusetzen, vor allem auch die Trennung von Perzeption und Kognition wie ihre gleichzeitige Bezogenheit: Denn es gibt Sensoren und es gibt kognitive Agenten, wobei erste prinzipiell auch unabhängig von zweiten zum Einsatz kommen können, etwa wenn lokal nur gemessen, aber nicht adaptiert wird. Genauso gilt in Bezug auf die Aktorik, dass diese nicht zwingend mit einem lokalen Agenten verkoppelt sein muss. Aber immer gibt es irgendeine Intelligenz, mindestens eine programmierte oder aber einen Agenten als lokalen, regionalen oder globalen Entscheider.

Jede Adaption von Agenten schafft neue Fakten, und diese sind im cyber-physischen Sinne von *Echtzeitoperationen* zu verstehen. In M. Wheelers (2012) falscher, naturalistischer Interpretation der Heideggerschen Metaphysik mögen *Echtzeitoperationen* von Bewandnis sein, doch verwehrt mit Verweis auf Pkt. 5.6 bereits die subjektive Zeittheorie Heideggers (1927) eine Kompatibilität mit der Cyber-Physik. Und diese ist für Cyber-physische Systeme (CPS) unabdingbar. Demgegenüber gründet die "Whiteheadian AI" auf völlig anderen metaphysischen Voraussetzungen; sie verkörpert nicht nur das Computing

an sich, sondern gerade jene Form, auf die es im CPST- bzw. IoX-Hyperspace ankommt, nämlich das *Real-Time Computing* (RTC). Denn bei Whitehead messen alle lediglich begrenzt-rationalen Agenten als Perzeptoren beständig lokal, während es prinzipiell den Standpunkt substantieller Rationalität gibt, der für die einzelnen Agenten jedoch unerreichbar ist. Indessen ist im Sinne globaler Intelligenz durch techno-wissenschaftliche bzw. praktische Reflexion eine erfahrungsbezogene Annäherung im Sinne des kritischen Realismus erreichbar. Indem der CPST- bzw. IoX-Hyperspace auf *Echtzeitoperationen* ausgelegt ist,⁷⁵¹ muss auch das IoX-Computing als *Real-Time Computing* (RTC) verstanden werden.⁷⁵² Denn eine physisch wie kausal in die Prozesse der realen Welt verwobene Sensorik und Aktorik lässt in den seltensten Fällen Batchverarbeitung zu. Vielmehr operieren sie im Allgemeinen mehr oder minder in Echtzeit, je nachdem, in welcher Art von Interaktionsbeziehung sie zu ihrer Umwelt stehen. Hier kann es bzgl. des *Sense-and-Respond Model* bereits marginale Unterschiede in Bezug auf Reaktionserfordernisse geben. In einigen Kontexten, etwa IoV-Kontexten können Millisekunden entscheidend sein, in anderen kann hingegen eine sekunden-, minuten- oder gar stundenverzögerte Reaktion ausreichend erscheinen. Demgegenüber ist jenseits Echtzeit bzw. Echtzeitnähe IoX-Computing in fast allen Fällen schlichtweg irrelevant. Natürlich gibt es Ausnahmen wie lange Messreihen für techno-wissenschaftliche Zwecke.

Für die IoX-Architektur ist also die Echtzeitreaktion primär entscheidend. Damit muss jedoch die gesamte Informationsverarbeitung und somit die ganze IoX-Infrastruktur im Zeichen solcher Echtzeitoperationen stehen. Bewegen sich die Dinge zudem "in der Welt", werden im Zuge des *Ubiquitous Computing* 4D-basierte *Real-Time Locating Systems* (RTLS) relevant,⁷⁵³ wie sie etwa im Kontext von GIS-Systemen thematisiert werden. Zudem ist in IoX-Kontexten zu berücksichtigen, dass die Dinge im Zeitablauf selbst ihrem Lebenszyklus unterliegen, womit IoX-Ressourcen im Sinne von Ressourcenlebenszyklen auszulegen sind. Diese 4D-Lebenszyklen sind genauso für die Smart Factory als *Factory of Things* voranzusetzen, indem ihre Halbfabrikate ständiger Transformation unterzogen sind, was im Wertschöpfungssinne als evolutionärer Wandel der Höherentwicklung verstehbar ist. Indem die Meta-Ontologie bei Cyber-physischen Systemen (CPS) einen rationempirischen Zugang einfordert, ist ein Physikmodell voranzusetzen, das im Zeichen der CPSS-Adäquanz nicht beliebig sein kann. Vielmehr läuft es mit Pkt. 4.2 auf die "*New Physics*", also die *Physik der Evolutionsprozesse* bzw. die Komplexitätsphysik hinaus. M. West (2002) und andere setzen bereits in der chemischen Prozessindustrie 4D-Datenmodelle nicht zuletzt aus dem Grunde voraus, weil physische Stoffe andere Aggregatzustände einnehmen oder Objekte im Zeitablauf überhaupt erst emergieren. Dabei zerfallen sie nicht erst wieder entsprechend ihrer Halbwertszeit, sondern bereits in der EOL-Phase.

⁷⁵¹ Vgl. Hromic et al. (2015).

⁷⁵² Vgl. etwa Stankovic (2014); vgl. zum RTC auch Shin/Ramanathan (1994). Es steht außer Frage, dass das RTC im IoX-Kontext gleichzeitig ein *High Performance Computing* (HPC) bedingt, vgl. El Baz (2014).

⁷⁵³ Vgl. etwa Hamdi et al. (2008).

Mit dem in Pkt. 2.5 erörterten PPR-Framework gelten diese Zusammenhänge generell. Entsprechend hat das *Internet of Everything* (IoX) mit Pkt. 6.2.5 auch prinzipiell auf einem solchen Vierdimensionalismus bzw. Perdurantismus aufzusetzen.

Wenn außer Frage steht, dass jedes *IoX-Computing* in fundamentaler Weise nicht nur adaptiv auf Agenten wie kausal auf der Aktorik, sondern vor allem perzeptiv auf der physischen bzw. virtuellen Sensorik aufbaut, ist unzweifelhaft, dass bei typischen Multisensorsystemen Massen an Sensordaten anfallen. Damit ist das *IoX- bzw. IoTS-Computing* nicht nur an sich datenzentrisch,^{754, 755} sondern es fordert damit die erwähnte ontologiegestützte höhere Informationsfusion (HLIF) ein. Denn jedes "*Sense*" ist im Signal- bzw. Bit-Sinne ein "*Event*", und damit ist das *Sense-and-Respond Model* im Zeichen *komplexer Regeln* zu verstehen, die letztlich eine ontologische Basis erfordern. Im Grundprinzip geht es auch hier um ein *Event-Condition-Action* (ECA)-Regelschema, allerdings mit dem Unterschied, dass *Problemlösungsmethoden* (PSMs) in gesonderten *Methodenontologien* (Method Ontologies) gespeichert sind, genauso wie spezielles *Aufgabenwissen* in speziellen *Aufgabenontologien* (Task Ontologies) usw. UoD-bezogene Weltmodelle sind im Allgemeinen mitsamt ihres Beziehungsgefüges viel zu komplex, als sie noch in Algorithmen abbildbar sind. Entsprechend baut das *Sense-and-Respond Model* komplexer IoX-Systeme in modularer Weise auf verschiedensten Ontologien auf, wie sie in Pkt. 3.3.1 klassifiziert werden. Auf diese Weise sind sie jenseits der automatisierten Adaption auch *ad hoc* durch Fachexperten änderbar, wie es das *Adaptive Enterprise Design* verlangt, das mit dem *Sense-and-Respond Model* unmittelbar impliziert ist. Dabei steht außer Frage, dass alle Ontologien nicht zuletzt im *Reality-Computing* auf genau den gleichen fundamentalen Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen stehen müssen, um die erforderliche ontologische Konsistenz gewährleisten zu können. Eigentlich ist das selbstverständlich, entspricht jedoch mit Pkt. 1.1 nicht den Tatsachen der Informatik. Somit läuft jedes sachgerechte *IoX-Computing* konsequent auf *IoX-Ontologien* hinaus, die einheitlich auf eine CPSS-adäquate *Top-level Ontologie* referenzieren.

IoX-Strukturen sind ohne das *Sense-and-Respond Model* undenkbar, und dabei besitzt dieses nicht nur für das *Smart Object* bzw. "*Thing*" selbst, konkret im Sinne einer autonomen Steuerung Gültigkeit, sondern es geht um mehr: um die Steuerung des gesamten ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarios. Im *Internet of Things* interessiert auf Investitionsgütermärkten im Zeichen von Wartungsverträgen ggf. jedes einzelne intelligente Produkt, wie es auch in Bezug auf Billingprozesse relevant sein kann. Zumeist aber, insbesondere auf Konsumgütermärkten bei hochwertigen Gebrauchsgütern sind es alle Produkte einer bestimmten Produktklasse. Es kann etwa um eine spezifische Variante ge-

⁷⁵⁴ Vgl. Aggarwal/Ashish/Sheth (2013), Ciobanu et al. (2014) sowie Qin et al. (2016).

⁷⁵⁵ Indem das *Internet of Everything* (IoX) die erwähnten Subsysteme besitzt, bei denen *IoTS-Systeme* lediglich einen Teil bilden, bezieht sich auch der Aspekt *massiver Datenmengen* auf sämtliche Subsysteme. Insofern ist es mit dem *Physical-Cyber-Social (PCS) Computing* bei Sheth et al. (2013) identisch, aus dem das Erfordernis eines semantischen *Big Data Processing* resultiert, vgl. Thirunarayan/Sheth (2013).

hen, deren Daten gleichzeitig zu erheben und auszuwerten sind. Das betrifft etwa Sensorinformationen bzgl. Fehleranalysen, Systemupdates oder Optimierungs- bzw. Innovationsaspekten. Genauso geht es in lokalen Szenarien um die lokale Kommunikation unterschiedlichster Dinge, die als eindeutig identifizierbare Objekte aktiv Datenflüsse generieren und beständig Daten mit anderen lokalen Objekten austauschen.⁷⁵⁶ Insofern ist in IoT-Architekturen immer eine prinzipielle Parallelität von *lokaler* und *globaler* Steuerung gegeben,⁷⁵⁷ die letztlich beide gleichermaßen wesentlich sind. Datenanalytisch betrachtet sind in IoX-Strukturen weniger einzelne lokale Sensoren und deren Daten von Relevanz, als vielmehr regional bzw. global verteilte Multisensorsysteme. Dieser Vorteil einer größeren Datenbreite lässt sich wiederum am Beispiel der Erdbebenfrühwarnsysteme im *Internet of Geophysical Things* (IoGT) veranschaulichen.⁷⁵⁸ Analoges trifft prinzipiell auf sämtliche Diskursuniversen bzw. Domänen zu, von der Verkehrslenkung über die *Smart Factory*, das Tracking von Logistikströmen bis etwa zur Terrorabwehr, den militärischen Bereich oder vergleichsweise einfachen Brandmeldeanlagen. Weitaus ambitionierter gestalten sich die Analysen komplexer Ereignisse bei Angriffserkennungssystemen (IDS) zur Erkennung von Cyberangriffen, die sich gegen komplexe Computersysteme oder ganze Rechnernetze richten.⁷⁵⁹ Daraus folgt: es kommt in komplexen IoX-Systemen nicht nur auf die koordinierte Steuerung und Auswertung von Multisensorsystemen und ihren Daten an, sondern vor allem auf die darauf aufsetzende *Big Data Analytics* (BDA).^{760,761} Denn diese bilden einen Kernbestandteil dessen, was *"Sense"* und *"Respond"* verbindet. Das lässt sich unter die *Digital Analytics* subsumieren, auf der wiederum Agentenentscheidungen gründen. Damit ist die höhere Informationsfusion (HLIF) verbunden, mit der alle relevanten Daten zu Information und Wissen verdichtet werden, auf dem das *Realtime IoX-Monitoring* aufsetzt. Auch hier wird die enge Verbindung zwischen IoD, IoS, IoT und IoA wesentlich, während in solch vollends automatisierten AI-Systemen sich der IoP-Aspekt relativiert. Analog stellt sich dann auch ihr Stellenwert bzgl. der Ontologiearchitektur dar. Menschliche Agenten sind in vielen Fällen nur noch informatorisch eingebunden, während die Problemlösung vollautomatisch durch maschinelle Agenten gesteuert wird.

Haeckels *Sense-and-Respond Model* läuft also nicht nur an sich auf ein *Adaptive Enterprise Design* hinaus,⁷⁶² sondern setzt damit eine umfassendere *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) voraus, womit der ganze Bereich der *Enterprise Architecture* (EA) maßgeblich berührt ist. Gerade im Hinblick auf die *Smart Data Analytics* (SDA) geht es indessen vor allem um das Wechselspiel zwischen lokaler bzw. regionaler und globaler

⁷⁵⁶ Vgl. etwa Caputo et al. (2016).

⁷⁵⁷ Vgl. hierzu auch Ning/Wang (2011).

⁷⁵⁸ Vgl. etwa Sepulveda/Pulliam (2016).

⁷⁵⁹ Vgl. hierzu etwa Jun/Chi (2014).

⁷⁶⁰ Vgl. hierzu etwa Ciobanu et al. (2014), Aly et al. (2015) sowie ergänzend Slama et al. (2015).

⁷⁶¹ Das betrifft mit Castellanos et al. (2010) auch den BI-Aspekt. Die gängige *Real-Time Analytics* (RTA) bzw. *Near Real-Time Analytics* (NRTA) wird damit zunehmend zur *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA), vgl. hierzu etwa Gupta/Saxena (2016).

⁷⁶² Vgl. hierzu auch Missbach (2003).

Intelligenz. Haeckels *Sense-and-Respond Model* steht offensichtlich im Kontext genau dessen, was Multiagentensysteme (MAS) mit *Complex Adaptive Systems* (CAS) verbindet. Ein adäquates Verständnis des *IoX-Computing* lässt sich entsprechend erst dann erzielen, wenn zuvor die MAS/CAS-Adaptabilität sachgerecht hinterfragt ist. Natürlich sind für vernetzte Strukturen die unterschiedlichsten Adaptionsmuster bzw. Steuerungsparadigmen charakteristisch, etwa rein dezentrale Agenten, die zwar vernetzt sind, aber letztlich völlig autonom agieren. Oder aber eine zentrale Instanz, die wesentliche Aspekte vorgibt, und somit den Entscheidungsspielraum der dezentralen Agenten verringert. Wenn man aber die systemische Struktur speziell im *IoX-Computing* untersucht, zeigt sich dieser Sachverhalt weniger klar. Das betrifft vor allem zwei der fünf IoX-Subsysteme, wobei nicht nur ihre Semantikfrage, sondern gerade auch das IoP/IoT-Wechselspiel herausfordernd ist. Das W3C verfolgt im IoP-Kontext in Bezug auf *menschliche* Agenten – aus *sozialphilosophischen* Gründen – eine streng dezentrale Position, die indessen für die Struktur der Interaktionsbeziehungen prägend ist.⁷⁶³ Intelligenz, die über das Individuum hinausgeht, kann dann nur intersubjektiver Natur sein. Faktisch geht es dann allein um den Gedanken *kollektiver Intelligenz*, der aus dieser rein dezentralen Struktur resultiert.⁷⁶⁴ Demgegenüber werden in dieser philosophischen Perspektive alle zentralistischen Momente aufgrund solcher *sozialphilosophischen* Überlegungen von vornherein ausgeschaltet. D.h. diese sind tatsächlich für das AI-Intelligenzverständnis entscheidend, wenn aus dem Social Web ein *Smart Web* werden soll.

Das Moment globaler Intelligenz kann vor diesem Hintergrund erst gar nicht erwogen werden, weil es zentralistischer Natur ist. Das Problem ist auch hier offensichtlich: das Ontologieverständnis des W3C macht mit Hayes et al. an der *menschlichen* Agentenklasse, nicht aber an *maschinellen* Agenten bzw. den Erfordernissen von IoA-Rechnerstrukturen fest. Demgemäß sieht das W3C letztlich auch von der *Top-level Ontologie* ab, weil sie zum einen als zentralistisches Moment gewertet wird, zum anderen für *menschliche* Agenten zu kompliziert erscheint.⁷⁶⁵ Auch hier geht es also nicht um die Belange maschineller CPS-adäquater Agenten, sondern letztlich ausschließlich um solche der ersten Art. Wenn das nachweislich zulasten einer sachgerechten Fundierung des *"Reality Computing"* geht, kann darin kaum eine für die Informatik geeignete Perspektive bestehen. Zudem kann ein Supercomputer in IoA-Strukturen natürlich nicht auf eine Stufe gestellt werden mit zentralistischen Instanzen, die im Sinne der Sozial- bzw. Gesellschaftsphilosophie für den IoP-Bereich als kritisch erachtet werden. Konkret ist dem W3C- bzw. W3C-Umfeld vorzuhalten, dass es im Zuge von Berners-Lees Gedanken des *"Philosophical Engineering"* an ungeeigneten Philosophien festmacht. Denn diese beziehen sich vor allem auf spezifische Web-Aspekte, nicht aber auf einen universalen Standpunkt der Informatik. Auch das ist ein

⁷⁶³ Vgl. dazu etwa Berners-Lee/Halpin (2012).

⁷⁶⁴ Vgl. etwa Halpin/Clark/Wheeler (2014).

⁷⁶⁵ Wenn mit der W3C *SSN Sensor Ontology* diese *TLO-Referenz* mit DOLCE+DnS Ultralight (DUL) hingegen besteht, zeigt sich, dass nicht einmal das W3C selbst eine einheitliche Ontologieauffassung besitzt.

Symptom des Umstands, dass die eigentlichen philosophischen Grundlagen der Disziplin mehr oder weniger komplett unverstanden sind.

Auf Basis der falschen Philosophien und eines ungeeigneten Intelligenzverständnisses im Sinne kollektiver Intelligenz sind die Auswirkungen der verfehlten W3C-Position weit- aus schwerwiegender als es auf den ersten Blick erscheint. Das W3C übersieht oder hält es für irrelevant, dass das *Semantic Web* (Web 3.0) weit über den ursprünglichen WWW-Ge- sichtspunkt hinausläuft, der vor allem im *Social Web* (Web 2.0) zu sehen ist. Selbst dieses wurde bereits als Enterprise 2.0 auf Organisationen bezogen, die ungeachtet aller selbstor- ganisatorischen Aspekte immer eine Infrastruktur und eine globale Intelligenz besitzen. Letztlich weisen sie gar, mindestens überlagernd, zentrale Steuerungsinstanzen auf, etwa im Hinblick auf die Prozesssteuerung, selbst wenn die Prozesse an sich dezentral ablaufen. Indem sich das Semantic Web (Web 3.0) zum *Smart Web* (Web 4.0) weiterentwickelt, wird der Aspekt globaler Intelligenz zunehmend entscheidend. Selbst wenn die Smart Factory im MAS-Sinne im Unterschied zum alten CIM-Ansatz prinzipiell ein *dezentrales* Steue- rungsparadigma besitzt, weist sie in anderer Hinsicht, etwa des IoX-Monitoring oder der vorausgesetzten Top-level Ontologie *zentralistische* Momente auf. Offenbar ist es also falsch, wenn die WWW-Philosophie rein *dezentralistisch* ist, indem sie damit nicht an den tatsächlich relevanten Strukturen festmachen kann, für die dezentrale wie zentrale Aspekte ausschlaggebend sind. In der Tat weisen vier der fünf IoX-Subsysteme diese dualistische Struktur auf, während bereits das Enterprise 2.0 zeigt, dass sie selbst für den IoP-Bereich gilt. Letztlich vollzieht sich die Adaption bei jedem IoX-Subsystem in Bezug auf be- stimmte Aspekte in dezentraler, in Bezug auf andere jedoch in zentraler Weise. Wie ge- zeigt, kann man etwa bei IoT-Strukturen wie jener im *Internet of Vehicles* (IoV) von einer trilateralen Steuerung sprechen, indem es sowohl lokale, als auch regionale und globale AI-Steuerungsimpulse geben kann. Analog ist bzgl. solcher Strukturen von einer Symbiose von lokaler bzw. regionaler und globaler Intelligenz zu sprechen.

Der IoX-Hyperspace weist keine einfachen, sondern kombinierte Steuerungs- bzw. Strukturprinzipien auf, indem sich weder sagen lässt, dass es sich um eine rein dezentralis- tische noch um eine rein zentralistische Steuerung handelt. Mit dem IoP-Subsystem und menschlichen Agenten ist das dezentrale Steuerungsprinzip im Sinne des W3C gesetzt. Demgegenüber kann dies in bestimmten Szenarien des IoA-Subsystems ganz anders aus- sehen, wobei es gar der Regelfall ist, dass maschinelle Agenten für andere Aufgaben erle- digen, auch wenn sie dabei lokal einen adaptiven Spielraum besitzen. In ontologischer Hinsicht sind diese Unterschiede gerade mit Blick auf die Top-level Ontologie bzw. ein- heitlich vorausgesetzte Referenzontologien von Belang. Vor allem aber besteht die Onto- logieproblematik wiederum darin, dass sich ontologisch nicht zwischen dem IoA- und IoP- Subsystem differenzieren lässt. Es ist letztlich eine einheitliche Ontologiearchitektur vo- rauszusetzen, auch wenn es um andere Agenten mit jeweils spezifischen Kontexten geht. Tatsächlich gibt es auch in Bezug auf die Perzeption und Kognition sowohl besondere lo-

kale, regionale als auch besondere globale Aspekte, die durch die AI-Disziplin zu berücksichtigen sind: Lokal geht es im Hayekschen Sinne um die lokale Expertise des Agenten, um lokale Situationen und Kontexte bzw. um eine lokal verankerte Sensorik resp. Aktorik. Multiagentensysteme mit vernetzten Agenten führen demgegenüber zu regionalen Abstimmungsmöglichkeiten. Der globale Vorteil liegt wiederum im Zusammenlaufen aller lokalen Daten und der deduktiven Methode. Zudem ist in Bezug auf die Wissensgenerierung in der IoX-Strukturfrage zu berücksichtigen, dass nicht nur disparate Agentenklassen, sondern auch unterschiedliche Computerklassen verschaltet sind. Diese reichen mit völlig verschiedenen Rechenleistungen vom Nanocomputer über Minicomputer bis hin zu Supercomputern zentraler Rechenzentren. Im Sinne des *Cloud Computing* sind letztere gerade auch für das IoP-Subsystem von Relevanz, während ein umfassendes Wechselspiel zwischen *Cloud Computing* und *Fog* bzw. *Edge Computing* insbesondere für IoT-Strukturen kennzeichnend ist.⁷⁶⁶ In Bezug auf letzteres steht insbesondere vor dem Hintergrund des IoA-Subsystems außer Zweifel, dass in der "Edge" umfassendere Intelligenz zu verankern ist.⁷⁶⁷ Diese Feststellungen sind für die AI- und Ontologiedebatte insofern elementar, als sie etwa entgegen V.C. Müller (2007) zeigen, dass es keinen unbedingten Gegensatz zwischen einem zentralistischen und dezentralistischen AI-Paradigma gibt. Das, was als Gegensatz von "old AI" und "new AI" gewertet wird, sind nichts weiter als Pendelschläge im Sinne von Steels (2007). Im Ganzen betrachtet hat jedoch beides in der Symbiose der dritten AI-Generation aufzugehen.⁷⁶⁸ Im IoX-Hyperspace sind entsprechend auch beide Steuerungsparadigmen als komplementär zu erachten, selbst wenn der Agentengedanke in Bezug auf den adaptiven Entscheidungsspielraum an sich auf ein dezentrales Steuerungsprinzip weist.

Insgesamt wird deutlich, dass *IoX-Computing* weitaus mehr ist als bloß vernetzte Dinge mitsamt Sensorik und Aktorik.⁷⁶⁹ Selbst sein IoT-Subsystem beschränkt sich nicht auf die Interaktion von Dingen, sondern impliziert ein *webbasiertes Management des Internet of Things*, womit insbesondere die Steuerung sowie das Monitoring, Mashup sowie die Visualisierung von Dingen gemeint ist.⁷⁷⁰ Wesentlich ist dabei vor allem, dass sich die Steuerung im Zeichen agentenbasierter Adaption nicht nur lokal in den *Smart Objects* selbst, sondern genauso als MAS-basierte Adaption regional wie global über das ganze komplexe IoX-System erstreckt. Das bezieht sich nicht nur auf die Interaktion von Agenten untereinander, sondern genauso auf systemübergreifende Steuerungsprozesse, die erst nach zent-

⁷⁶⁶ Vgl. Bonomi et al. (2014).

⁷⁶⁷ Vgl. dazu Yannuzzi et al. (2014) sowie Preden et al. (2015).

⁷⁶⁸ Im Sinne der dritten AI-Generation teilen wir nicht die Position V.C. Müllers (2007), wonach das traditionelle AI-Paradigma aufgegeben werden müsse, damit die AI-Praxis aufblühen könne. Gerade anhand SAW- oder CAW-Ontologien sowie anhand von Sensorontologien oder dem SCEP wird vielmehr deutlich, dass sich das alte AI-Paradigma in elementarer Weise weiterentwickelt hat. Etwa mit J. Yang et al. (2015) gehen Ontologien und kognitives maschinelles Lernen Hand in Hand, womit es insgesamt weder um "old AI" noch um "new AI" als vielmehr im Zeichen von CYPO/IMKO um eine dritte AI-Generation gehen muss: um kognitive Agenten, deren hybride Agentenarchitektur Teil einer integrierten Ontologearchitektur ist, die gleichzeitig induktiv wie deduktiv, (inter-) subjektiv wie objektiv verankert ist.

⁷⁶⁹ Vgl. exemplarisch R. Want et al. (2015); auch in vielen anderen Fällen wird dieser Eindruck vermittelt.

⁷⁷⁰ Vgl. L. Yao et al. (2015).

raler ontologiebasierter Verarbeitung von Massendaten auslösbar sind. Analoges gilt für Ontologie- bzw. Softwareupdates für *Smart Objects*, die genauso zentral gesteuert sind. Damit geht es um die globale Orchestrierung von Smart Objects, Prozessen und Ressourcen und damit von Systemen, Web Services, Datenmodellen usw., was nicht zuletzt auf die Orchestrierung verschiedenster Ontologien hinausläuft. Insofern setzt jedes *IoX-Computing* als *Real-Time Computing* das *Real-Time Enterprise* (RTE) voraus (vgl. Pkt. 2.1).⁷⁷¹ Dabei gründet dieses wiederum notwendig auf einer *Smart Enterprise Architecture* (SEA), die im sensor- bzw. ereigniszentrischen IoX-Kontext auf eine *Event-Driven SOA* (ED-SOA) verweist (vgl. Pkt. 2.2). Das ED-SOA RTE verlangt seinerseits eine integrative *Core Ontology* (CO), mit der die Intelligenz des *Sense-and-Respond Model* erst gewährleistet wird; diese wird in Form der *Enterprise Ontology* (EO) gestellt (vgl. Pkt. 2.3). Insofern besitzen komplexe IoX-Systeme zwei elementare Aspekte: den CPS-Aspekt, indem es um *Cyber-physische Systeme* (CPS) geht, sowie den SEA-Aspekt, indem sie notwendig auf dem *Real-Time Enterprise* (RTE) bzw. der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) aufsetzen. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* verlangt in CPS-Hinsicht die *Top-level Ontologie* (TLO) sowie in SEA-Hinsicht eine darauf referenzierende *Enterprise Ontology* (EO), womit eine *TLO-EO-Verkopplung* in beiden Richtungen für die IoX-Spezifikation zwingend wird (vgl. Pkt. 2.4). Die integrative EO-Rolle verlangt nach einem Integrationskonzept komplexer IoX-Systeme, das im PPR- bzw. PPRLT-Framework besteht (vgl. Pkt. 2.5). Dieses CPSS/SEA-Zusammenspiel wird anhand der CPPS der *Smart Factory* illustriert, wobei ein exemplarischer Exkurs auf *Holonics Manufacturing Systems* (HMS) mit ihren PPR-orientierten und SOA-basierten Multiagentensystemen (MAS) aussagekräftig ist (vgl. Pkt. 2.6). Im Hinblick auf das ED-SOA RTE bestehen indessen nicht nur bei der notwendigen bidirektionalen *TLO-EO-Verkopplung* größere Defizite und Defekte, sondern diese sind in CPSS/SEA- wie in MAS/CAS-Hinsicht vielmehr in diversen Hinsichten festzustellen (vgl. Pkt. 2.7). Indessen bleibt bei der Frage nach dem sachgerecht konzipierten TLO-Theorieanwärtler die elementare CPSS/SEA-Fixierung der *Top-level Ontologie* bisher im Sinne globaler Intelligenz unbeachtet, was abschließend thematisiert wird (vgl. Pkt. 2.8).

2.1 RTE: Sense-and-Respond, Real-Time Big Data Analytics und IoX-Monitoring

»Ontologies, and only ontologies, can give the process of acquiring knowledge from data a suitable semantic grounding.«

— Guido Vetere (2009: 5)

Der CPST-Hyperspace bildet das abstrakte, der IoX-Hyperspace das konkrete "*Universe of Discourse of Anything*" der Informatik, indem alle Agenten, alle Technologien etwa im Sinne unterschiedlichster Multisensorsysteme und Multiagentensysteme wechselwirken. Im Zeichen der Cyber-Physik geht es um "*Reality Computing*", womit es um CPS-adäquate Agenten geht, die sich im Sinne McCarthys (1963a: 66) so intelligent wie möglich

⁷⁷¹ Vgl. etwa Nochta (2008) sowie Haller/Magerkurth (2011); vgl. hierzu ferner Infosys (2015).

verhalten müssen, was wiederum das *Superintelligenzargument* begründet. Diese Entwicklungen betreffen entsprechend auch unmittelbar den Grundstoff der Informatik, nämlich Daten, Informationen und Wissen, die sämtlich im Leibniz-Whiteheadschen Sinne zu fassen sind. *Daten* sind Fakten der Cyber-Physik; es kann sich dabei etwa um physische Messwerte handeln, genauso jedoch um Daten der sozialen Sphäre, etwa Börsenkurse. Im Sinne von physischen bzw. virtuellen Sensoren handelt es sich entsprechend um Sensordaten. Insofern gelten die in Pkt. 3.5 abgegrenzten Welttypen nicht erst für die Wissens-ebene, sondern bereits für die Daten- und Informationsebene. Unter den Begriff der Daten fällt bereits die einfache Ansammlung von Zeichen, selbst wenn sie keine Bedeutung haben. Informationen sind situierte bzw. kontextbezogene Daten. Daten die in einem Kontext stehen, etwa Regeln oder Mustern entsprechen, bilden somit *Informationen*. Dabei ist dies in einem allgemeinen, transdisziplinären Sinne zu sehen. Daten mit Mustern bzw. Strukturen sind als *syntaktische Information* aufzufassen; insofern lässt sich auch von physikalischer, chemischer oder biologischer Information usw. sprechen. Genauso bildet jede Mehrzahl von Zeichen dann eine Information, wenn sie eine solche Struktur bzw. Ordnung aufweist. Weist sie diese nicht auf, handelt es sich lediglich um eine Ansammlung von Daten. Bei der Mustererkennung in Datenströmen verhält es sich gleich. Wichtig ist die Feststellung, dass bis zu dieser Stelle Daten und Informationen nichts mit dem erkennenden Subjekt zu tun haben: In der Natur verhält es sich so wie bei den Artefakten, nämlich nach Regeln. An den Artefakten wird dies dabei direkt ersichtlich: induziert ein Akteur physische Ereignisse, sind diese für Perzeptoren erfahrbar bzw. für Sensoren registrierbar bzw. messbar. Analoge Daten sind dabei verlustfrei in digitale Daten transformierbar. Genauso verhält es sich bei virtuellen Ereignissen, die sich bereits auf digitaler Datenbasis vollziehen und durch virtuelle Sensoren registrierbar bzw. messbar sind. Entsprechend vollziehen sich die Daten- bzw. Informationszusammenhänge in Cyber-physischen Systemen jenseits eines erkennenden Subjekts, das prinzipiell als ein teilnehmender oder außenstehender Betrachter fungieren kann. Physische Sensoren und Akteure bilden also nichts weiter als Instanzen in physischen bzw. technischen Vorgängen, und dieser Basisteil des Automatenuniversums hat nichts mit Kognition zu tun.

Kognition kommt mit kognitiven Agenten ins Spiel, wobei grundsätzlich zwischen maschinellen und menschlichen Agenten differenziert werden kann. Mit der Kognition wird also über den Bereich der Natur- und Strukturwissenschaften hinausgegangen, selbst dann, wenn wesentliche Teile der Kognitionswissenschaften in diesen liegen. Demgegenüber weist der eigentliche Agentengedanke sowie die für diesen zentrale Semantik gerade darüber hinaus. Mit ihm kommt zum einen die Philosophie, zum anderen alle anderen Wissenschaften, d.h. die Geistes- und Sozialwissenschaften ins Spiel. Beim Agenten geht es um situations- bzw. kontextsensitives Erfahren resp. Wahrnehmen, um Interpretieren und Erkennen einerseits, und um Ziele, Strategien und Entscheidungen andererseits, während sich dies alles in Interaktion mit der Umwelt, in sozialer Interaktion mit anderen Agenten und

in konkreten Handlungen darstellt. All dies ist geleitet von der jeweiligen Weltanschauung des Agenten, also durch die Agentenwelt bestimmt. Bei Sowa (1991g) *Semantic Interpreter* kann insofern von einem Agenten gesprochen werden, als dieser auf einen Interpretationszusammenhang weist. Bei der Information geht es zwar im syntaktischen Sinne nach wie vor um Strukturen bzw. Muster, die im Sinne des Deep Learning erkannt werden. Doch eigentlich entscheidend ist, dass mit dem Deep Learning nicht nur die Strukturen bzw. Muster erkannt werden, sondern dass diesen dann eine Bedeutung zugewiesen werden kann, sich also eine semantische Dimension eröffnen lässt. Im Fall des *Semantic Interpreter* liegt der Fall insofern etwas anders, als bereits das Ausgangsmaterial selbst in einer semantischen Struktur steht. Es geht also um *semantische Information*, die eine Bedeutung hat, wobei der "Sinn" im linguistischen Sinne den jeweiligen Bedeutungsgehalt verkörpert. Im Gegensatz zur syntaktischen Information liegt die semantische Information demnach nicht im Physischen im klassischen Sinne, sondern allein bedingt im Physischen im modernen Sinne bzw. im Cyber-Physischen: Es geht um kognitive Agenten als Whiteheadsche *Subjekt-Superjekte*, die physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind. So gesehen gehört dann auch die Semantik mit dazu, was menschliche wie maschinelle Agenten in ihren realen Handlungen gleichermaßen betrifft.

Der Agentengedanke war in der Informatik im Grunde immer gegenwärtig, indem sie als Disziplin im Grunde von Beginn an mit der Artificiellen Intelligenz gestartet ist. Denn ihre Sichtweise war von Anfang an die Automatentheorie, und diese geht wiederum auf das Leibniz-Whiteheadsche Automatenuniversum mit seinen Automaten bzw. kognitiven Agenten im Kantischen Sinne zurück. Allerdings ist der Agentengedanke deshalb lange Zeit nachrangig behandelt worden, weil die Artificielle Intelligenz in der praktischen Informatik bis vor wenigen Jahren keine zentrale Rolle gespielt hat. Sie war vielmehr eine Art Schattendisziplin, weil es ihr Stand nicht anders zuließ. Die praktische Informatik bestand demgegenüber im Zeichen des *Programmable Computing*, wobei man allerdings übersehen hat, dass im Grunde hier die menschlichen Programmierer die Agentenrolle übernehmen, indem bei ihnen nicht weniger meta-ontologische Dispositionen einschließlich solcher der epistemologischen Art im Spiel sind. Dennoch hat man sich über diese Dispositionen im Paradigma des *Programmable Computing* im Grunde wenig Gedanken gemacht, und selbst das *Information Processing* stand eher auf Basis der syntaktischen Information als auf einem umfassenden semantischen Informationsverständnis. Natürlich waren die Semantik und der Common Sense immer insofern entscheidend, als der ganze Bau von Informationssystemen gerade hieran festmacht. Bspw. stehen betriebliche Informationssysteme auf der speziellen Semantik des spezifischen Betriebes bzw. der Branche, und dabei handelt es sich einerseits um alltagssprachliche Begrifflichkeiten und andererseits um speziellere Begrifflichkeiten. Dabei geht es entweder um Begriffe von Referenzmodellen wie Kostenstelle oder Stammwerk, oder aber um spezielle, teils neu geschaffene Begriffe bzw. Bezeichnungen, die es allein in dem Paradigma eines spezifischen Betriebs

gibt. Für die Frage der Ontologiearchitektur der Informatik ist dies ein entscheidender Aspekt, weil diese Besonderheiten, die es auf Ebene der Anwendungsontologien, teils aber auch auf der Ebene der Referenzebene gibt, immer bleiben wird. Mit anderen Worten wird es immer Ontologien mit einer speziellen Semantik geben, für die Mikas (2007) "*ontologies are us*" zutreffend ist. Dennoch kann in ihnen gewiss nicht die AI-Kernsemantik liegen, und genau das wird bislang oftmals übersehen.

Auch wenn die semantischen Netze im Kontext der Maschinenübersetzung als AI-Teilbereich bereits auf Masterman (1961) zurückgehen und die Semantik mit Mealy (1967) in der Datenmodellierung oder mit P.P. Chen (1976) allgemeiner in der konzeptuellen Modellierung eine wichtige Rolle spielen, bildete sie eher ein spezielleres Thema, das Informatiker bis heute nachrangig behandeln. Mit Gruber (1993, 1995) wurden diese semantischen Netze zwar unter der Bezeichnung der *Ontologie* populär, doch wirklich hinterfragt wurde der Semantikaspekt in der Informatik kaum. Analoges gilt im Kontext des *Semantic Web*, das explizit auf Gruber aufbauend genauso einen semantischen Informationsbegriff voraussetzt. RDF und OWL weisen dabei auf die Semantik bzw. Grammatik der Alltagssprache. Um diese geht es auch im Paradigma des *Cognitive Computing*, und die Bezeichnung ist hier insofern Programm, als es im Unterschied zum *Semantic Web* nicht nur um semantische Information, sondern um Kognition und damit darüber hinaus um Erkenntnisprozesse und Wissen geht. Damit wird gleichzeitig der Agentengedanke, der lange Zeit nachrangig behandelt wurde, populär. Wichtig ist jedoch zu verstehen, dass der Grundgedanke des gegenwärtigen *Cognitive Computing* genau in der hier nachgezeichneten Entwicklungslinie steht. Es ist primär, wenn auch nicht ausschließlich, im Sinne von Sowa (1991g) *Semantic Interpreter* zu verstehen, der genauso wie Gruber oder später Berners-Lee am Grundgedanken der semantischen Netze, an der Alltagssprache und schließlich am *Common Sense* festmacht. D.h. diese Entwicklungen haben entweder gar nichts, oder aber zumindest im Kern nichts mit dem Leibniz-Whiteheadschen Gedanken der Cyber-Physik, entsprechend nichts mit Cyber-physischen Systemen (CPS) und auch nichts mit objektivem Wissen zu tun, das mit Popper in der gleichen Linie zu sehen ist.

Die Entwicklungen um den *Semantic Interpreter*, um Grubers Ontologien, um das *Semantic Web* wie um das *Cognitive Computing* liegen alle auf einer Linie, nämlich auf dem Gedanken McCarthys (1963a: 66), wonach sich Computer so intelligent wie möglich verhalten müssen. Insofern ist verständlich, dass Agenten, Ontologien, neuronale Netze, Kognition oder Deep Learning heute im Fokus der Informatik stehen. Damit hat sie sich in der Tat grundsätzlich gewandelt, während dieser Wandel im Sinne von McCarthy, Minsky, Newell, H.A. Simon et alii von Anfang an absehbar gewesen ist. Nicht nur in Bezug auf die Realitätsfrage, sondern gerade auch im Hinblick auf die Agenten wird die Informatik mit ihrem AI-Kern notwendig zu einer metaphysisch verankerten Disziplin. Das ist nicht nur dem Umstand geschuldet, dass die erste AI-Generation mit ihrer Cartesischen, und die zweite AI-Generation mit ihrer Heideggerschen Metaphysik jeweils falsch liegen. Viel-

mehr muss es in der Informatik um ein "*Metaphysical Engineering*" gehen, das Berners-Lees Idee des "*Philosophical Engineering*" auf eine neutrale, systematische wie universale Basis hebt. Denn das eigentliche Problem der Informatik ist darin zu sehen, dass sie die Frage nach ihrer Meta-Ontologie, die für alles in der Disziplin entscheidend ist, nie wirklich gestellt hat. Und darin ist ihr größtes Versäumnis zu sehen, das mit Blick auf eine ordnungsmäßige Wissenschafts- bzw. Technologiepraxis letztlich als inakzeptabel gewertet werden muss. Das betrifft alle tiefergehenden Bereiche, auf die insbesondere im fünften und sechsten Teil noch abgestellt wird, aber vor allem auch ihre Semantik. Nicht immer, jedoch stark zunehmend setzt die Informatik nunmehr ein semantisches Informationsverständnis voraus. Im Sinne von Janlerts (1987) *metaphysischer ad hoc Annahmen* hat sie dabei einfach die Semantik der Informatik auf die Semantik der Alltagssprache und damit zugleich auf den naiven *Common Sense* fixiert. Treibende Kräfte sind dabei vor allem Gruber und Hayes gewesen, indem erster den Ontologiebegriff in diesem Sinne belegte und zweiter in genau gleicher Denktradition die technisch gängige Umsetzung mit RDF bzw. OWL besorgte. Allein dieses Vorgehen brachte schnelle Erfolge. Auch müssen Computer die menschliche Alltagssprache umfassend verstehen können; das gilt vom Voice-Befehl über die Maschinenübersetzung bis zu Chatbots mit tonaler Interpretationsfähigkeit.

Das eigentliche Problem besteht darin, dass diese Art von Semantik nicht die eigentliche Semantik des *Computing* ist. Es wird nochmals dadurch verschärft, indem Hayes für jenes Semantikverständnis, welches das menschliche, aber nicht das eigentliche des *Computing* ist, im Sinne der Debatte Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer einen Ausschließlichkeitsanspruch artikuliert. Auf der Basis von Gruber, Mika und Hayes glaubt ein Großteil der Informatiker, dass dieses Semantikverständnis das richtige sei, wobei zumindest Hayes mit Verweis auf das unter Pkt. 1 behandelte *Frame Problem* stark schwankt. Wenn Sowa wie Hayes beide in Teilen explizit auf Whitehead weisen, und dessen Position nicht mit der gegenwärtigen der Informatik konform geht, dann besteht offensichtlich ein Revisionsbedarf im Sinne einer umfassenderen Reflexion ihrer eigentlichen Sachverhalte. Wie schon unter Pkt. 1 dargelegt, besteht die eigentliche Lösung im Streit Hayes/Ford vs. J.H. Fetzer in Reschers (2003a: 349) Position, die im Whiteheadschen Sinne strikt zwischen ontischer und epistemischer Welt differenziert. Die Lösung von Sowas Inkonsistenzen besteht darauf aufbauend darin, dass die semantische Analyse von Artefakten auch in diese Artefaktwelt gehört. Insofern geht es um einen spezifischen Typus von Poppers Welt 3 als Welt der Artefakte, der unter Pkt. 3.5 als W3L-Subtyp behandelt wird. Denn ein Text in Alltagssprache ist nichts anderes als ein linguistisches Artefakt; es geht nicht um die Semantik, die jene der Welt 1 ist.

Mit McCarthys (1963a: 66) Prophezeiung der Superintelligenz geht es in der Informatik nicht mehr bloß um Daten und Information, sondern es geht nunmehr elementar um Lernen und um Wissen. Indem sich Computer so intelligent wie möglich verhalten müssen, ist in diesem gar der eigentliche Kulminationspunkt der Disziplin zu sehen. Also nicht in Daten

und Informationen, an denen sie bisher primär festgemacht hat. Vielmehr sind diese offenbar allein Mittel zum Zweck, um Computer bzw. computerbasierte Systeme so intelligent wie möglich konzipieren zu können. Vermutlich werden die meisten Informatiker der These zustimmen, dass die Disziplin auf dieses Themenfeld nicht besonders gut vorbereitet ist, wenngleich es entscheidend wird. Denn damit ist die Debatte offenbar in einer grundsätzlichen Weise neu aufzurollen, indem bisher nie systematisch hinterfragt worden ist, was genau Semantik, Kognition, Lernen und was schließlich Wissen in der Informatik ist bzw. wie diese Aspekte technisch konkret zu behandeln sind. Zu fragen ist also etwa: ist die Semantik der Informatik jene der Alltagssprache (OLP) oder ist sie jene einer Idealsprache (ILP), oder ist sie im Sinne Quines theoretisch-wissenschaftlich zu bestimmen oder ist sie im Sinne von P.M. Simons etwa gar primär metaphysisch zu bestimmen? In der Tat gibt es diese vier für die Informatik relevanten Typen von Semantik. Ferner: Ist die Kognition der Informatik jene menschlicher Agenten oder jene maschineller Agenten bzw. sind beide tatsächlich identisch? Was ist Wissen? Was sind Ontologien? Was ist Lernen? Ist Lernen gleich Verstehen? Reicht Lernen zur Erkenntnis? Reicht es zur Einheit der Erkenntnis? Besteht eine Korrelation zwischen Superintelligenz und Einheit der Erkenntnis? Geht es um implizites Wissen oder um explizites Wissen? Um implizites Lernen oder explizites Lernen? Um Deep Learning oder um Ontology Learning? Geht es in der Informatik ausschließlich um *Common Sense Knowledge*, wie es Hayes behauptet, oder geht es im Sinne von Fetzer um objektives Wissen? Geht es um subjektives, intersubjektives (kollektives) oder um objektives Wissen? Geht es um Kohärenz, um Konsens oder um Korrespondenz als Wahrmacher? Ist Wissen vom Agenten ablösbar? Ist Intelligenz immer Agentenintelligenz? Gibt es kollektive Intelligenz? Ist der Gedanke einer globalen Intelligenz zulässig, die primär deduktiv veranlagt ist? Gilt der metaphysische und epistemische Realismus? Reicht für die Informatik das kognitionswissenschaftliche Prinzip der Veridikalität als Wahrmacher, oder muss es sich um ein methodologisches Prinzip handeln? Ist dieses dann in der Verifikation, in der Falsifikation oder ggf. in beidem zu sehen? Ist die Realität als *Common Sense Reality* oder als kosmologische Cyber-Physik zu behandeln? – McCarthy (1963a: 66) indirekte Prophezeiung von Superintelligenz kann nie Wirklichkeit werden, ohne dass jede dieser Fragen für die Disziplin unmissverständlich beantwortbar ist.

Dieses exemplarische Spektrum an Fragen ist beliebig erweiterbar; es zeigt aber bereits, dass man all diese Fragen allein auf Basis eines geeigneten Fundaments beantworten kann. Denn natürlich hängen sie alle zusammen. Man kann sie also weder auf Basis *metaphysischer ad hoc Annahmen* noch auf Basis widersprüchlicher Fundamente klären, sondern es gilt sie auf Basis eines in sich geschlossenen, einheitlichen Fundaments zu reflektieren. Wenn klar ist, dass dieses Fundament allein in der Metaphysik als *Erster Philosophie* bestehen kann, ist genauso evident, dass die erste aller Fragen in jener nach der für die Informatik adäquaten Metaphysik gegeben ist. Konkret heißt das, dass alle oben genannten Fragen gar nicht geklärt werden können, wenn nicht zuvor die metaphysische beantwortet

wurde. Bspw. entspricht das Wissen in einer *Metaphysik a priori* genauso dieser Bezeichnung; jenes der *Natural Language Metaphysics* bzw. der *Commonsense Metaphysics* genauso wie dem einer *Metaphysik der Erfahrung*. Im letzten Fall geht es um *Erfahrungswissen*, und das ist in einer Klasse-3-Metaphysik rein auf die Wissenschaften bezogen, während es in der *Klasse-4-Metaphysik* um techno-wissenschaftliches Erfahrungswissen geht. Dieses korrespondiert dann notwendigerweise genauso mit den Strukturwissenschaften bzw. der Theorie komplexer Systeme, indem diese gerade auch für die Technologien konstituierend sind. Im Unterschied zu Daten und Information steht das Wissen in einem Erkenntniszusammenhang, und dieser ist als solcher subjektiv. Demgegenüber ist subjektives Wissen lediglich als Vorstufe zu echtem Wissen zu erachten. Echtes Wissen ist als objektives Wissen demnach umfassend reflektiertes bzw. methodologisch geprüftes Wissen. Damit gibt es zwar verschiedenste Wissenstypen, jedoch läuft Superintelligenz als reflexive Intelligenz letztlich immer auf den Gedanken des objektiven Wissens hinaus. Anders gewendet ist *Common Sense Knowledge* genauso wie subjektives Wissen gar kein echtes Wissen. Denn von diesem kann nur gesprochen werden, wenn es nicht nur in einem Erkenntniszusammenhang steht, sondern zirkulär auch wiederum eine *Einheit der Erkenntnis* zulässt. Natürlich ist der Erkenntnisprozess nichts einmaliges, sondern etwas prozedurales, zirkuläres und ewiges. Das gilt umso mehr, als sich die Erkenntnis letztlich nicht auf die einzelne Domäne erstreckt, sondern letztlich immer im kosmologischen Zusammenhang steht, womit auch das Wissen als explizite Grundlage reflexiver Intelligenz einer transdisziplinären Semantik zu folgen hat. Unabhängig davon steht außer Zweifel, dass die Semantik auch immer dem Wissenstyp entspricht, woraus wiederum P.M. Simons (2006b: 95) »metaphysics constrains semantics« universal gilt, aber nur im revisionären Whiteheadschen Sinne richtig ausgelegt ist.

Der Grundstoff der Informatik, also Daten, Information und Wissen, bildet also immer eine Einheit, die als metaphysische Einheit zu begreifen ist. Daraus folgt wiederum, dass die richtige Definition von Daten, Information und Wissen auch in der richtigen Metaphysik verborgen liegt. Der Grundstoff der Informatik ist jedoch genau aus dem Grunde völlig unzureichend definiert, weil ihre Metaphysik bisher unklar gewesen ist. Wenn die einzig adäquate Metaphysik der Informatik in der Leibniz-Whiteheadschen Klasse-4-Metaphysik als Digitalmetaphysik gegeben ist, dann lässt sich genau definieren, wie Daten, Information und Wissen zu verstehen sind. Dann lässt sich auch ihre Semantik im Sinne des »metaphysics constrains semantics« genau fassen, wobei klar ist, dass es sich bei der AI-Kernsemantik um eine transdisziplinäre Semantik handeln muss, der alle andere, insbesondere praktische Semantik immer nachgeordnet ist. Ferner wird dann deutlich, dass es im Sinne des metaphysischen Realismus nicht nur für jede Domäne einen objektiven Standpunkt gibt, sondern dass dieser auch im Sinne einer globalen Intelligenz aktiv zu vollziehen ist. Die globale Intelligenz ist also das, was für die Informatik im Fokus zu stehen hat. Denn weder eine lokale noch eine regionale Intelligenz kann diesen objektiven Standpunkt

realisieren. Es ist also zwingend von einem dritten Intelligenztypus auszugehen, und dieser ist, wie der CPST- bzw. IoX-Hyperspace zeigt, im Ganzen gesehen der wichtigste bzw. maßgebliche. Denn der ganze Grundstoff der Informatik, also Daten, Information und Wissen läuft vor dem Hintergrund der Superintelligenz auf diesen zu und ist durch die Informatik entsprechend infrastrukturell zu bewerkstelligen. Dabei geht es nicht allein um den SEA-Aspekt usf., sondern vor allem erst einmal um die Grundlagen selbst. Denn die *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) zeigt genauso wie die höhere Informationsfusion (HLIF) oder das *Semantic Complex Event Processing* (SCEP), dass Daten, Information, und Wissen nicht etwa einfach nur definitorisch abzugrenzen sind, wie es bisher geschieht. Vielmehr muss es darum gehen, ihren metaphysischen Zusammenhang in sachgerechter Weise zu realisieren. Das aber wird wiederum nicht vollzogen, weil das einheitliche digitalmetaphysische Fundament fehlt, und Datenmodellierer bisher nicht viel mit AI-Forschern zu tun haben.

Allerdings ändert sich dies mit dem IoX-Hyperspace komplett, indem Daten bzw. Informationen immer in den jeweiligen globalen Instanzen zusammenlaufen, und erst hier zu echtem Wissen raffiniert werden können. In der Tat stehen die verschiedensten IoX-Szenarien immer in dieser Konstellation von lokalen bzw. regionalen und globalen Instanzen. Das ist bei einfachen verteilten Multisensorsystemen, der *Smart Factory* oder der *Smart City* genauso der Fall wie etwa bei einem Hersteller PEID-basierter Produkte. Diese Konstellation gibt es in jeder Industrie, in jeder Wissenschaft, in jedem administrativen Kontext bis hin zum militärischen Bereich. Immer gibt es in IoX-Strukturen solche globalen Instanzen, und wir bezeichnen diese analog zur *Smart Enterprise Architecture* (SEA) bzw. zum *Adaptive Enterprise Design* des *Sense-and-Respond Model* als *Real-Time Enterprise* (RTE). Denn entscheidend ist nicht nur die Infrastruktur im Sinne der *Enterprise Architecture* (EA), sondern vor allem, dass die globale Intelligenz auf der integrativen Grundlage von Daten, Informationen und Wissen wie einer ereigniszentrischen Architektur (ED-SOA) in einem globalen Steuerungszusammenhang steht, der ein *Echtzeiterfordernis* besitzt. Einfach illustriert ist dies wiederum am Erdbebenfrühwarnsystem im *Internet of Geophysical Things* (IoGT), indem sich auf Basis global zusammenlaufender Daten und ihrer Reflexion auf Basis von Ontologien automatisch Services starten lassen, die Evakuierungen und ähnliches einleiten. Indem es in der Informatik im Sinne McCarthys (1963a) mehr und mehr um Superintelligenz geht, reicht es nicht aus, wenn die Disziplin solche Systeme einfach nur technisch realisiert. Vielmehr greifen dann sämtliche Einzelaspekte ineinander, womit die Disziplin ihr grundsätzliches Versäumnis, dass sie praktisch ohne aufeinander abgestimmte Grundlagen dasteht, zwingend aufarbeiten muss. In einigen Hinsichten, etwa jener der globalen reflexiven Intelligenz als cyber-physisch verankerter Superintelligenz fehlen die Grundlagen praktisch komplett. Allerdings kommt es in der modernen Informatik, die auf das *Smart Web* und damit auf den IoX-Hyperspace auszurichten ist, nicht zuletzt auf diese an.

Bei Multiagentensystemen (MAS) ist die zentrale Funktion globaler Intelligenz nicht unbedingt sofort ersichtlich, indem es auf den ersten Blick um die Interaktion autonomer Agenten geht. Tatsächlich aber stehen auch solche Systeme regelmäßig in einer Infrastruktur. Der MAS-Aspekt betrifft bei rein maschinellen Agenten dann das IoA-Subsystem, doch setzt jedes eigentliche *MAS-Computing* regelmäßig ein *Service-Oriented Computing* (SOC) voraus, womit im sensor- bzw. ereigniszentrischen IoX-Kontext die *Event-Driven SOA* (ED-SOA) bzw. insgesamt das IoS-Subsystem ins Spiel gelangt. Im Allgemeinen ist dieses dabei wiederum mit dem IoD-Subsystem verknüpft. Auch MAS-Agenten setzen also im Sinne von Haeckels (1995, 1999) *Sense-and-Respond Model* eine *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) voraus. Im Zusammenspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz geht es dann etwa darum, RTBDA-Resultate, die global generiert werden, einzelnen lokalen Agenten verfügbar zu machen usw. Darüber hinaus geht es darum, die gewonnenen Multisensordaten zu fusionieren, zu höheren Informationen zu verdichten und im Zeichen von *Fakten- bzw. Kontextwissen* schließlich zu interpretieren. Erst auf dieser Basis, ggf. unter Einbezug spezifischer Ziele bzw. unter Abgleich mit verschiedenen Leistungsindikatoren (KPIs) erfolgen Reaktionen bzw. aktive Eingriffe in das jeweilige IoX-Szenario, womit es dann um die Aktorik geht. Ontologien sind im *IoX-Computing* nicht nur auf dieser Wissensebene relevant, sondern etwa mit Sensor-Ontologien oder SCEP-Ontologien bereits auf der Datenebene. Analoges gilt mit Blick auf die höhere Informationsfusion (HLIF) für die Informationsebene. Im Hinblick auf das Wissen ergibt sich eine ähnliche Sachlage wie bei einfachen Daten bzw. Informationen. Denn natürlich verlangt auch die Generierung von objektivem Wissen gerade einen globalen Standpunkt.

Insgesamt zeigt sich, dass das *IoX-Computing* in keiner Weise ohne eine *Smart Enterprise Architecture* (SEA) auskommt; vielmehr ist es letztlich erst diese, die echte Superintelligenz eröffnet. Denn Superintelligenz ist primär globale Intelligenz, welche sich wiederum im Wechselspiel mit der lokalen und regionalen Intelligenz realisiert. Das *Adaptive Enterprise Design* hat dabei nicht zuletzt die Orchestrierung dieses Wechselspiels von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz zum Gegenstand. Der entscheidende Unterschied zwischen dem *Semantic Web* und dem *Smart Web* besteht somit nicht nur im CPS-Aspekt, der ein metaphysisch durchgängiges Physikmodell impliziert. Vielmehr ist es genauso der SEA-Aspekt, denn im *Smart Web* bzw. IoX-Systemen geht es nicht um chaotische Strukturen völlig autonomer Agenten, sondern vielmehr um ihre Einbindung in *organisationsbezogene* Integrationsszenarien. Hier geht es nicht nur um heterogene Computerlandschaften, die vom PEID-Minicomputer bis zum Big Data-Großrechner reichen. Vielmehr repräsentieren IoX-Systeme im Allgemeinen physische Dinge und Services, die regelmäßig durch eine *spezifische* Organisation gesteuert bzw. überwacht werden, wie es etwa bei Erdbebenfrühwarnsystemen, Verkehrsleitsystemen, Brandmeldeanlagen oder militärischen Frühwarnsystemen der Fall ist. Es geht also gewissermaßen um Leitstände, die IoX-basiert sind, jedoch dabei integrativ zu behandelnde Teile der IT-Umgebung einer *spezifischen* Or-

ganisation bilden. Sie sind auch rechtlich, nicht nur verfügungsrechtlich, sondern auch in Bezug auf die Produkthaftung klar bestimmbar. Genauso können etwa spezifische Wissenschaftsorganisationen Systeme unterhalten, die etwa als *Internet of Geophysical Things* (IoGT) zu klassifizieren sind. Multisensorsysteme implizieren dabei nicht nur eine aufwändigere Wartung, sondern auch die rechtliche Klärung, wo solche Sensoren auf sichere Weise verteilt aufgestellt werden können.

Ungeachtet der Tatsache, dass sich lokale IoX-Strukturen auch durch jeden Privatanwender etwa im Zuge des *Smart Home* jenseits kommerzieller Lösungen aufbauen lassen, oder es eine Reihe öffentlich-infrastruktureller wie wissenschaftlicher Anwendungen gibt, sollte nicht übersehen werden, dass der größte Teil speziell des *Internet of Things and Services* (IoTS) auf kommerzielle Lösungen entfällt. Es geht also nicht nur um physische Dinge und um Web Services, sondern vielmehr um *Produkt-Service-Systeme* (PSS), die durch eine spezifische Organisation offeriert und ggf. auch nutzungsbezogen abgerechnet werden. Darüber hinaus geht es bei den Sensordaten vor allem auch darum, Leistungsdaten über diese *Produkt-Service-Systeme* im realen Nutzungskontext zu gewinnen, um diese stetig optimieren zu können. Demgegenüber baut die Herstellung intelligenter Produkte in der *Smart Factory* im Zeichen des *Industrial Internet of Things* (IIoT) bzw. *Internet of Industrial Things* (IoIT) resp. *Factory of Things* auf der gleichen technologischen Basis auf. In jedem der genannten Fälle, ob es nun um unkommerzielle Leitstände, um die IoX-basierte *Semantic E-Science* wissenschaftlicher Organisationen oder um kommerzielle IoX-basierte Lösungen geht, wie sie sämtlich unter das *U-PLM-Referenzszenario* subsumierbar sind, gilt: das jeweilige IoX-System konstituiert sich keineswegs allein aus den heterarchischen Interaktionen einzelner *Smart Objects*, sondern diese sind vielmehr regelmäßig dem *Real-Time Enterprise* (RTE) als globaler Steuerungsinstanz untergeordnet. D.h., dass letztere prinzipiell in jedes *Smart Object* in einem jeweils spezifischen Umfang kausal eingreifen kann, während dies umgekehrt so nicht gilt. Daraus folgt die Einsicht, dass die RTE-Stellung hierarchisch klar übergeordnet ist, was selbst dann gilt, wenn ein einzelner lokaler Agent etwa rückmelden kann, dass er die bisher objektiv oder konsensuell gültige Ontologie soeben falsifiziert hat. Dieser RTE-Konnex ist in dem Sinne universal, als er sich auf die *Enterprise Architecture* (EA) bezieht, über die jede IT-gestützte Organisation mindestens implizit verfügt. Dabei avanciert jede EA-Lösung mit dem AI-basierten RTE-Konnex zur *Smart Enterprise Architecture* (SEA). Deren Kern besteht im *Ontologieaspekt*, und dieser wird wiederum durch die metaphysisch verankerte *Top-level Ontologie* normiert.

Komplexe IoX-Systeme besitzen immer einen eigentlichen Kern, und dieser ist im *Real-Time Enterprise* (RTE) auszumachen, in dem die *globale Intelligenz* des jeweiligen

ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarios gegeben ist.⁷⁷² Wer meint, das wäre im WWW-Bereich bzw. IoP-Subsystem anders, irrt. Alle Angebote in der WWW-Sphäre stehen genauso in diesen Strukturen; Berners-Lees anfängliche Vision des einfachen kollektiven Informationsverbunds freier PCs ist schon insofern nie Wirklichkeit geworden, weil dazu etwa ein freies Betriebssystem erforderlich gewesen wäre, das kollektive Betreiben aller Services bis zur Vergemeinschaftung der Netzinfrastruktur. Die Wirklichkeit ist jedoch eine andere; natürlich geht es gerade auch im IoX-Hyperspace ungeachtet von Creative Commons (CC), Open Source (OS) usw. in elementarer Weise um Verfügungsrechte und Infrastruktur. Der IoX-Hyperspace ist prädestiniert für die Frage optimaler Betriebsgrößen und er neigt auch zu Oligopol- und Monopolbildungen. Menschliche WWW-Agenten sind also mitnichten völlig frei, sondern sie stehen genauso in diesen Infrastrukturen. Ihre Nutzungsdaten laufen dabei bei den einzelnen Service Providern über sämtliche Methoden des *tracking and tracing* in Systemen globaler Intelligenz zusammen, und werden noch darüber hinaus verdichtet. Selbst bei typischen Angeboten des Mitmachnetzes, also des *Social Web* als Web 2.0 ist dies so, und es ist gar nicht anders möglich. Denn jeder Wikipedia-Eintrag, jede Änderung etwa muss etwa anhand IP-Adresse des Nutzers samt Zeitstempel nachvollziehbar sein. Menschliche WWW-Agenten sind zwar autonom, aber keineswegs autark; sie sind weder frei von Infrastruktur noch können sie der damit verbundenen globalen Intelligenz ausweichen. Insofern ist der IoX-Hyperspace für die moderne Informatik auch universal gesetzt bzw. ontologisch der richtige Bezugspunkt.

RTE-Umgebungen sind dabei nur dann zu realisieren, wenn alles mit allem tatsächlich integriert ist, also etwa Prozesse mit Web Services, physischer Sensorik usw. Das bildet klassischerweise den Gegenstand der *Enterprise Integration* (EI), die auf ontologischer AI-Basis wiederum zur *Smart Enterprise Integration* (SEI) avanciert. Das bezieht alle Middleware notwendig mit ein.⁷⁷³ Insgesamt läuft dies mit D. Chen et al. (2014) auf ein *Enterprise Operating System* (EOS) hinaus, und damit auf eine ontologische Basis, die dem *Sensing Enterprise* als *Complex Adaptive System* (CAS) zur intelligenten Steuerung verhilft. IoX-Systeme setzen dabei die Integration aller Devices, Datenmodelle, Services, Prozesse, Systeme sowie schließlich auch gerade aller Ontologien voraus. Insgesamt kommen damit sämtliche infrastrukturellen SEA-Aspekte wie ED-SOA oder SCEP ins Spiel, die ihrerseits auf Ontologien basieren und eine TLO-referenzierende integrierte Ontologiearchitektur erforderlich machen. Diese gilt integrativ für alle konzeptuellen wie für alle semantischen Modelle, indem ansonsten ihre CPSS/SEA-bezogene Konsistenz nicht zu gewährleisten ist. Dabei bezieht sich diese erforderliche Konsistenz zuvorderst auf einheitlich zugrunde gelegte fundamentale Kategorien sowie meta-ontologische Dispositionen. Beispielsweise kann die Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis auf CPS-Basis nicht im Wider-

⁷⁷² Vgl. Barnaghi et al. (2013); Mukhopadhyay/Suryadevara (2014: 2) unterstreichen die zentrale Bewandnis des Wissensaspekts indem sie feststellen: »Every THING in this world will be connected to each other via INTERNET so that we can know anything we want to know«.

⁷⁷³ Vgl. Anke et al. (2007) sowie Oberle et al. (2008); vgl. hierzu auch Oberle (2006).

spruch stehen zu jener auf SEA-Basis, etwa wenn es um die Definition von SOA-Services geht, auf die IoX-Dinge als Cyber-physische Systeme zurückgreifen bzw. sich erst auf letzte beziehen. Das in Pkt. 1.2 erörterte Inkommensurabilitätsproblem ist demnach insbesondere auch im cyber-physischen Kontext der physischen CPS-Spezifikation relevanter Welten sowie der infrastrukturellen SEA-Spezifikation dieser Welten zu sehen. Anders gewendet lässt sich das ganze ontologische Anwendungs- und Integrationszenario unter dem CPSS/SEA-Aspekt allein auf *eine* einheitliche vorausgesetzte Top-level Ontologie beziehen, die die Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis gleichzeitig CPS- und SEA-adäquat vorzunehmen versteht.

Nicht nur anhand konkreter Ontologien, etwa der W3C *SSN Sensor Ontology* oder der *EPCIS Event Ontology* zeigt sich,⁷⁷⁴ dass das *Real-Time Enterprise* (RTE) prinzipiell im Kontext von Signalen bzw. Ereignissen steht und auf ein *Event Stream Processing* (ESP) bzw. *Complex Event Processing* (CEP) hinausläuft.^{775, 776, 777} Dabei ist mit der »ubiquitous nature and relevance of simple and complex events« resp. »of event-based approaches« impliziert,⁷⁷⁸ dass die Ereigniskategorie mit ihrer zentralen Stellung im *Internet of Everything* im techno-wissenschaftlichen Sinne zu erschließen ist. Sie lässt sich also in keiner Weise auf sprachphilosophische bzw. linguistische Ereignisse reduzieren. Denn dann besteht die erwähnte Gefahr, dass sie durch Strawson (1992) als "unrealistisch" und "nicht notwendig" abgetan werden. Und genau deshalb kann die Informatik nicht eindringlich genug vor Strawsons (1959) naiver deskriptiver Metaphysik gewarnt werden, während sie heute im Grunde mehr oder weniger komplett in dieser Sackgasse steckt. Die erforderliche Selbstbefreiung der Disziplin aus ihrer selbst verschuldeten Unmündigkeit kann im Leibniz-Kantischen Sinne allein im Zeichen universaler Ontologie auf ratio-empirischem Wege erfolgen. Für die Informatik heißt das konkret, dass ihr Weg mit Pkt. 4.2 über die *Klasse-4-Metaphysik* als Digitalmetaphysik führt, die eine transdisziplinäre KR-Technologie wie einen universalen Agentengedanken eröffnet. Erst vor ihrem Hintergrund wird sachgerecht begründbar, was im Kontext der *Digital Analytics* bereits evident ist: das *Internet of Everything* (IoX) ist ein *Internet of Events*,^{779, 780} was umgekehrt insofern gilt, als *Ereignisse* die universale Kategorie des mit Pkt. 4.2 prozessmetaphysisch zu erschließenden *Internet of Everything* (IoX) manifestieren. Dass *Ereignisse* auf Basis von Signalen zu verstehen sind, dass es *komplexe Ereignisse* (CE) gibt, die sich wiederum aus *einfachen Ereignissen* (PE)

⁷⁷⁴ Vgl. hierzu Lamparter/Legat et al. (2011); vgl. zu EPCIS allgemein Främling/Parmar et al. (2013).

⁷⁷⁵ Vgl. hierzu IoT-A (2013) sowie Bloor (2016); vgl. ferner Y. Wang/Cao (2012), C.Y. Chen et al. (2014), M. Cui et al. (2015) sowie Valtolina et al. (2015).

⁷⁷⁶ Entsprechend ist auch die RDF bezogene SPARQL in ein *Event Processing SPARQL* (EP-SPARQL) transformiert worden, vgl. Anicic/Fodor et al. (2011) sowie Rinne (2012).

⁷⁷⁷ Im CEP besteht eine der für *RFID Data Streams* elementarsten Technologien, vgl. S. Peng/He (2016).

⁷⁷⁸ Vgl. Chakravarthy/Adaikkalavan (2008: 1).

⁷⁷⁹ Vgl. zum *Internet of Events* Van der Aalst (2014, 2016); unterdessen stellen Hasan/Curry (2015) auf die *Heterogenität* von *IoT Events* und entsprechende semantische Herausforderungen ab.

⁷⁸⁰ Analog dazu wird seit längerem das *Web of Events* bzw. *EventWeb* propagiert, vgl. Modahl et al. (2004) sowie R. Jain (2007, 2008, 2013).

zusammensetzen,⁷⁸¹ wird dabei anhand der *Theorie zellulärer Automaten* mit Pkt. 4.3 nachvollziehbar. Das umso mehr, als die Automatentheorie von Anfang an wie insgesamt die grundlegendste Theorie der Disziplin ausmacht, allerdings ist sie dann auch im Leibniz-Whiteheadschen Sinne richtig auszulegen. Die zentrale Stellung der Ereigniskategorie wird zunehmend, jedoch insgesamt betrachtet bisher nicht hinreichend erkannt;⁷⁸² gleiches gilt für den Umstand, dass ihre Klärung allein über die Referenz auf die *Top-level Ontologie* führen kann.⁷⁸³ Die Umsetzung von Haecckels (1995, 1999) *Sense-and-Respond Model* führt im Web 4.0 mit Chandy (2010) über *Sense and Respond Applications* (S&R Apps), die "*event-processing applications*" darstellen.⁷⁸⁴ In Bezug auf S&R Apps setzt das *Ubiquitous Computing* vor allem *Ubiquitous Sensors* voraus.⁷⁸⁵ Wie es naheliegt, wird der Gedanke des *Sense-and-Respond* auch bereits unmittelbar mit der CEP-Technologie verknüpft.⁷⁸⁶

Ungeachtet der Tatsache, dass die ursprüngliche Web-Vision Berners-Lees (1989) mit dem Informationsmanagement auf die Kommunikation zwischen Rechnern zielt, ist sowohl die *Enterprise Architecture* (EA) mit Prozessen und Services als auch das darauf aufsetzende *Real-Time Enterprise* (RTE) mit der damit notwendig werdenden umfänglichen *Enterprise Integration* (EI) in sämtlichen Web-Evolutionsstufen und damit von Anfang an präsent. Das gilt auch dann, wenn die Technologien dazu noch nicht dem gegenwärtigen Stand entsprechen bzw. es sich bei den Sensoren noch um rein virtuelle Sensoren handelt. An sich jedoch ist die höhere Informationsfusion (HLIF) bereits für das Web 1.0 relevant, nicht zuletzt für größere E-Commerce-Anbieter, um in Echtzeit verschiedenste Analysen zu vollziehen.⁷⁸⁷ Wie bereits einführend festgestellt,⁷⁸⁸ liegen die IoT-Anfänge bereits Ende der 1990er Jahre im Zeichen des *Electronic Product Code* (EPC) unter Einsatz einfacher physischer Sensoren in der Optimierung der Distributionslogistik und besitzen damit ihre Wurzel unmittelbar im Web 1.0. Insofern sind die EA- bzw. RTE- und damit die Sensorik-Aspekte keineswegs neu; sie waren und sind im E-Business bzw. E-Commerce immer gegeben. Das gilt für das Web 2.0 in gleicher Weise, indem das *Social Web* sich nicht nur als *Kommunikation* vollzieht, sondern auf den eigentlichen Plattformen wiederum die verschiedensten Aspekte der *Enterprise Integration* (EI) zentrale Relevanz besitzen. Analoge Architektur gilt auch für das Web 3.0, etwa wenn *Semantic Search Engines* (SSE) im Zeichen von "Linked Data" nicht um eine *Semantic Enterprise Integration* umhinkommen.

Vor diesem Hintergrund ist das *Smart Web* als Web 4.0 auch nicht in diesen Hinsichten neu, sondern vielmehr insofern, als es neben einer neuen Infrastruktur auf Computern

⁷⁸¹ Vgl. etwa F. Wang et al. (2006) sowie Liu/Zhang/Wang (2012).

⁷⁸² Vgl. etwa Chandy/Aydemir et al. (2003), D. Pack et al. (2004) sowie R. Singh et al. (2004).

⁷⁸³ Vgl. etwa Sheth/Perry (2008) sowie Scherp et al. (2012).

⁷⁸⁴ Vgl. Chandy (2010: 78).

⁷⁸⁵ Vgl. Chandy (2010: 79 f.).

⁷⁸⁶ Vgl. Zappia et al. (2012).

⁷⁸⁷ Vgl. etwa Limbeck/Schiefer (2008), auch wenn hier aktuellere Technologien zum Einsatz kommen.

⁷⁸⁸ Vgl. dazu Fn. 220.

gründet,⁷⁸⁹ die als *cyber-physische "Reality Machines"* mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind. Das Web 4.0 ist also das *cyber-physische* Internet und somit das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI). Indem das *cyber-physische* Internet auf entscheidungsautonomen *logischen "Reality Machines"* Artifiziereller Intelligenz (AI) gründet, konstituiert sich das Web 4.0 als *Smart Web* immer aus zwei Aspekten, nämlich dem IoX-Aspekt einerseits und dem AI-Aspekt andererseits. Indem beide Aspekte dabei immer in den Netzwerkstrukturen verteilter Systeme stehen, sind damit unmittelbar Multiagentensysteme (MAS) impliziert, die unter dem Adaptionsaspekt *Complex Adaptive Systems* (CAS) bilden. Damit sollte das Ziel in einer CPS- bzw. MAS/CAS-adäquaten *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bestehen, die allein schon deshalb notwendig auf der Top-level Ontologie gründen muss, als mit dem *Real World Internet* (RWI) zunächst einmal im Zeichen der Metaphysik die fundamentalen Strukturen der Realität an sich zu klären sind. Denn es steht außer Frage, dass allein darauf das Weltmodell von Computern gründen kann, die als *cyber-physische "Reality Machines"* kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt mit ihren physikalischen Gesetzmäßigkeiten sind. Genauso ist evident, dass ein solches Unterfangen nicht auf Weltmodellen gelingen kann, die lediglich auf *Common Sense* bzw. der wenig exakten Alltagssprache gründen. Im Gegensatz zu dem ursprünglichen EPC-Szenario geht es bei ihnen zumeist um Multisensorsysteme, indem Sensordaten aus den verschiedensten Quellen im Zuge von HLIF-Operationen des *Real-Time Enterprise* (RTE) in entscheidungsrelevantes Wissen transformiert werden. Da es im Web 4.0 um *cyber-physische "Reality Machines"* geht, treten auch die RTE-Gesichtspunkte und damit das Erfordernis nach einer *Smart Enterprise Architecture* (SEA) vollends in den Vordergrund. Denn das *Sense-and-Respond Model* kann im Web 4.0 allein in Echtzeit operieren, und dabei geht es um die Verarbeitung von Massendaten (Big Data), die in erster Linie durch – ggf. heterogene – physische bzw. virtuelle Multisensorsysteme generiert werden.⁷⁹⁰ Wenn im Web 4.0 das *Sense-and-Respond Model* allein in Echtzeit funktionieren kann, stellen sich damit besondere Herausforderungen an das *Adaptive Enterprise Design*, das auf Basis einer *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) zu realisieren ist. Das gilt umso mehr, als das *Real-Time Enterprise*

⁷⁸⁹ IoX- bzw. IoTS-Computing setzt das IPv6 insofern voraus, als sämtliche "Things" über eigene IP-Adressen identifizierbar sein müssen, vgl. hierzu etwa Jara et al. (2013). Demgegenüber wäre das *Internet of Everything* auf IPv4-Basis technisch nicht realisierbar: IPv4-Adressen weisen lediglich eine Länge von 32 Bit auf, was den Adressraum auf 2^{32} ($\approx 4,3$ Milliarden) Adressen beschränkt, während IPv6-Adressen eine Länge von 128 Bit besitzen, was den Adressraum auf 2^{128} (≈ 340 Sextillionen) Adressen ausweitet. Zwar gehen gemäß einer Vergleichsstudie von Oliver Wyman (2015) die Prognosen genauso wie die faktischen Zahlen bzgl. der Anzahl vernetzter Devices ganz erheblich auseinander, doch herrscht weitgehende Einigkeit, dass die IPv4-Adresskapazität spätestens ab 2015 bei Zuweisung fester IP-Adressen nicht mehr ausgereicht hätte, wobei sich diese Rechnung nicht auf die Rechner im Internet, sondern auf *IoT-Things* beziehen sollte, die für Zwecke der Sensorik bzw. Aktorik zwingend eine feste IP-Adresse benötigen. IPv6 ist nicht mit IPv4 kompatibel, ermöglicht aber den parallelen Betrieb. Mit DaCosta (2013) ist IPv6 in technischer Hinsicht inperformant, was auch Gershenfeld/Vasseur (2014: 65 f.) einräumen und IP-Modifikationen in Aussicht stellen. Relevanz haben dabei speziell die IETF Standards 6LoWPAN bzw. CoAP, vgl. dazu Shelby/Bormann (2009) bzw. Bormann et al. (2012).

⁷⁹⁰ Vgl. dazu Daidone et al. (2014).

(RTE) nicht nur ein *Sensing Enterprise*, sondern vielmehr ein konsequent zukunftsgerichtetes *Predictive Enterprise* verkörpert,⁷⁹¹ wie es gerade auch für das *U-PLM-Referenzszenario* elementar ist.

Komplexe IoX-Systeme setzen also deshalb notwendig *Artifizielle Intelligenz* (AI) in überaus umfänglicher Weise voraus,⁷⁹² weil zum einen das *Sense-and-Respond Model* auf ihr basiert, zum anderen die HLIF-bezogene *Digital Analytics* im *Sensing Enterprise* allein auf ihr möglich ist. Dabei steht außer Frage, dass diese Operationen durchsetzt sind mit Ontologien, die ihrerseits notwendig auf ein einheitliches universales Weltmodell, auf McCarthys (1995) "*general world view*" und damit auf die *Top-level Ontologie* referenzieren: Reale Dinge und Dienste lassen sich im IoX-Sinne allein in die Informationsverarbeitung einbeziehen, wenn sie als Entitäten des *Real World Internet* (RWI) behandelt werden. Insgesamt wird nochmals deutlich, dass das *Real-Time Enterprise* (RTE) immer die *globale Intelligenz* des jeweiligen ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarios bildet, während die *lokale Intelligenz* einschließlich der *regionalen Schwarmintelligenz* bei den einzelnen AI-Agenten in den "Things",⁷⁹³ Devices resp. *Smart Objects* selbst liegt; sie sind via physisch-virtueller Sensorik und Aktorik sowie der agentenbasierten AI-Adaption prinzipiell entscheidungsautonom, aber mit dem IoX/MAS-Konnex keinesfalls autark: »The Internet of Things [...] brings us into a new era in which everything [...] can be identified and connected and things can exchange information and make decisions by themselves«. ⁷⁹⁴ In komplexen IoX-Systemen beziehen sich die RTE-Aspekte entsprechend auf sämtliche "Things" und "Services" des jeweiligen Szenarios, also etwa auf die cyber-physische Welt eines Automobilherstellers mitsamt seiner PEID-Produkte. Genauso wie die EA- bzw. EI-Aspekte, so ist auch das RTE im *Internet of Everything* (IoX) immer in generischer Weise zu verstehen. Im Zeichen des *Sense-and-Respond Model* bildet es nicht weniger als die globale Steuerungsinstanz komplexer IoX-Systeme unabhängig davon, ob es sich bei ihnen um das *Internet of Geophysical Things* (IoGT) oder etwa um das *Internet of Living Things* (IoLT) handelt. Dabei steht außer Zweifel, dass sich die RTE-Aspekte im *Internet of Everything* (IoX) auch nur auf Basis eines universalen Ontologieverständnisses, einer integrierten Ontologiekonzeption und somit insgesamt vermittelt einer cyber-physischen *Top-level Ontologie* als *universaler Ontologie* realisieren lassen.

Was den SEA/SEI-Aspekt von IoX-Systemen betrifft, gestaltet sich die sachgerechte Explikation der *Top-level Ontologie* nicht minder anspruchsvoll. Zunächst ist zu verstehen,

⁷⁹¹ Vgl. Krumeich et al. (2014).

⁷⁹² Vgl. etwa Poniszevska-Maranda/Kaczmarek (2015).

⁷⁹³ Die *Schwarmintelligenz* ist im Zeichen der *Interaktion von Multiagentensystemen* zu verstehen, womit sie in der *lokalen Intelligenz* der einzelnen Agenten – und im systemischen Sinne allein hier – verankert ist. Sie ist *regional* im Sinne zellulärer Automaten, indem Schwärme eine regional gleiche Regelbefolgung bedeuten. Insofern hat Schwarmintelligenz an sich nichts mit *globaler Intelligenz* zu tun; es handelt sich vielmehr um eine Art *Gruppenintelligenz*, die situativ bzw. kontextuell in heterogener Weise ausfallen kann. Somit lässt sich auch von einer *regionalen Intelligenz* sprechen. Gewiss gehen Multiagentensysteme über eine solch regionale Interaktion und Adaption hinaus, decken sie jedoch mit ab.

⁷⁹⁴ Vgl. Tan/Wang (2010: V5-380).

dass es einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen den CPS- und den SEA/SEI-Aspekten gibt, der darin besteht, dass Sensorik bzw. Aktorik mitsamt des AI-Agens durch *Smart Objects* verkörpert wird. Das mündet wiederum einerseits unmittelbar im MAS-Ansatz und einer entsprechend ausdifferenzierten AI-Ontologiearchitektur, indem *Smart Objects* als *Agenten* aufzufassen sind, die in IoX-Strukturen miteinander vernetzt sind. In diesem Sinne bilden *Smart Objects* die zentralen Bausteine von IoX-Systemen.⁷⁹⁵ Andererseits mündet das genauso unmittelbar in Haeckels (1995, 1999) *Sense-and-Respond Model*, für das unter SEA/SEI-Gesichtspunkten die darauf bezugnehmende *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) von zentraler Relevanz ist.⁷⁹⁶ Jenseits der insbesondere für CPS-Zwecke im vierten Teil zu erörternden metaphysischen Zusammenhänge verlangt jeder TLO-Diskurs genauso eine eingehende SEA/SEI-Diskussion. Diese hat nicht nur auf die *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) bzw. vergleichbare Derivate zu zielen, sondern ausgehend von der Sensorik genauso auf das *Event Stream Processing* (ESP) bzw. *Complex Event Processing* (CEP). Das ED-BPM ist insbesondere für die konzeptuelle Modellierung sämtlicher IoX-Prozesse von Relevanz und bildet dabei die elementare Grundlage für das *Business Activity Monitoring* (BAM), indem auch dieses im RTE-Sinne *ereigniszentrisch* auszulegen ist.⁷⁹⁷ Wenn mit Vera-Baquero et al. (2016: 795) außer Frage steht: »At the core of BAM is the monitoring and processing of business events«, umgekehrt das BAM als das "*New Face of BPM*" zu sehen ist,⁷⁹⁸ wird der generell bestehende Ereigniszentrismus des BPM unterstrichen. Insofern ließe sich die sachgerechte Auslegung der Kategorien auch "*bottom-up*" bestimmen, indem sich der Ereigniszentrismus des prozessualen BAM/BPM-Konnexes via *Enterprise Ontology* (EO) auf der TLO-Ebene widerzuspiegeln hat.

Mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* lässt sich Haeckels (1995, 1999) IBM-Vision des *Adaptive Enterprise Design* als *Sense-and-Respond Model* auf eine völlig neue, nämlich auf eine technologische Basis heben;⁷⁹⁹ auf eine IoX-Struktur, die im Zeichen der Sensorik/Aktorik auf CPSS-adäquaten *Reality Machines* mitsamt MAS-Technologie aufbaut, und somit zum TLO-basierten *Real-Time Enterprise* (RTE) avanciert. Als solches bezieht es sich auf die gesamte Supply Chain.⁸⁰⁰ Geht es um die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) bzw. die *Smart Enterprise Integration* (SEI), findet sich Haeckels Vision aktuell in

⁷⁹⁵ Vgl. Kortuem et al. (2010) sowie Serbanati et al. (2011).

⁷⁹⁶ Vgl. hierzu Schiefer/Seufert (2005, 2010), Saurer et al. (2006), Schiefer et al. (2007, 2009), Limbeck/Schiefer (2008) sowie Obweger et al. (2011).

⁷⁹⁷ Vgl. etwa P. Yang et al. (2011).

⁷⁹⁸ Vgl. webMethods (2006).

⁷⁹⁹ Haeckels *Sense-and-Respond Model* gilt universal für alle Webstrukturen, etwa auch für PaaS-Lösungen wie die *Google App Engine* (GAE). Dabei laufen Anwendungen wie etwa *earthquake-sensing applications* auch in solchen Fällen auf IoX-Integrationszenarien hinaus, vgl. Chandy (2010). Demgegenüber steht Haeckels *Adaptive Enterprise Design* immer im unmittelbaren EA-Kontext.

⁸⁰⁰ Vgl. Rabin (2003) sowie O'Leary (2008).

jener des *Sensing Enterprise* wieder.⁸⁰¹ Dieses ist nicht nur mit Panetto et al. (2016) als *Cyber-physisches System* (CPS) zu verstehen, sondern wird damit zusammenhängend explizit als kontextsensitives CAS konzipiert,⁸⁰² womit mit Pkt. 4.3 die Komplexitätsforschung nicht nur in wissenschaftlicher, sondern auch in technologischer Hinsicht die Mittlerfunktion techno-wissenschaftlicher Metaphysik zukommt. Diese wird gerade im SEI-Kontext benötigt, indem es gilt, die fundamentalen Kategorien auch in technologischer Hinsicht richtig zu bestimmen. Wenn der zentrale SEI-Integrator dabei im PPR-Framework gegeben ist, stellt sich die Frage seiner IoX- bzw. CPSS-Adäquanz. Dann steht außer Zweifel, dass das PPR-Framework vierdimensional, d.h. raumzeitlich auszulegen ist. Mit anderen Worten erfordert das *Real-Time Enterprise* (RTE) prinzipiell ein *PPRLT 4D-Life-cycle Framework*, mit dem das PPR-Framework raumzeitlich konkretisiert wird.

Das in Pkt. 2.5 erörterte PPR-Framework bestimmt auch die Gegenstände der Digital Analytics, indem sich diese elementar auf Produkte, Prozesse und Ressourcen bezieht. Im *Real-Time Enterprise* (RTE) geht es gleichzeitig um alle drei Dimensionen: die erste Dimension, die Produktdimension ist Gegenstand des *Realtime IoX-Monitoring*, während die zweite und dritte Dimension des PPR-Frameworks, also die Prozess- und damit die Ressourcendimension Gegenstände des *Business Activity Monitoring* (BAM) bilden. Dieses baut elementar auf dem CEP und BPM auf,⁸⁰³ die beide zum ED-BPM fusionieren. Das BAM-Konzept hat gerade im Kontext komplexer IoX-Systeme einen maßgeblichen Wandel erfahren; mit ihm steht etwa außer Frage, dass auch die *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) notwendig in BAM-Ansätzen zu berücksichtigen ist.⁸⁰⁴ Gleichzeitig bezieht es sich mit den Aktivitäten elementar auch auf *Services* im IoS-Sinne, womit sich das RTE auf sämtliche IoX-Facetten erstreckt. Das *Realtime IoX-Monitoring* wie das BAM weist dabei nicht nur die Gemeinsamkeit auf, dass das Monitoring in Echtzeit erfolgt, sondern auch, dass es sich um ereignisgesteuerte Konzepte handelt. Das unterstreicht die zentrale Bedeutung der *Event Streams* und des Ereigniszentrismus, wie sie in Pkt. 7.2 als Anforderung R9 für die TLO- bzw. EO-Konzeption definiert wird. Diese ist wiederum im direkten Verbund mit dem *Ubiquitous Computing* als Anforderung R5 zu sehen, womit das oben diskutierte CEP-Konzept zum *Ubiquitous Complex Event Processing* (U-CEP) avanciert. Hier schließt sich der Kreis, indem das CEP-Konzept in CPS- bzw. CPPS-Kontexten mitsamt Sensorik und Aktorik vollends auf IoX-Grundlagen aufbaut.⁸⁰⁵ Dabei kommen insbesondere SW-Technologien (SWT) zum Einsatz,⁸⁰⁶ was zum *RDF Stream Processing* (RSP)

⁸⁰¹ Vgl. Santucci et al. (2013), Gusmeroli et al. (2014), Lampathaki et al. (2014), Lazaro et al. (2014), Noran et al. (2014), Uriarte et al. (2014), Agostinho/Jardim-Goncalves (2015), Mauricio-Moreno et al. (2015), Agostinho et al. (2016) sowie Weichhart et al. (2016).

⁸⁰² Vgl. Weichhart (2013), Peko et al. (2013, 2014), Agostinho/Jardim-Goncalves (2015) sowie Weichhart et al. (2016).

⁸⁰³ Vgl. etwa S. Sen (2008) sowie Janiesch et al. (2011).

⁸⁰⁴ Vgl. etwa Vera-Baquero et al. (2016).

⁸⁰⁵ Vgl. hierzu etwa J.-Y. Jung et al. (2012).

⁸⁰⁶ Vgl. exemplarisch Rinne et al. (2013).

bzw. zu *RDF Stream Models* führt,⁸⁰⁷ einschließlich von Initiativen wie der W3C *RDF Stream Processing (RSP) Community Group*.⁸⁰⁸ Neben den Prozessgesichtspunkten sind auch diese für die Smart Factory elementar, etwa bei *RFID Data Streams* im Sinne einer *RFID Complex Event Detection*.⁸⁰⁹ Insgesamt baut das *Smart Web* als Web 4.0 im Sinne eines *Web-oriented Event Processing* zentral auf CEP- bzw. insbesondere auf SCEP-Grundlagen auf,⁸¹⁰ wie es auch anhand der durch Paschke/Teymourian (2015) entwickelten Vision des *Ubiquitous Pragmatic Web 4.0* deutlich wird. Auch das Referenzszenario gründet mit dem *Ubiquitous PLM (U-PLM)* unmittelbar auf dem U-CEP-Gedanken, und zwar nicht nur etwa mit Blick auf die BOL-Phasen (z.B. CPPS), sondern genauso mit den MOL- bzw. EOL-Phasen. Insbesondere die MOL-Phasen sind von Relevanz (PEID), wenn es gilt, ein ubiquitäres Closed-loop PLM zu begründen. Zur Steuerungsarchitektur solcher U-CEP-basierter U-PLM-Systeme sind bereits verschiedene Überlegungen entwickelt worden, die es mit zu berücksichtigen gilt.⁸¹¹

Das IoX-basierte *Real-Time Enterprise (IoX-RTE)* kann nur dann Wirklichkeit werden, wenn es die technische Grundlage zulässt. Bspw. eröffnen sich bzgl. der IoT-Integration neue Möglichkeiten mithilfe des WebSocket-Protokolls. Darin besteht eine auf HTML5 aufsetzende Weiterentwicklung, auf deren Basis eine bidirektionale Verbindung zwischen Client und Server zugelassen wird.⁸¹² Mit diesem TCP-basierenden Netzwerkprotokoll wird eine persistente Datenübertragung in beide Richtungen ermöglicht. Dabei bilden IoT-Plattformen wie *ThingWorx* den Server und etwa das *Exceet M2M Gateway* den Client. Auch hier ist das *U-PLM-Referenzszenario* aufschlussreich, indem *ThingWorx* als IoT-Plattform durch PTC als PLM-Lösungsanbieter akquiriert wurde, um diese mit der PLM-Lösung Windchill zu verknüpfen. Auf Basis des WebSocket-Protokolls kann über das HTTP-Protokoll hinausgehend nicht nur der Server, sondern zusätzlich auch der Client eine neue Verbindung eröffnen. Mithilfe des WebSocket-Protokolls wird ein *Real-Time Web* oder zumindest eine Annäherung an Echtzeit im Web möglich. Somit lässt sich die Problematik der *Latenzzeit*, also das Zeitintervall, um das ein Ereignis verzögert wird bzw. die Zeitspanne zwischen dem Auftreten eines Ereignisses und dem Auftreten eines erwarteten Folgeereignisses, relativieren bzw. beseitigen. Dabei sind diese und ähnliche Entwicklungen wiederum vor dem Hintergrund von ED-SOA-Services einerseits und dem IoX-basierten *Real-Time Enterprise (IoX-RTE)* andererseits zu verstehen.

⁸⁰⁷ Vgl. etwa Calbimonte (2014).

⁸⁰⁸ Vgl. Llaves et al. (2014).

⁸⁰⁹ Vgl. hierzu F. Wang et al. (2006, 2009), Zang/Fan (2007), Zang/Fan/Liu (2008), Tejada/Jung (2010), Liu/Zhang/Wang (2012) sowie J. Wang et al. (2014); vgl. speziell mit Blick auf WSN Saleh (2013).

⁸¹⁰ Vgl. hierzu auch Stühmer (2014), dessen Rekurs auf die DOLCE-TLO in *prinzipieller* Hinsicht nur bedingt sinnvoll erscheinen kann, sich aktuell jedoch nachvollziehen lässt.

⁸¹¹ Vgl. etwa Lambert (1999) sowie Lambert/Scholz (2007).

⁸¹² Vgl. hierzu Lengstorf/Leggetter (2013) sowie Gorski et al. (2015).

2.2 Smart Enterprise Architecture (SEA) via Event-Driven SOA (ED-SOA)

»The world contains entities, processes, locations, people, times, and purposes. Computer systems are filled with bits, bytes, numbers, and the programs that manipulate them. If the computer is to do anything useful, the concrete things in the world must be related to the abstract bits in the computer.«

— John F. Sowa/John A. Zachman (1992: 590)

Erst vor dem Hintergrund des IoX/RTE-Konnex wird richtig verstehbar, warum das Web 4.0 bzw. *Smart Web* mit Aghaei et al. (2012) als *Web of Integration* zu verstehen ist. Denn mit ihm gelangen nicht allein AI-Aspekte ins Spiel, sondern ebenso maßgeblich Fragen der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) und damit solche der *konzeptuellen Modellierung* (CM). Somit kann die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auch nicht allein an der in Pkt. 3.2.3 erörterten AI-Ontologie festmachen, sondern diese ist zwingend in den Kontext der in Pkt. 3.2.2 behandelten CM-Ontologie zu bringen. Beide verlangen dabei mit Pkt. 3.2.4 eine Konvergenz der Ontologieverständnisse, die allein über die *Top-level Ontologie* führen kann. Von diesem elementaren Erfordernis, die das Web 4.0 als *Web of Integration* mit sich bringt, abstrahieren populäre Ontologieverständnisse wie jene von Gruber bzw. Berners-Lee völlig. Allerdings ist mit dem *Real-Time Enterprise* (RTE) insgesamt deutlich geworden, dass sich die globale Intelligenz in IoX-Integrationsszenarien allein auf Basis einer adäquaten *Enterprise Architecture* (EA) realisieren lässt. Das wird an dem in Pkt. 2.6 behandelten Beispielfall der *Smart Factory* mit den dortigen Koordinationsanforderungen besonders deutlich, gilt jedoch prinzipiell für jedes IoX-Integrationsszenario schon insofern, als Aspekte wie die *Digital Analytics* auf kompatiblen Datenmodellen aufbauen müssen. Im Hinblick auf die *Smart Factory* bzw. das damit verbundene U-PLM-Referenzszenario ist demgegenüber festzustellen, dass oftmals immer noch versucht wird auf jenen EA-Referenzmodellen aufzubauen, die im Rahmen der alten CIM-Projekte entwickelt wurden. Neben dem bereits Anfang der achtziger Jahre entwickelten Y-CIM Referenzmodell Scheers (1983, 1984, 1994), das ebenfalls im PLM-Kontext bemüht wird,⁸¹³ sind inhaltlich die drei vollständigsten CIM-Referenzmodelle für Enterprise Architekturen von Relevanz: PERA,⁸¹⁴ CIMOSA,⁸¹⁵ sowie GRAI-GIM.⁸¹⁶ Diese drei Referenzmodelle finden schließlich ihren Kulminationspunkt in GERAM,⁸¹⁷ das eine Synthese der drei vorgenannten Ansätze markiert. Auf GERAM bauen etwa Goossenaerts/Pelletier (2002) mit ihrem ontologischen PSIM-Environment genauso auf wie etwa Américo/António (2011) im Zeichen ihres *Digital Factories Framework*.

Für die Integrationszwecke im *U-PLM-Referenzszenario* besitzt GERAM als Referenzarchitektur aus fünf Gründen Relevanz: erstens, weil dieser Ansatz im Kern in vielfältigen Dimensionen an Lebenszyklen orientiert ist, nicht allein an Produktlebenszyklen. GERAM

⁸¹³ Vgl. etwa Rutsch/Schumann (2010).

⁸¹⁴ Vgl. T.J. Williams (1992).

⁸¹⁵ Vgl. Jorysz/Vernadat (1991) sowie Vernadat (1992, 2006).

⁸¹⁶ Vgl. Akif (1991), Vallespir et al. (1991) sowie D. Chen/Vallespir/Doumeingts (1997); vgl. auch McCarthy/Menicou (2002) sowie Doumeingts/Vallespir/Chen (2006).

⁸¹⁷ Vgl. Bernus/Nemes (1996a, 1996b, 1997), Bernus/Schmidt (2006) sowie IFIP-IFAC (1999).

erweitert das Spektrum der Enterprise Architecture um Lebenszyklusbetrachtungen von Produkten, Unternehmen, Enterprise Integration Projekten sowie Aspekten der strategischen Unternehmensführung. Der PLM-Ansatz als Produktlebenszykluskonzept einerseits und als CIM-Nachfolger andererseits muss entsprechend im Kontext von Enterprise Architecture und Enterprise Integration gesehen werden; bereits bei Bernus/Nemes (1996c: 3) heißt es analog zum heutigen PLC von PLM-Systemen: »An enterprise as a design object includes all equipment and organisation needed to implement the complete life-cycle of its products, from product innovation, through design and production to distribution and after sales service, and recycling«. Zweitens ist dieser Ansatz systemisch auf die Integration des Organisationsganzen ausgelegt, indem nicht nur einzelne Aspekte wie Produkte, sondern das Organisationsganze als Lebenszyklus gedacht wird. Drittens und damit zusammenhängend ist das GERAM-Referenzmodell explizit strategisch orientiert,⁸¹⁸ wobei auch dies im Lebenszyklussinne verstanden wird. Dieser Gesichtspunkt ist mit Blick auf die bereits im ersten Teil herausgestellte strategische Intention des PLM-Ansatzes für das Referenzszenario von Bedeutung. Viertens besteht ein maßgebliches Ziel dieses Referenzmodells in der Vereinigung zweier spezifischer Gruppen von EI-Ansätzen, nämlich solcher, die auf Produktmodellen basieren, mit solchen, die auf Geschäftsprozessen aufsetzen.⁸¹⁹ Da auch die Ressourcen berücksichtigt werden, die notwendig sind, um die Prozesse auszuführen,⁸²⁰ entspricht das GERAM-Referenzmodell den Gesichtspunkten des PPR-Frameworks und geht mit Verweis auf die ersten drei genannten Punkte noch darüber hinaus. Die auch für PLM-Systeme maßgebliche Prozessperspektive wird dabei ganz besonders betont.⁸²¹ Fünftens schließlich sind bereits im GERAM-Referenzmodell *ontologische Theorien* von zentralem Stellenwert. Dabei wird es als wichtig erachtet zu betonen, dass die genutzten ontologischen Modelle ihrerseits zu integrieren sind, um die gegenseitige Konsistenz diverser Enterprise Models jeweils gegenseitig prüfen zu können.⁸²² Tatsächlich kommt es gerade auf diesen Aspekt an:

»Enterprise integration and systems interoperability are fairly mature at the technical level, and will continue to evolve with new IT technologies, but are not yet completely addressed at the organizational and more specifically at the semantic level.«⁸²³

Indem PLM-Systeme die PSS-bezogene Integrationsplattform des *Smart Enterprise* bzw. der *Smart Factory* darstellen, besitzen sie eine direkte Nähe zur *Smart Enterprise Architecture* (SEA). Damit lassen sich die SEA-Anforderungen sachgerecht auf Basis gerade dieses Referenzszenarios erörtern. Wesentlich für seine praktische Realisierung ist das Zusammenspiel von Quasi-Standards in allen Bereichen, also im Bereich der Sprachen, Notationen oder auch der Architektur. Dabei erweisen sich insbesondere die OMG-Standards als wegweisend, indem ihre Entwicklung mit dem Ziel erfolgt, alle OMG-Ansätze

⁸¹⁸ Vgl. zur strategischen Natur des CIM-Ansatzes Scheer (1990a).

⁸¹⁹ Vgl. IFIP-IFAC (1999: 4).

⁸²⁰ Vgl. IFIP-IFAC (1999: 11).

⁸²¹ Vgl. Bernus/Nemes (1996c: 5 f.).

⁸²² Vgl. IFIP-IFAC (1999: 27).

⁸²³ Vernadat (2009: 1537).

systematisch aufeinander zu beziehen, wobei das Ziel an sich in der SEA-Realisierung gesehen werden muss.⁸²⁴ Indem die Standards der OMG regelmäßig Industriestandards bilden, wird damit eine umfassende Interoperabilität systematisch begünstigt.⁸²⁵ Relevant sind hier etwa Sprachen bzw. Notationen wie UML, BPMN, SBVR, DMN, PRR usw. Darüber hinaus gründet mit den *Product Lifecycle Management Services* der OMG (2011a) der PLM-Ansatz auf *Web Services*. Allerdings werden mit den *OMG PLM Services* die eigentlich bestehenden Potentiale nicht einmal im Ansatz ausgeschöpft. Das betrifft etwa die fehlende Einbindung von BPMN und SBVR, die fehlende IoX-Basis, den nicht behandelten Ontologieaspekt oder den Umstand, dass es bei PLM-Systemen nicht allein um technische Web Services geht, sondern vielmehr im PSS-Sinne um reale, IoX-basierte Dienste, also um *PSS-Services* (business services). Diese reichen vom *Realtime IoX-Monitoring* über das *Predictive Maintenance* bis zu *Closed-loop Product Development Processes* (PDP), was im Kontext komplexer IoX-Systeme das enge Zusammenspiel zwischen PLM- und IoT-Plattform impliziert.

Indem IoX-Systeme als verteilte Systeme prinzipiell MAS-basiert sind, wird ein EA- bzw. SEA-Ansatz erforderlich, der unter Gesichtspunkten wie Flexibilität, Agilität und Integrativität auf die *Service-Oriented Architecture* (SOA) und insgesamt auf das *Service-Oriented Computing* (SOC) hinausläuft.⁸²⁶ Im Zeichen des PLM-Referenzszenarios geht es mit IBMs (2008c) *SOA Approach to Enterprise Integration for Product Lifecycle Management* schließlich darum, das EI-Ziel auf SOA-Basis zu vollziehen, wobei es auch hier unter Implementierungsaspekten um die erwähnte BPM-PLM Kombination geht. Denn SOA bezieht sich auf beide Teile dieser Kombination; zum einen sind BPM und SOA inseparabel, da Prozesse mit Services im Zeichen der Prozessautomatisierung miteinander verschmelzen.⁸²⁷ Zum anderen gründen mit Pkt. 1.5 alle bekannten PLM-Systeme auf SOA. Insofern die BPM-PLM Kombination auf SOA-Basis im Zeichen von Produkten, Prozessen und Ressourcen mit Pkt. 2.5 elementar das PPR-Framework berührt, geht es letztlich um den Kern der *Enterprise Architecture* (EA). Somit wird auch ein Mapping von *SOA Artefakten* auf EA Frameworks wie GERAM erforderlich, wie es bei Noran (2010) vollzogen wird. IoX-basierte *U-PLM-Systeme* gehen dabei nicht nur in der Hinsicht über IBM (2008c) maßgeblich hinaus, als einerseits der elementare IoX-Aspekt, damit verbunden andererseits der CPS/MAS-Ontologieaspekt zu berücksichtigen ist, wie es den Gegenstand der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bildet. Diese Ausrichtung läuft dann technisch gesehen aus dem Grunde zwangsläufig auf das *Event-Driven SOA* (ED-SOA) hinaus, weil dies das *Sensing Enterprise* ausgehend von der Sensorik mit Ansätzen wie EDA und CEP erfordert. Darüber hinaus liegt es auf der Hand, die SEA-Modellierung auf der *Model*

⁸²⁴ Bspw. werden OMG-Standards beim *Enterprise Modeling* auf TOGAF-Basis eingesetzt, vgl. Desfray/Raymond (2014).

⁸²⁵ Vgl. hierzu auch Elvesæter/Berre (2010) sowie speziell im *PLM-Kontext* Thimm et al. (2006).

⁸²⁶ Vgl. hierzu Aier/Gleichauf (2009), Alwadain et al. (2010) sowie Kistasamy et al. (2010).

⁸²⁷ Vgl. hierzu etwa Minoli (2008).

Driven Architecture (MDA) der OMG gründen zu lassen, wie es bereits im Zuge der OMG *PLM Services* vollzogen wird.⁸²⁸ Denn auch in genereller Hinsicht erzwingt die IoX-Basis von U-PLM-Systemen eine plattformunabhängige Architektur, womit der MDA-Ansatz wegweisend ist, was mit Blick auf die Verknüpfung mit OMG-Basistechnologien wie BPMN oder SBVR gerade auch unter Interoperabilitätsgesichtspunkten gilt.⁸²⁹

Die *Service-Oriented Architecture* (SOA) ist für die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) komplexer IoX-Systeme als Middleware insgesamt konstituierend.^{830, 831, 832} Es steht dabei eine *Service-Oriented Middleware* (SOM) in Frage,⁸³³ die speziell auf die IoX-Anforderungen zugeschnitten ist.⁸³⁴ Damit geht es in IoX-Systemen nicht allein um die klassischen *Business Services*, sondern vor allem auch um *Thing-based Services*, die nochmals andere Anforderungen stellen.⁸³⁵ Der SOA-Ansatz findet entsprechend gerade auch in den Referenzmodellen zur *Industrie 4.0* (I40) Berücksichtigung,⁸³⁶ die sich nicht nur auf CPS- bzw. IoT-Aspekte, sondern explizit auf den integrativen SOA-basierten *IoX-Gesichtspunkt* im Sinne von "*service-based, real-time enabled CPS platforms*" beziehen.⁸³⁷ Dabei wird das SOA-Konzept nicht nur für die *Smart Factory* als wegweisend erachtet,⁸³⁸ indem bedeutende EU-Projekte wie IMC-AESOP im IoX-Sinne explizit die Fusion von CPS, SOA und Cloud Computing zum Gegenstand haben.⁸³⁹ Diese zielen auf SOA-basierte

⁸²⁸ Grundsätzlich geht es dabei um ein *Platform Independent Model* (PIM) für *Product Lifecycle Management Services*. Gemäß MDA definiert die Spezifikation darüber hinaus ein *Platform Specific Model* (PSM). Dieses ist auf eine Implementierung von Web Services applizierbar, die im Zuge einer WSDL Spezifikation mitsamt einer SOAP Bindung und einer XML Schema Spezifikation definiert werden.

⁸²⁹ Vgl. hierzu Roser/Bauer (2007).

⁸³⁰ Vgl. hierzu S. Haller et al. (2009), Spiess et al. (2009), Atzori et al. (2010), Eisenhauer et al. (2010), Guinard et al. (2010), Gama et al. (2012), Delgado (2013, 2014), Kryvinska/Strauss (2013), Boubeta-Puig et al. (2014), Y. Zhang et al. (2014), Balasubramaniam/Sarala/Kavitha (2015), S. Li et al. (2015) sowie F. Wang/Hu et al. (2015).

⁸³¹ Im Einzelnen weichen Ansätze serviceorientierter IoX-Middleware ab, vgl. Teixeira et al. (2011).

⁸³² Mit *TinySOA* findet SOA auch im WSN-Kontext Anwendung, vgl. Avilés-López/García-Macías (2009).

⁸³³ Vgl. hierzu etwa Al-Jaroodi/Mohamed (2012).

⁸³⁴ Vgl. etwa Corredor et al. (2012) sowie Issarny et al. (2016).

⁸³⁵ Vgl. Issarny et al. (2016).

⁸³⁶ VDI/VDE-GMA (2014a) stellen auf ihrem Weg zu einem I40-Referenzmodell die Konformität zu einem SOA-Referenzmodell als wesentlich voraus; unter anderem wird dabei auf das OASIS *SOA-RM* sowie das *Architectural Reference Model* (IoT-ARM) des europäischen Forschungsprojekts *Internet of Things Architecture* (IoT-A) abgestellt. Das OASIS *SOA-RM*, vgl. OASIS (2006), ist dabei in Form der *Reference Ontology for Semantic SOA* der OASIS (2008) spezifiziert. Demgegenüber beinhaltet das IoT-ARM sowohl ein IoT-Referenzmodell (IoT-RM) als auch die Beschreibung einer konzeptionellen Referenzarchitektur (IoT-RA). Diese bauen ebenfalls auf einer serviceorientierten Perspektive auf, vgl. hierzu im Einzelnen Bassi et al. (2013). – Das *Reference Architecture Model Industrie 4.0* (RAMI4.0) ist als realisiertes I40-Referenzmodell SOA-basiert, vgl. VDI/VDE-GMA (2015), Bitkom/VDMA/ZVEI (2016) sowie BMWi (2016c). Entsprechend wird auch die Frage der semantischen Interoperabilität zwischen RAMI4.0 und der *Industrial Internet Reference Architecture* (IIRA) des *Industrial Internet Consortium* (IIC) in zentraler Weise unter SOA-Gesichtspunkten festgemacht, vgl. Infosys (2016). Vgl. zum Spektrum der IoT-Referenzarchitekturen Weyrich/Ebert (2016), wobei die Ansätze teils substitutiv, teils komplementär sind.

⁸³⁷ Vgl. acatech (2013).

⁸³⁸ Vgl. etwa Jammes et al. (2005), Jammes/Smit (2005), MESA (2008), Moreira Sá de Souza et al. (2008), A.W. Colombo et al. (2010), Guinard et al. (2010), J. Gao et al. (2011), Loskyll et al. (2011), Ollinger et al. (2011) sowie J. Morgan/O'Donnell (2015).

⁸³⁹ Vgl. A.W. Colombo et al. (2014) sowie Karnouskos et al. (2014).

IMC-Systeme,⁸⁴⁰ wie sie allgemein für IoX-Systeme wesentlich sind. Auch werden für die Smart Factory zentrale Applikationen wie PLM-, ERP- und MES-Systeme einheitlich auf die SOA-Architektur umgestellt,⁸⁴¹ die sich auf ihrer Basis mit Shop Floor-Steuerungssystemen wie SCADA/DCS vergleichsweise einfach integrieren lassen.^{842, 843} Sie stellt auch die konkrete Grundlage für semantische M2M-Kommunikationsprotokolle wie OPC UA.⁸⁴⁴ Analog gilt dies insgesamt für die Automatisierungstechnik (SOA-AT).⁸⁴⁵ Insbesondere läuft SOA vor dem Hintergrund der *Enterprise Integration* mit dem PLM-Ansatz Hand in Hand,⁸⁴⁶ da es gilt, sämtliche der weiter unten in Abb. 1 dargestellten Phasen und die damit verbundenen Prozesse bzw. Workflows sowie Daten und Systeme umfassend miteinander zu verzahnen.⁸⁴⁷ Gleichzeitig ist SOA im Referenzszenario der *Closed-loop U-PLM-Systeme* im Sinne der Architektur verteilter agentenbasierter Systeme automatisch gesetzt.

In den Prozessen komplexer IoX-Systeme inkorporierte *Web Services* bilden in diesem Kontext aus dem Grunde den Mittelpunkt der *Service-Oriented Architecture* (SOA),⁸⁴⁸ weil sie es sind, auf denen sich erst die Konnektivität heterogener Systemwelten für IoX-Systeme über die gesamte EA-relevante Breite realisieren lässt.⁸⁴⁹ Konkret bezieht sich das auf den gemeinsamen organisationsübergreifenden Zugriff auf Daten und Geschäftsprozesse vermittelt einer offenen Definition der Schnittstellen.⁸⁵⁰ Wie bereits festgestellt, impliziert das IoX-Computing entsprechend das *Service-Oriented Computing* (SOC) auf Grundlage von Web Services. Damit gründen IoX-Systeme auf der *Service-Oriented Architecture* (SOA), die allerdings auf Grundlage der ontologischen IoS- bzw. IoT-Anbindung im Web

⁸⁴⁰ Das sind *Intelligent Monitoring and Control Systems*, die einen Kerngedanken der *Smart Factory* bilden.

⁸⁴¹ Vgl. hierzu etwa Holmberg/Johansson (2012); vgl. dazu allgemein Krafzig et al. (2004).

⁸⁴² Vgl. etwa Delsing et al. (2011).

⁸⁴³ Gemäß VDI-Richtlinie 5600 lassen sich für die *Smart Factory* drei ontologierelevante Steuerungsebenen abgrenzen, nämlich die ERP-Ebene als oberste, betriebswirtschaftliche Ebene (Corporate Management), die eigentliche MES-Ebene als mittlere Koordinationsebene sowie die Steuerung auf der dezidierten Fertigungsebene (Shop Floor), vgl. VDI (2007). MES bilden dabei im Allgemeinen das Bindeglied zwischen oberer und unterer Ebene. Die Steuerung auf der unteren Ebene vollzieht sich über *Distributed Control Systems* (DCS), also über Leitsysteme bzw. Leitstände oder über *Supervisory Control and Data Acquisition*-Systeme (SCADA-Systeme). Bei SCADA erfolgt die Regelung entweder auf Basis von Fernbedienungsterminals (*Remote Terminal Units*, RTU) oder auf Basis speicherprogrammierbarer Steuerungen (*Programmable Logic Controller*, PLC). In der *Smart Factory* erfolgt die Kommunikation innerhalb bzw. zwischen all diesen Systemen im Allgemeinen auf Basis von TCP-basierten Internettechniken, während ihre Architektur dem SOA-Gedanken einzelner *Services* entspricht. Insofern steht die *Smart Factory* nicht nur mit CPPS im Zeichen des IoT-, sondern genauso im Zeichen des IoS-Gedankens, womit sie bereits für sich genommen ein wesentliches Szenario komplexer IoX-Systeme darstellt.

⁸⁴⁴ Vgl. dazu etwa Toro et al. (2015); vgl. dazu auch Fn. 1399.

⁸⁴⁵ Vgl. hierzu etwa Loskyll et al. (2011).

⁸⁴⁶ Vgl. hierzu IBM (2008c).

⁸⁴⁷ Entsprechend wird auch die Bedeutung von PLM im I40-Kontext erkannt, vgl. etwa BMWi (2016a).

⁸⁴⁸ Zwar sind *Web Services* prinzipiell nicht zwingend mit SOA interdependent, doch entfalten sie erst samt BPM-Kombination auf Basis dieser Architektur ihr ganzes Potential, vgl. hierzu Pasley (2005). Wenn es hier um SOA geht, dann ist damit immer eine *webbasierte SOA-Implementierung* gemeint, für die diese Interdependenz mit (*XML*) *Web Services* gilt, vgl. hierzu etwa Erl (2004: 49 ff.).

⁸⁴⁹ Vgl. O. Zimmermann et al. (2003: 5).

⁸⁵⁰ Vgl. *ibid.*, p. 6.

4.0 weiterentwickelte Varianten einfordern.⁸⁵¹ Diese gehen dabei insbesondere in zwei Richtungen: zum einen geht es auf Grundlage der Vereinigung des in Pkt. 6.2.1 behandelten CEP-Paradigmas mit dem SOA-Paradigma (SOA 1.0) um die *Event-Driven Architecture* (EDA), die alternativ auch als *Event-Driven SOA* (ED-SOA), als *SOA 2.0* oder als *advanced SOA* bezeichnet wird. Das *Internet of Everything* (IoX) basiert ganz maßgeblich auf dieser CEP/SOA-Integration,⁸⁵² wobei beides im Zeichen des *Ontological Computing* entsprechend *ontologisch* auszulegen ist, d.h. das CEP-Paradigma ist mit Pkt. 6.2.1 immer als SCEP-Paradigma zu verstehen. Zum anderen avanciert die SOA zur *Semantically enabled Service-Oriented Architecture* (SSOA), mit der die semantische Äquivalenz von Web Services gesichert wird. Die SCEP- sowie SSOA-Semantik hat dabei auf einer einheitlichen *Top-level Ontologie* (TLO) sowie mit der *TLO-EO-Verkopplung* auf einer einheitlichen *Enterprise Ontology* (EO) zu gründen. Insgesamt führt der Weg, der im Rahmen der *Smart Enterprise Integration* (SEI) einzuschlagen ist, von der traditionellen *Enterprise Application Integration* (EAI) via SOA/EDA zur *Service-Oriented Integration* (SOI). EDA bzw. ED-SOA zielen dabei explizit auf die Realisierung des *Real-Time Enterprise* (RTE) ab.⁸⁵³ Das SOC-Paradigma bildet somit insofern die RTE-Basis, als die Generierung von Informationen bzw. Wissen auf Grundlage von Services erfolgt, was wiederum unmittelbar die *ereignisgesteuerte, serviceorientierte Architektur* (ED-SOA) voraussetzt.⁸⁵⁴ Diese geht einher mit dem *Enterprise Service Bus* (ESB) als Infrastruktur zur Interaktion bzw. Kommunikation serviceorientierter Applikationen,⁸⁵⁵ der mit der *Message Oriented Middleware* (MOM) und weiteren Komponenten das zentrale ED-SOA-Backbone darstellt,⁸⁵⁶ das SOA im Zuge der EDA-Fusion erhält. Es besteht heute weitgehende Übereinstimmung, dass ED-SOA mit dem ESB auf Basis von Web Services ein erfolgsversprechendes Rahmenwerk für alle organisationsübergreifenden EI-Zwecke bildet,⁸⁵⁷ wie es für den SEI-Vollzug im IoX-Hyperspace vorauszusetzen ist.

Für diesen IoX-SOA-Konnex gibt es viele Gründe wie Ubiquität, Skalierbarkeit, Echtzeitverarbeitung wie gerade auch den Interoperabilitätsaspekt, also die flexible Integration vernetzter heterogener Systeme auf Basis kombinierbarer wie wiederverwendbarer Services.⁸⁵⁸ Der wichtigste Grund besteht jedoch darin, dass das *Internet of Everything* an sich auf dem serviceorientierten Paradigma gründet, was neben den genannten Ursachen nicht nur unmittelbar mit dem ihnen zugrundeliegenden MAS-Ansatz zu tun hat, sondern vor allem auf die technische Form ihrer Umsetzung im Internet bzw. in der Cloud zurückgeht. Auf Basis von Protokollen wie SOAP, REST oder XML-RPC kann sich die Kommunika-

⁸⁵¹ Vgl. etwa S. Haller et al. (2009) sowie Cardin/Castagna (2012).

⁸⁵² Vgl. auch Boubeta-Puig et al. (2014).

⁸⁵³ Vgl. H. Taylor et al. (2009).

⁸⁵⁴ Vgl. hierzu Ballard et al. (2006), insbes. pp. 103 ff.

⁸⁵⁵ Vgl. hierzu D.A. Chappell (2004), M.-T. Schmidt et al. (2005) sowie D. Bo et al. (2008).

⁸⁵⁶ Vgl. bzgl. MOM etwa D.A. Chappell (2004: 77 ff.).

⁸⁵⁷ Vgl. etwa W. He/Xu (2014).

⁸⁵⁸ Vgl. hierzu Bandyopadhyay et al. (2011), Khodadadi et al. (2016: 8 f.) sowie Razzaque et al. (2016).

tion zwischen Services aufgrund wohldefinierter Schnittstellen unabhängig von der Frage vollziehen,⁸⁵⁹ in welcher Programmiersprache solche SOA-Services als Softwarekomponenten geschrieben sind oder auf welchen Computerplattformen bzw. Betriebssystemen sie betrieben werden. Das entspricht genau den Architekturanforderungen, die IoX-Systeme erfordern. Indessen muss man weiter gehen indem wir bereits festgestellt hatten, dass IoX-Systeme dem *Smart Web* als Web 4.0 entsprechen. Insofern gilt mit Petrie/Genesereth et al. (2004) generell das Erfordernis, Web Services um AI zu ergänzen, wobei die AI-Ontologie einerseits, und Agenten bzw. MAS andererseits eine maßgebliche Rolle spielen. Damit nicht genug, denn das impliziert für den IoX-Kontext, dass Services mit Petrie/Hochstein/Genesereth (2011) immer als *Smart Services* aufzufassen sind, die mitsamt einer geeigneten Semantik im AI-Sinne zu formalisieren sind. Auch in dieser zentralen Hinsicht führt der IoX-SOA-Konnex zur formalen Ontologie, die weder um eine *TLO-Referenz* noch um eine *TLO-EO-Verkopplung* umhinkommen kann. Erstes, also die TLO-Referenz gilt in Bezug auf die durch Petrie (2007) bemängelte exakte Semantik fundamentaler Terme in den AI-Subdisziplinen, insbesondere hinsichtlich des Fehlens einer wissenschaftlichen Vorgehensweise. Dieser Punkt geht etwa zulasten der DOLCE-TLO, die einen "objektiven" Standpunkt der Ontologie grundsätzlich in Frage stellt, während dieser vor allem durch die BWW-TLO im Sinne Bunges ausdrücklich betont wird.

Mit Blick auf das Kriterium der CPSS-Adäquanz von Ontologien teilen wir Petries (2007) Kritik uneingeschränkt; doch einen pragmatischen Lösungsvorschlag, wie diese fehlende wissenschaftliche Vorgehensweise erfüllt bzw. kompensiert werden kann, liefert auch Petrie (2007) nicht. Dazu ist zunächst ein grundsätzlicher Diskurs notwendig, der mit Pkt. 3.3.2 die klassische *linguistische Ontologieauffassung* als solche in Frage stellt. Darauf aufbauend kann die Lösung allein in einer *realistischen Ontologieauffassung* bestehen, die wiederum mit Pkt. 4.1 notwendig in der Metaphysik mündet, da es diese Disziplin und nicht die Linguistik bzw. die Sprachphilosophie ist, die sich mit den fundamentalen Strukturen der Realität *an sich* beschäftigt. Wenn für Petrie (2007: 88) außer Frage steht, dass »this lack of scientific method has created confusion and a lack of clear results«, dann ist evident, dass sich die Kohärenz von *Scientific Ontologies*, technologischen Ontologien und praktischen Ontologien bzw. zwischen Referenz- und Anwendungsontologien gewiss nicht ausgehend von den jeweils letztgenannten realisieren lässt. Das aber hat die aktuell gängige Praxis der AI-Ontologie letztlich zur Konsequenz. Geht es um die Kohärenz sämtlicher Ontologietypen, die für eine vollumfängliche semantische Interoperabilität Grundvoraussetzung ist, dann ist klar: die Lösung des durch Petrie (2007) und andere identifizierten essentiellen Problems der AI-Ontologie kann allein in einer genau umgekehrten Vorgehensweise bestehen. Diese läuft mit Pkt. 4.1 auf den *Ratio-Empirismus* einer techno-wissenschaftlichen Metaphysik hinaus, die zugleich Computer- bzw. Digitalmetaphysik ist. Denn nur auf einer solchen transdisziplinären Grundlage kann allen fundamen-

⁸⁵⁹ Vgl. hierzu etwa Gilchrist (2016: 147 ff.).

talen Termini über alle Disziplingrenzen hinweg eine exakte Semantik zuteilwerden. – Demgegenüber ist hinsichtlich der TLO-EO-Verkopplung zu konstatieren, dass es, wie bereits Petrie (1992) betont, bei *Services* immer wesentlich um die *Enterprise Integration* (EI) geht, wobei gilt: »The concept of services is surprisingly general; even manufacturing enterprises can also be seen abstractly as service organizations«. ⁸⁶⁰ Doch auf Basis der SOA-Architektur läuft dieser EI-Gedanke notwendig auf die *Smart Enterprise Integration* (SEI) hinaus, indem mit Petrie (2011: 51) festzustellen ist: »There is a strong need for semantics [...] because of the need for re-usability and service composition within so-called “Service-Oriented Architectures”«. Wenn sich in IoX-Kontexten *Services* direkt oder indirekt auf Cyber-physische Systeme (CPS) beziehen, ist evident, dass nicht nur die Service-Ontologie, sondern auch alle infrastrukturelle Ontologie dem Kriterium der CPSS/SEA-Adäquanz zu entsprechen hat.

Wesentlich für das Verständnis des IoX-SOA-Konnex ist indessen die Tatsache, dass sich diese *Services* nicht auf diesen technischen Gesichtspunkt beschränken, sondern das serviceorientierte Paradigma vielmehr ein sehr weitgehendes Serviceverständnis einfordert, um das sich eine transdisziplinäre, letztlich immer SOA-bezogene *Service Science* etabliert hat. ⁸⁶¹ Dieses Serviceverständnis wird im Folgenden näher erörtert und in der Weise vertieft, wie es für das Verständnis des ontologischen SEA/SEI-Vollzugs erforderlich erscheint. Hier ist insofern im Kontext der EO-Diskussion ein besonderer Fokus zu setzen, als sich die *Smart Enterprise Integration* (SEI) genauer besehen auf Basis einer *Service-Oriented Enterprise Integration Architecture* konkret in Form einer *Service-Oriented Integration* (SOI) vollzieht, deren Vollendung im *Service-Oriented Enterprise* (SOE) besteht. ⁸⁶² Damit steht außer Frage, dass sich die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* mit der erforderlichen CPSS-Adäquanz einerseits und der SOA-Adäquanz andererseits allein im Zuge einer umfassenden *TLO-EO-Verkopplung* realisieren lässt. Diese erfordert wiederum eine MAS-orientierte Ontologiearchitektur, die in keinem der gegenwärtigen TLO- bzw. EO-Theorieanwörter sachgerecht umgesetzt ist; in vielen Ansätzen wird das Erfordernis einer MAS-basierten Ontologiearchitektur nicht einmal an sich gesehen. Indessen besteht zwischen MAS und SOA in IoX-Systemen eine maßgebliche Interdependenz, die wiederum im Zuge der *TLO-EO-Verkopplung* wie der TLO- bzw. EO-Struktur an sich essentiell zu berücksichtigen ist. MAS-Architekturen laufen insofern auf SOA-Transaktionsbeziehungen hinaus, indem *Agenten als Service Provider* einerseits und *Agenten als Service Requesters* (clients) bzw. *Service Consumer* andererseits als elementare Parteien eines Ser-

⁸⁶⁰ Vgl. Petrie (1992: 6).

⁸⁶¹ Im Grunde besteht im SOA-Paradigma bzw. in der SOC-Disziplin insofern der zentrale informationstechnologische Enabler von *Service Systems*, als diese entweder unmittelbar darauf gründen oder mittelbar, indem ihr Gegenstand im Allgemeinen in *IoS-Based Services* zu sehen ist, vgl. etwa Cardoso et al. (2014). Das gilt auch dann, wenn sich nicht alle *Electronic Services* als *IoS-Based Services* darstellen, vgl. Cardoso/Fromm (2015). *IoS-Based Services* sind für uns solche, die auf Basis von *Internettechnologie* bereitgestellt werden. Sie sind also nicht, wie bei Cardoso et al. (2011: 6) notwendig auf das *Internet* bezogen, sondern zielen genauso auf die geschlossenen Bereiche des Intra- oder Extranets.

⁸⁶² Vgl. Erl (2004: 496 ff.), Capgemini (2005) sowie Khoshafian (2007).

vicevertragsprozesses in eine solche Relation treten. Umgekehrt besteht diese Interdependenz SOA-seitig bereits dadurch, dass *Service Provider* wie *Service Requesters* (clients) als *Agenten* aufzufassen sind. MAS-seitig ist sie darin zu sehen, dass *Smart Objects* als MAS-Agenten in IoX-Systemen als solche *Service Provider* bzw. *Service Requester* in Interaktion treten. Der MAS-Aspekt ist vor diesem Hintergrund im *Internet of Everything* insofern immer gesetzt, als es in seiner Eigenart als *Internet of Services* (IoS) zwangsläufig auf Multiagentensysteme (MAS) hinausläuft. Denn es sind kognitive IoX-Agenten, die im Zeichen ereigniszentrischer Prozesse *Services* anbieten oder diese in Anspruch nehmen. Mit diesem prozessualen Ereigniszentrismus implizieren IoX-Strukturen auf IoS-Grundlage grundsätzlich die *Event-driven SOA* (ED-SOA). Superintelligenz von IoX-Systemen basiert dann maßgeblich darauf, dass es sich um entscheidungsautonome superintelligente IoX-Agenten handelt, die *ad hoc* auf ein reiches Repertoire an *Services* und *Ontologien* zurückgreifen können, und dabei in IoX-Strukturen entsprechend in einer Weise vernetzt sind, die den fortwährenden Zugriff auf diese Ressourcen gewährleistet. Insofern bildet das *Internet of Services* (IoS) als IoX-Subsystem im Zuge der – zumeist semantikbasierten – Servicebereitstellung (Service Provisioning) eine zentrale Infrastruktur für die unterschiedlichsten IoX-Szenarien.⁸⁶³ Dabei interagiert es mit den anderen vier unter Pkt. 1.1 abgegrenzten IoX-Subsystemen in umfassender Weise. Technisch vollziehen sich diese *realen* (kommerziellen) Service-Prozesse im Allgemeinen im Zeichen von *Web Services* auf Basis der *Service-Oriented Architecture* (SOA),⁸⁶⁴ auf der entsprechend auch alle gängigen PLM-Softwaresysteme gründen. In U-PLM-Systemen ist SOA demgegenüber immer um EDA kombiniert als *Event-driven SOA* (ED-SOA) auszulegen. Der technische Vollzug IoX-basierter PSS-Services läuft damit auf ein *Service-Oriented System Engineering* (SOSE) hinaus,⁸⁶⁵ das insgesamt im Zeichen des *Service-Oriented Computing* (SOC) steht.⁸⁶⁶ Das SOC-Paradigma ist das Paradigma des *Cloud Computing*,^{867, 868} die beide in

⁸⁶³ Vgl. etwa Ch. Sarkar et al. (2012); vgl. zu einer SW-basierten Variante etwa Bimschas et al. (2011).

⁸⁶⁴ Die SOA-Architektur ist auch in dem Sinne als generisch zu erachten, als sie keineswegs zwingend web-basiert ist. Vielmehr stellen *Web Services* eine konkrete Umsetzung des abstrakten SOA-Konzepts dar, wengleich der SOA-Ansatz sich heute mit der Allgegenwärtigkeit von IoX-Strukturen im Allgemeinen hierauf beschränkt.

⁸⁶⁵ Vgl. hierzu etwa W.-T. Tsai et al. (2007).

⁸⁶⁶ Vgl. Papazoglou/Georgakopoulos (2003), Papazoglou/Van den Heuvel (2007), Georgakopoulos/Papazoglou (2009) sowie Blake/Bartalos (2014).

⁸⁶⁷ Basis des SOC-Paradigmas bzw. des *Cloud Computing* bilden IT Services auf Ebene der Computerressourcen als *Infrastructure as a Service* (IaaS), auf Ebene der Middleware als *Platform as a Service* (PaaS) sowie auf Ebene der Applikationen als *Software as a Service* (SaaS), vgl. etwa W.-T. Tsai et al. (2010) sowie Beltrame/Dagostino (2014). Teilweise wird dabei die Hardware als *Hardware as a Service* (HaaS) gesondert abgegrenzt, vgl. Stanik et al. (2012), genauso wie Netzwerke als *Network as a Service* (NaaS), vgl. Aazam/Huh (2013); auch hier gibt es regelmäßig semantische Varianten, vgl. Morsey et al. (2015). Mit der *Service-Oriented Cloud Computing Architecture* (SOCCA) bei W.-T. Tsai et al. (2010) wird unterstrichen, dass *Cloud Computing* mit dem SOC-Paradigma Hand in Hand geht. In anderen SOC-Konzepten kommt die Ebene der Datenbereitstellung "on demand" als *Data as a Service* (DaaS) hinzu, vgl. Truong/Dustdar (2009) bzw. *Information as a Service*, vgl. A. Dan et al. (2007). Ersteres wird bei Rietveld et al. (2015) auf LOD-Basis zum *Linked Data as a Service* (LDaaS) erweitert. Torkashvan/Haghighi (2012) machen demgegenüber mit dem *Intelligence as a Service* (INaaS) als weiterer Ebene deutlich, wie umfassend das SOC-Paradigma mit dem AI- bzw. DAI-Paradigma sowie insgesamt mit

letzter Konsequenz auf das XaaS-Paradigma (Everything as a Service) zielen,⁸⁶⁹ in dem wiederum ein zentraler IoX-Enabler zu sehen ist.⁸⁷⁰ Umgekehrt betrachtet weist das XaaS-Paradigma bzw. der IoX-Hyperspace im Zeichen von ED-SOA auf das SOC-Paradigma sowie auf das *Cloud Computing* in Bezug auf globale Intelligenz bzw. Services, und auf das *Fog Computing* (Edge Computing) in Bezug auf lokale bzw. regionale Intelligenz resp. Services. Mit Ausnahmen – etwa im öffentlichen Bereich der *Smart City* – gilt dabei, dass alle möglichen Arten technischer Services regelmäßig kommerzielle Service-Aspekte bzw. PSS-Service-Aspekte bilden. Somit wird deutlich, dass kommerzielle *PSS-Services* (business services) einerseits und technische *Web Services* (software services) andererseits zwar an sich grundverschieden sind, jedoch im *Internet of Services* (IoS) bzw. insgesamt im IoX-Paradigma Hand in Hand laufen. Genau das wird auf Basis von EO-Ansätzen zu realisieren versucht: zum einen ist hier die *e3-Value Ontology* zu nennen, die primär zu diesem Zweck entwickelt wurde: denn eine rein technische Betrachtung von *Web Services* greift deshalb zu kurz, weil ihr Nutzen vom jeweiligen Kontext und damit von der Pragmatik abhängt.⁸⁷¹ Dann jedoch gelangt man von der Semantik der *Web Services* notwendig auf die pragmatische Ebene kommerzieller *PSS-Services* (business services): »for e-services, being commercial services which can be ordered and provisioned online, understanding of pragmatics of services is also needed«. ⁸⁷² Genau dieses Vorgehen steht hinter der *Value Object Analysis* bei Weigand et al. (2007b), von der man auf Grundlage der *e3-Value Ontology* erst zu den Prozessmodellen und dann schließlich zu den erforderlichen *Web Services* gelangt. Die *e3-Value Ontology* oder vergleichbare Ansätze wie die *Business Model Ontology* (BMO) sind im Referenzszenario aber auch insofern von zentraler Bedeutung, indem der PSS/PLM-Konnex in seinem Kern bedeutet, dass PLM-Systemen ein PSS-bezogenes *Business Model* inhärent ist, das auf die Identifikation eines unikalen *Product-Ser-*

dem *IoX-Computing* verwoben ist, indem spezifische Services auf physischer bzw. virtueller Sensorbasis via *Reasoning* automatisch ausgelöst werden. In diesem Zusammenhang findet das Spektrum der Servicetypen Ausweitung auf alle PPR-relevanten Teile (vgl. dazu Pkt. 2.5), nämlich den PSS-Service-Aspekt bzw. *Product as a Service*, vgl. Xu/Ilic (2014), *Business Process as a Service* (BPaaS), vgl. Woitsch/Utz (2015), bzw. *Workflow as a Service* (WaaS), vgl. D. Wang/Liu et al. (2014), sowie *Resource as a Service* (RaaS), vgl. Ben-Yehuda et al. (2012). Der RaaS-Gedanke geht dabei weit über den IaaS- bzw. HaaS-Gedanken hinaus; vielmehr bezieht dieser die unterschiedlichsten Aspekte mit ein, nicht zuletzt etwa die Blockchain-Technologie im Zuge des *Blockchain as a Service* (BaaS), vgl. Samaniego et al. (2016) sowie Samaniego/Deters (2016a, 2016b). Gerade vor dem Hintergrund des PPR-Frameworks wird eine Komposition neuer Services aus existierenden Services elementar; sowohl in Produkt- (PSS-) als auch in Prozess- und Ressourcenrichtung geht es darum, die unterschiedlichsten Services jeweils situations- bzw. nachfragespezifisch zu einem virtuellen Gesamtservice zu orchestrieren. Ein solches *Mashup as a Service* (MaaS) kann beispielsweise einzelne SaaS-Komponenten bzw. andere Servicetypen zu einem aggregierten Cloud-Dienst verknüpfen, vgl. hierzu J. Im et al. (2013). Das IoX/XaaS-Paradigma bestimmt somit mehr und mehr die gesamte *Enterprise Architecture* (EA); diese steht zunehmend teilweise oder ganz im Zeichen einer *Cloud Organization*, die im Kern in einer *Service Governance* besteht, vgl. J. Li/Biennier/Amghar (2012). Gleichzeitig eröffnen alle Ebenen der genannten Servicetypen Möglichkeiten kommerzieller Cloud-Lösungen, vgl. acatech (2014) und Truong et al. (2014).

⁸⁶⁸ Vgl. zur Differenzierung *Cloud Computing* vs. *Grid Computing* Vaquero et al. (2009).

⁸⁶⁹ Vgl. hierzu Banerjee et al. (2011) sowie Y. Duan et al. (2015a, 2015b).

⁸⁷⁰ Vgl. Abdelwahab et al. (2014).

⁸⁷¹ Vgl. Gordijn et al. (2009).

⁸⁷² Vgl. Gordijn et al. (2009: 46).

vice Value mitsamt seiner Realisierungsstrategie abstellt.⁸⁷³ Nach der PSS-Realisation ist ein systematisches IoX-basiertes KPI-Monitoring diesem Ansinnen in der Nutzungsphase permanent verpflichtet.

Zum anderen geht es damit verbunden um einen zweiten Ansatz, der auf Basis der *REA-EO* entwickelt wurde mit dem Ziel, im Sinne einer "*General Service Architecture*" kommerzielle Services und SOA-Services zu einem einheitlichen Serviceparadigma bzw. "*Unified View of Services*" zu vereinen.⁸⁷⁴ Diese universale bzw. integrierende Sichtweise wird auch durch Enterprise- bzw. Cloud-Architekten postuliert, etwa wenn Karnouskos et al. (2010) von SAP Research bei *realweltlichen Service-Interaktionen* im Umfeld der intelligenten Fabrik konsequenterweise auch ein "*real-world SOA*" einfordern. Der zentrale Stellenwert der CPSS-Adäquanz der Ontologiearchitektur wird im PLM/PSS-Kontext auch daran deutlich, dass reale *Produkt-Service Systeme* (PSS) zunehmend auf Basis von *virtueller Realität* getestet werden.⁸⁷⁵ Das impliziert, dass »[c]omponents of information and material processes, as well as *virtual smart PSS* models and *real smart PSS* will be part of a smart cloud-based infrastructure«.⁸⁷⁶ Allerdings wird dabei kaum zu Ende gedacht sein, welche Anforderungen das alles in ontologischer Hinsicht im Sinne der CPSS-Adäquanz bedingt. Denn damit ist bereits eine *integrierte Ontologiekonzeption* impliziert, die sich einerseits etwa in sicherheitskritischen PLM-relevanten Industrien wie der Luft- und Raumfahrt oder der Medizintechnik streng auf die physische Realität, andererseits jedoch mit den notwendigen Freiheitsgraden auf die virtuelle Realität beziehen muss. Dabei wird sich im Folgenden zeigen, dass im Grunde alle bisherigen Ontologieansätze bereits an solch einfachen Anforderungen scheitern, indem sie die erforderlichen disparaten Welttypen nicht bzw. nicht sachgerecht differenzieren.

Umgekehrt besteht auf Seiten des *Service-Oriented Computing* (SOC) genau die gleiche Tendenz, wenn Telang/Singh (2009) das *Business Modeling* im PSS-Sinne in den Kontext des weiter unten erörterten *Commitment-Based SOA* (CSOA) stellen. Gleiches gilt, indem sich die Pragmatik bzw. der Kontextbezug, den Gordijn et al. (2009) für Services fordern, genauso im Zuge technischer SOA-Services findet, wenn M.P. Singh/Huhns (2005) das SOC-Paradigma auf die Grundlage des IoX-Paradigmas in seiner Eigenart als "*Pragmatic Web*" stellen. Damit ist genau gleiches gemeint: »The term *pragmatic* here means that the Web is understood as being used for processes in context«.⁸⁷⁷ Mit diesem *Kontextbezug* ist wiederum eine *Transaktion* bzw. Austauschbeziehung gemeint, in die natürliche bzw. maschinelle Agenten involviert sind. Dann stehen mit dem Kontextbezug die Nutzenpräferenzen bzw. Ziele der Agenten im Fokus, wie sie etwa im Zeichen von Bratmans (1987) BDI-

⁸⁷³ Vgl. etwa Abramovici/Aidi/Dang (2013) sowie P.P. Wang et al. (2014, 2016).

⁸⁷⁴ Vgl. Weigand et al. (2008, 2009); vgl. ferner P. Johannesson et al. (2008) und B. Andersson et al. (2012).

⁸⁷⁵ Vgl. etwa Exner/Stark (2015) sowie Oscarsson et al. (2016).

⁸⁷⁶ Vgl. Abramovici et al. (2015: 167), Hvh. des Verf.

⁸⁷⁷ Vgl. M.P. Singh/Huhns (2005: 5), Hvh. des Orig.

Agentenmodell bzw. seinen Erweiterungen modelliert werden.⁸⁷⁸ Diese stehen wiederum im Zusammenhang mit Rollenkonzepten bzw. institutionell-organisatorischen Aspekten, was etwa in modernen Varianten des zum FIPA-Standard konformen *Java Agent Development Framework* (JADE) als Middleware agentenbasierter Systeme entsprechende Berücksichtigung findet: In *powerJade* wird die Agentenklasse um Subklassen wie Rolle und Organisation ergänzt.⁸⁷⁹ Die grundsätzlichsste Aufteilung aller Rollenkonzepte besteht in der Differenzierung zwischen dem *Agenten als Service Provider* und dem *Agenten als Service Consumer*, worin beide grundlegenden Parteien eines Servicevertragsprozesses bestehen.⁸⁸⁰ Entsprechend erweisen sich die Funktionen der Services auch in technischer Hinsicht als kontextabhängig. Ungeachtet dessen, dass IoX-Systeme im CAS-Sinne bzw. unter dem Aspekt des *Cloud Computing* des SOC-Paradigmas generell auf Multiagentensysteme (MAS) hinauslaufen,⁸⁸¹ resultieren sie auch aus der Logik der *Services* als Transaktionsbeziehungen. Auf diesen für die Ontologiearchitektur zentralen MAS-Aspekt ist deshalb besonders abzustellen, weil dieser in vielen Ontologie- bzw. TLO-Ansätzen überhaupt nicht berücksichtigt wird, was ihre IoX-Inadäquanz bedingt. Demgegenüber werden im MAS-Paradigma Services oder Teilaspekte daraus unter Agenten ausgehandelt bzw. vereinbart, wobei wiederum im Sinne des *Pragmatic Web* der Nutzen bzw. die Ziele der Agenten maßgeblich sind.

M.P. Singh/Huhns (2005) fordern entsprechend das *Pragmatic Web* für das SOC-Paradigma ein, indem es im Sinne des *Smart Web* Ziel sein muss, die Prozesse des Verhandeln (Negotiation) von MAS-Agenten in umfassender Weise zu automatisieren. M.P. Singh (1999) hat dazu eine MAS-bezogene *Ontology for Commitments* entwickelt, die indessen erst dann für automatisierte Abläufe sorgen kann, wenn das nicht nur die Agentendefinition an sich wie die Ontologiearchitektur,⁸⁸² sondern auch die Enterprise Architecture (EA) als Ganzes zulässt. Entsprechend ist das gesamte SOC-Paradigma als solches weiterzuentwickeln, wie es bei M.P. Singh et al. (2009) mit dem *Commitment-Based SOA* (CSOA) konsequenterweise vollzogen wird.⁸⁸³ Bei diesem gehen Agenten in kontextbezogenen Transaktionsbeziehungen bestimmte Verpflichtungen ein, die sich als Regelsystem explizit formalisieren lassen. Ein solches Regelsystem eröffnet dabei eine *Commitment-Based Interoperability*, die bezugnehmend auf Searle (1995: 27) nicht als *regulative*, sondern als *konstitutive Interoperabilität* konzipiert wird.⁸⁸⁴ Technisch vollzieht sich dies auf Basis von

⁸⁷⁸ Vgl. hierzu Braubach/Pokahr (2010), Dasgupta/Ghose (2011) sowie Thangarajah et al. (2011).

⁸⁷⁹ Vgl. Baldoni/Boella et al. (2010).

⁸⁸⁰ Vgl. Partridge/Bailey (2010).

⁸⁸¹ Vgl. Talia (2014). Das gilt auch für MAS-basierte *WWW-Applikationen*, vgl. Ciancarini et al. (1998).

⁸⁸² Bei Shoham (1993: 52) ist der *Commitment-Aspekt* bereits in der Agentendefinition berücksichtigt: »An agent is an entity whose state is viewed as consisting of mental components such as beliefs, capabilities, choices, and commitments«; in vielen anderen Ansätzen ist dies hingegen nicht der Fall.

⁸⁸³ Vgl. hierzu auch M.P. Singh/Chopra (2010).

⁸⁸⁴ Vgl. hierzu Chopra/Singh (2008: 798), für die gilt: »commitments are the key institutional facts, and the loci of institutional actions. Messages perform such actions by creating and manipulating commitments«. Die Semantik der Nachrichten wird dabei in die Form *konstitutiver Regeln* gebracht, um die *konstitutive Interoperabilität* zu realisieren: »The intuition behind constitutive interoperability is that, in order to in-

Commitment Machines,^{885, 886} mit denen sich Agenteninteraktionsprotokolle nicht mehr rein auf zulässige Sequenzen von Nachrichten beschränken, sondern vielmehr zusätzlich Aspekte zur sozialen Verpflichtung der Agenten mit berücksichtigen. Dabei erfolgt die Kompilierung von Netzwerkprotokollen wie auch der ursprünglichen *Commitment Machine* auf Basis einer *Finite State Machine* (FSM).⁸⁸⁷ Das offenbart bereits das Erfordernis,⁸⁸⁸ dass die Ontologie in der Künstlichen Intelligenz von der Automatentheorie als Basistheorie zu erschließen ist. Unabhängig von der Tatsache, dass mittlerweile eine Reihe modernerer Automaten zum Einsatz gelangen, muss es um Varianten gehen, die im Whiteheadschen Sinne dem Komplexitätsmoment entsprechen. Mit Whiteheads zellulären Automaten ist dabei insbesondere die *Theorie zellulärer Automaten* in den Fokus zu nehmen. Mit ihr rückt die Komplexitätsforschung mit der *Theorie komplexer Systeme* ins Zentrum der Informatik, wenn es um McCarthys (1995) Frage nach dem "general world view" geht. Zwar weist dies mit Shannon/McCarthys (1956) *Automata Studies* unmittelbar auf die AI-Anfänge zurück, jedoch führt die Begründung des "general world view" jenseits des erforderlichen Komplexitätsmoments notwendig über diese hinaus, indem die Realisierung einer universalen Ontologie allein auf Grundlage einer techno-wissenschaftlichen Digitalmetaphysik bewerkstelligbar ist.

Indessen ist diese *Commitment-Perspektive* ontologisch gesehen keinesfalls neu: sie findet sich bereits in der REA-EO, die auf W. McCarthy (1982) zurückgeht; schon hier stehen *Agenten* in solchen Vertragsbeziehungen. Im Zeichen der *Smart Enterprise Integration* (SEI) schließt sich hier insofern der Kreis, indem der SOA-basierte SEI-Vollzug auf die Basis einer IoX- bzw. CPSS-adäquaten *Enterprise Ontology* (EO) zu stellen ist,⁸⁸⁹ bei der MAS-Agenten in ihren Transaktionsbeziehungen im Zeichen des Verhandeln (Negotiation) stehen, was wiederum andere IoS-Aspekte (Trustworthiness usf.) mit umschließt.⁸⁹⁰ Insofern ist die gesamte MAS-Architektur zu überdenken, da sich diese nicht mehr unterkomplex auf einen bloß technisch gedachten Nachrichtenaustausch im SOA-Paradigma einschränken lässt.⁸⁹¹ Vor allem aber ist im Sinne von M.P. Singh et al. (2009) mit Ferrario/Guarino (2012) oder J.C. Nardi et al. (2015) vor diesem Hintergrund eine *Commitment-basierte Referenzontologie für Services* einzufordern, die ganz im Zeichen der "General Service Architecture" bzw. des "Unified View of Services" steht, wobei universal gilt:

teroperate, the agents ought to agree about the institutional reality in which they exist. In other words, the agents agree on what their communications count as. Constitutive interoperability is determined from constitutive specifications, that is, specifications that consist only of constitutive rules«.

⁸⁸⁵ Diese gehen auf Yolum/Singh (2002) zurück.

⁸⁸⁶ Zu diesen *Commitment Machines* sind eine Reihe verallgemeinernder bzw. erweiternder Ansätze entwickelt worden, die für das SOC/MAS-Paradigma als elementar zu werten sind, vgl. hierzu etwa Winikoff et al. (2005) sowie Baldoni et al. (2011, 2013a, 2013b, 2013c, 2014).

⁸⁸⁷ Vgl. Yolum/Singh (2002).

⁸⁸⁸ Vgl. hierzu etwa M.P. Singh (2007).

⁸⁸⁹ Vgl. etwa Pitney Bowes (2009), Antunes et al. (2014) sowie Hinkelmann et al. (2016).

⁸⁹⁰ Auf diese zentralen IoS-Aspekte zielt etwa das EU-Projekt *MASTER* (Managing Assurance, Security and Trust for Services), vgl. Pasic (2010); vgl. hierzu ferner Z. Yan et al. (2014).

⁸⁹¹ Vgl. Chopra/Singh (2010) sowie M.P. Singh/Chopra (2010).

2. Globale IoX-Intelligenz als ED-SOA-basiertes Real-Time Enterprise (RTE)

»A *Service Commitment* is an agent's explicit and enduring commitment to guarantee the execution of some type of *core actions*, on the occurrence of a certain triggering event, in the interest of another agent and upon prior agreement, according to a certain specification (*service description*) which constrains the way service actions will be performed. [...] *Service Process* is the actual implementation of a service commitment, consisting of a number of interdependent actions including those necessary to monitor the triggering events, the core actions mentioned in the commitment, and any further actions aimed at supporting or complementing the successful execution of such core actions. [...] *Service* is a complex temporal entity (a *complex event*) consisting of a service commitment and the corresponding process.«⁸⁹²

Diese umfassende MAS-SOA-Interdependenz,⁸⁹³ die ein wesentliches Charakteristikum von IoX-Systemen bildet, ist dabei mit der zentralen Agenten- bzw. MAS-Perspektive für das *Service-Oriented Computing* (SOC) insgesamt konstituierend.⁸⁹⁴ Im SEA/SEI Sinne läuft dies auf eine *Agent-based Service-Oriented Integration Architecture* hinaus, die sich auch in PLM-relevanten Industrien zunehmend durchsetzt.⁸⁹⁵ Demgegenüber stellt sich der CEP-SOA-Bezug genauso als zentrale Eigenart solcher Systeme dar.⁸⁹⁶ Das gründet darauf, dass auf ihrer Basis die *Event Driven Architecture* (EDA) mit SOA zum ebenfalls weiter unten erörterten *Event-Driven SOA* (ED-SOA) verschmilzt:^{897, 898} *IoX-SOA ist immer ED-SOA*, nämlich schon insofern, als IoX-Systeme vermittels ihrer konstituierenden physischen wie virtuellen Sensorik durchweg in *Event Streams* stehen. Im Zeichen ihrer *Smart Objects* ist damit das CEP/SCEP-Paradigma für sie kennzeichnend, und schließlich ist die Kommunikation ihrer interagierenden Services ebenfalls ereigniszentriert.⁸⁹⁹ Mit dem CEP-SOA-Bezug steht außer Frage, dass *ED-SOA* ferner das *ED-BPM* voraussetzt,⁹⁰⁰ indem semantische Web Services erst dann sachgerecht implementiert sind, wenn sie in eine *semantische Prozessmodellierung* eingebettet sind, die es unabhängig von konkreten Produktionsinfrastrukturen zu realisieren gilt.⁹⁰¹ Prinzipiell lässt sich diese zum einen auf Basis

⁸⁹² Ferrario/Guarino (2012: 175 f.), Hvh. im Orig.

⁸⁹³ Vgl. etwa Contreras/Sheremetov (2008), Jonquet et al. (2008), L. Ribeiro et al. (2008), Tapia et al. (2009), M.P. Singh/Chopra (2010), Jain/Dahiya (2012) sowie A.W. Colombo et al. (2015).

⁸⁹⁴ Vgl. etwa M.P. Singh/Huhns (2005), Julián et al. (2009) sowie Chao/Griffiths (2010).

⁸⁹⁵ Vgl. Poggi et al. (2007), W. Shen et al. (2007) sowie N. Luo et al. (2015).

⁸⁹⁶ Vgl. hierzu D. Bo et al. (2008), Magid et al. (2008), Sottara et al. (2009), H. Taylor et al. (2009) sowie Boubeta-Puig et al. (2014).

⁸⁹⁷ Vgl. hierzu Michelson (2006), Laliwala/Chaudhary (2008), Levina/Stantchev (2009), H. Taylor et al. (2009), S.-T. Yuan/Lu (2009), Wieland et al. (2009), Lodi et al. (2010) und Starke et al. (2013); vgl. hierzu ferner InterSystems (2010) sowie TIBCO (2011).

⁸⁹⁸ Ob eine Systemarchitektur für die Informatik von grundlegendem Stellenwert ist, lässt sich erst vor dem Hintergrund der in Pkt. 4.1 näher behandelten Computer- bzw. Digitalmetaphysik beantworten, für die mit Pkt. 4.3 *Complex Adaptive Systems* (CAS) als *Theorie komplexer Systeme* konstitutiv sind. Auf dieser Basis stehen letztlich die MAS-, EDA-, SOA- und schließlich auch das *ED-SOA-Paradigma*. Gewiss werden diese Paradigmen in Zukunft in *technologischer* Hinsicht weiterentwickelt, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass alle CAS-konstitutiven metaphysischen Momente bleiben, also die *Event Streams* wie der daraus folgende Ereigniszentrismus, die intelligente Adaption durch Agenten als *Subjekt-Superjekte* mitsamt der zentralen Rolle der Semantik bzw. Ontologie, wie schließlich die organismische Kollaboration von Teilsystemen. All diese Momente lassen sich auf Basis der in Pkt. 4.2 behandelten Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) als Digitalmetaphysik dezidiert begründen. Entsprechend ist das *ED-SOA-Paradigma* für die Informatik in *fundamentaler* Hinsicht gesetzt.

⁸⁹⁹ Das reicht bis zu Aspekten wie der *Event-driven Dynamic Service Selection*, vgl. C. Yang et al. (2016).

⁹⁰⁰ Vgl. hierzu Buchmann et al. (2012).

⁹⁰¹ Vgl. Ferrándiz-Colmeiro et al. (2010).

einer BPEL-SOA-Kopplung (WS-BPEL) bewerkstelligen,^{902, 903} während sie zum anderen zunehmend auf eine BPMN-SOA-Kopplung hinausläuft.

Auch das gilt wiederum universal für sämtliche IoX-Szenarien, angefangen damit, dass ED-SOA etwa mit der *Service-Oriented Device Architecture* (SODA) auf das *Internet of Things* (IoT) übertragen wird,⁹⁰⁴ bis hin zur IoX-basierten *Smart Factory*, die mit ED-SOA und CEP auf die Basis des *Event-Driven Manufacturing* gehoben wird.⁹⁰⁵ Alle IoX-Systeme bilden verteilte *Real-Time Systems*,⁹⁰⁶ vor deren Hintergrund SOA, EDA, BPM und CEP mit Luckham (2007b) als komplementär zu erachten sind. Ergänzt man diese noch um das *Business Activity Monitoring* (BAM), das in IoX-Systemen mit Pkt. 2.5 auf CEP-Basis Hand in Hand mit dem *Realtime IoX-Monitoring* geht,⁹⁰⁷ hat man die Grundbausteine des unter SEI-Integrationsgesichtspunkten zu verfolgenden *Real-Time Enterprise* (RTE) zusammen, für das die SOA mit H. Taylor et al. (2009) wiederum die Grundlage bildet. Es geht somit um *Real-Time SOA CEP Systeme*,⁹⁰⁸ damit verbunden um die Idee des *Complex Event Service* (CES),⁹⁰⁹ womit die elementare EI/EA-Dimension der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wie der Top-level Ontologie als ihrer obersten Referenzebene offensichtlich wird. Diese Zusammenhänge werden mit der Verbindung von MAS, CPS und CEP in Pkt. 6.2.1 im Zuge der Erörterung der meta-ontologischen Kriterien nochmals aufgegriffen.

Was haben diese Ausführungen nun mit der Explikation der *Top-level Ontologie* zu tun? Diese Frage ist insofern berechtigt, als es in der bisherigen TLO-Diskussion um diese Aspekte kaum geht. Wenn BFO, BWW, SUMO oder Cyc Erörterung finden, dann beschränkt sich das in aller Regel auf den philosophischen und linguistischen Diskurs. Dann geht es um die Frage der Realitätsrepräsentation und um Semantik. Allerdings geht dies an den eigentlichen Problemen vollständig vorbei. Denn die Ontologie der Informatik zielt zuvorderst auf die *Smart Enterprise Integration* (SEI), und zwar in dem Sinne, dass IS/KS-Systeme, wie sie heute in Form komplexer IoX-Systeme verkörpert werden, auf Basis des *Real-Time Enterprise* (RTE) tatsächlich "intelligent" werden. D.h., dass sie auf alle wesentlichen Sachverhalte cyber-physischer Diskurswelten in Echtzeit die für die jeweiligen wissenschaftlichen, technologischen oder praktischen Zwecke relevanten Antworten zu geben vermögen. Dass für die Explikation der *Top-level Ontologie* gewiss nicht nur der metaphysische Diskurs unverzichtbar ist, sondern die infrastrukturellen SEA/SEI-Aspekte in gleicher Weise, hängt damit zusammen, dass TLO-Aspekte für sämtliche Belange des

⁹⁰² Vgl. etwa Bhiri et al. (2009).

⁹⁰³ *WS-BPEL* ist eine XML-basierte Sprache zur Beschreibung von Geschäftsprozessen, bei denen die einzelnen Tasks in Form von *Web Services* implementiert sind. Ältere Versionen sind unter der Bezeichnung *BPEL4WS* bekannt.

⁹⁰⁴ Vgl. De Deugd et al. (2006); vgl. ferner etwa L. Lan et al. (2014).

⁹⁰⁵ Vgl. etwa Roset et al. (2005), Walzer et al. (2008), Y.H. Zhang et al. (2009), Estruch/Heredia (2012) sowie Theorin et al. (2015).

⁹⁰⁶ Vgl. etwa Kopetz (2011), zu IoT insbes. pp. 307 ff.

⁹⁰⁷ Vgl. etwa Nesamoney (2004).

⁹⁰⁸ Vgl. Magid et al. (2008); vgl. hierzu ergänzend D. Bo et al. (2008).

⁹⁰⁹ Vgl. Sasa/Krisper (2012) bzw. F. Gao et al. (2017).

SEI-Vollzugs von IoX-Systemen elementar sind.⁹¹⁰ Denn diese weisen immer einen physischen, virtuellen bzw. cyber-physischen Weltbezug auf. Dazu ist zunächst zu verstehen, dass IoX-relevante Ontologien sich nicht wie bei Wang/Lee/Murray (2013) auf die Aspekte der *Entity Ontology* (Object Ontology), *Unit Ontology* und *Service Ontology* erstrecken,⁹¹¹ deren CPSS-adäquate Semantik bereits eine TLO-Referenz zur Konsequenz haben müsste. Vielmehr besteht das Spektrum IoX-relevanter Ontologien in *sämtlichen Ontologien*, wenn IoX-Technologien bzw. Web-Technologien einerseits und Ontologien andererseits die zentralen Bausteine aller modernen Informations- und Wissenssysteme ausmachen. Damit sind dann nicht nur etwa alle Sensor-, alle CEP- oder alle SOA-relevanten Ontologien gemeint. Vielmehr geht es um alles, was sich ontologisch repräsentieren lässt. Das sind *Scientific Ontologies*, technologische und praktische Ontologien als Ontologietypen und Kern-, Domänen-, Methoden-, Funktions-, oder Aufgabenontologien usf. als Ontologiearten.

Es gibt, wie auch Groves et al. (2016) feststellen, eine sehr große Bandbreite IoX-relevanter Ontologien; im Kontext autonomer agentenbasierter Systeme besteht das eigentliche Problem jedoch darin, dass diese semantisch nicht aufeinander abgestimmt sind. Das gilt umso mehr, als maschinelle Agenten im Allgemeinen noch nicht darauf ausgelegt sind, diese Defizite und Defekte selbst zu erkennen. Auf Basis maschinellen Lernens lässt sich wohl eine sprachlich gefasste Agentenwelt begründen, jedoch noch lange nicht ein adäquater metaphysischer "*general world view*". Computer benötigen zuvorderst ein *fundamentales* Weltmodell, um mit Castel (2002) ein sachgerechtes *Ontological Computing* zu realisieren. Denn das semantische Heterogenitätsproblem, das nahtlos im Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem mündet, ist vor allem metaphysischer Natur, indem es um kategoriale wie meta-ontologische Aspekte geht. Das fängt bei den oben erwähnten Ontologien für Smart Objects, für CEP/SCEP-Engines, für die HLIF-Informationsfusion, die *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) oder für semantische Web Services an. Und es reicht bis hin etwa zur konzeptuellen Modellierung von IoX-Prozessen. Damit nicht genug: Auch alle anderen oben genannten infrastrukturellen Aspekte basieren zunehmend auf Ontologien; sie sind selbstverständlich für das CEP,⁹¹² für EDA,⁹¹³ genauso aber für das BPM,⁹¹⁴ für das BAM,⁹¹⁵ wie schließlich für SOA selbst.⁹¹⁶ Das Problem besteht dabei nicht nur darin, dass gängige TLO-Ansätze wie etwa Smithens BFO-TLO im Grunde nichts mit diesen infrastrukturellen Ontologien zu tun haben und in den BFO-Diskursen entsprechend

⁹¹⁰ Im *WoT-Sinne* sind im SOC-Paradigma damit immer auch "*WoTS-Systeme*" gemeint.

⁹¹¹ In dieser reduzierten Sichtweise werden lediglich "Things" als *Objekte* (Object Ontology) erachtet, deren *Attribute* ontologisch über die *Unit Ontology* spezifiziert werden, während ihre eigentliche Intelligenz auf dem *Service Compositor* beruht, der auf Basis der *Service Ontology* gemäß den spezifischen Nutzeranforderungen kombinierte Services generiert und verfügbar macht, vgl. Wang/Lee/Murray (2013).

⁹¹² Vgl. etwa Sasa/Vasilecas (2011) sowie Sasa/Krisper (2012).

⁹¹³ Vgl. etwa Overbeek et al. (2012).

⁹¹⁴ Vgl. etwa Pedrinaci et al. (2008a).

⁹¹⁵ Vgl. etwa Ferro et al. (2008).

⁹¹⁶ Vgl. Korotkiy (2005).

kaum eine Rolle spielen. Vielmehr liegt die eigentliche Problematik darin, dass nahezu alle genannten Bereiche ihre Ontologien für ihre Zwecke isoliert entwickeln, indem das gemeinsame digitalmetaphysische Fundament fehlt. Ontologien zielen jedoch im EA-Sinne auf eine semantische Interoperabilität, die sich auf das gesamte Integrationsszenario bezieht. Entsprechend ist jede einzelne Ontologie im SEI-Vollzug zu orchestrieren; allerdings geschieht dies aufgrund der fehlenden Verpflichtung einer TLO-Referenz bislang kaum.⁹¹⁷ Und wenn, müsste es sich um den gleichen TLO-Ansatz handeln.

Das Problem der fehlenden semantischen Abstimmung, das in das Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem übergeht, hängt darüber hinaus mit konkurrierenden wissenschaftlichen Paradigmen zusammen, die es in einer Reihe von Fragen auch in den Naturwissenschaften gibt. Wir hatten oben bereits festgestellt, dass insbesondere die Domäne der Physik für IoT-Umgebungen im CPS-Sinne von zentralem Stellenwert ist. Konkret stellt sich mit der Ontologie physischer Ereignisse und Objekte die Frage nach der Ontologie der Physik als regionaler Ontologie, wozu es durchaus unterschiedliche Ansätze gibt.⁹¹⁸ Das gilt etwa mit Blick auf Pkt. 6.2.5 insofern, als im Zuge solcher Ansätze etwa mit D.W. Zimmerman (1995) sowohl ein Endurantismus als etwa mit M. Heller (1990) auch ein Perdurantismus vertreten wird. Ähnliches gilt, wenn etwa mit Collins/Clark (2004) in dem einen Ansatz zur Ontologie der Physik zwar die Newtonschen Gesetze Berücksichtigung finden, aber in keiner Weise die Quantenmechanik, während mit Allori (2013) oder Auffèves/Grangier (2016) in anderen Ansätzen in zentraler Weise auf letztere abgestellt wird. Diese Disparität setzt sich mit Ontologien, die physikalische Größen zum Gegenstand haben, fort, indem es auch hier konkurrierende Ansätze gibt. Während im Zuge von SOA-Ontologien wie bei Derivaten der Onto-SOA auf *UnitDim* bzw. *OM* zurückgegriffen wird,⁹¹⁹ ist die dazu konkurrierende in OWL repräsentierte *QUDT-Ontologie* der NASA bereits um einiges gängiger.⁹²⁰ Problematisch erscheint dabei nicht nur, dass solche unterstützenden Ontologien,⁹²¹ zu denen prinzipiell betrachtet auch etwa Gruber/Olsens (1994) *EngMath Ontology* gehört, im Zuge der Dimensionsanalyse entgegen der physikalischen Tradition zumeist losgelöst von den eigentlichen Ontologien der Physik definiert werden.⁹²² Vielmehr ist das eigentliche Problem darin zu sehen, dass sie im Zuge ihrer Kombination mit anderen Ontologien nicht im Kontext einer ontologischen Gesamtarchitektur stehen.⁹²³

⁹¹⁷ Vgl. auch Chavula/Keet (2015), die indes auf die Orchestrierung *linguistischer* Ontologien abstellen.

⁹¹⁸ Vgl. etwa M. Heller (1990), Borst et al. (1995), Collins/Clark (2004), E. Davis (2010), Allori (2013) sowie Auffèves/Grangier (2016).

⁹¹⁹ Vgl. Korotkiy (2005); vgl. zu *UnitDim* bzw. *OM* Rijgersberg/Top (2004) resp. Rijgersberg et al. (2013).

⁹²⁰ Siehe hierzu <http://www.qudt.org/>.

⁹²¹ Vgl. hierzu allgemein IBM (2013).

⁹²² Beim Physiknobelpreisträger Bridgman (1922), um eines der klassischen Werke der *Dimensionsanalyse* zu bemühen, findet diese sowohl Anwendung auf das Engineering als auch auf die theoretische Physik.

⁹²³ Vgl. exemplarisch zur Kombination der *QUDT-Ontologie* mit der *ChEBI-Ontologie* B.A. Simons et al. (2013). In diesem Beispielfall ist etwa festzustellen, dass *ChEBI* eine Ontologie der OBO Foundry markiert, welche wiederum auf die neo-aristotelische BFO-TLO referenziert. Bei *QUDT* ist dies hingegen nicht der Fall und somit zeigen sich die Konzepte in *QUDT* in fundamentaler Hinsicht anders bestimmt.

Dazu fehlt ihnen nicht zuletzt auch die *TLO-Referenz*.⁹²⁴ Eine automatische Erkennung und Lösung von Maßeinheits- bzw. Messkonflikten bei der Aggregation von Daten ist nur dann möglich, wenn die Kommensurabilität der entsprechenden Referenzontologien gesichert ist.⁹²⁵ Dass in dieser *TLO-Referenz* ein wesentliches Erfordernis besteht, weil diese erst die Übereinstimmung der fundamentalen Kategorien sichert, wird mittlerweile durch die *UnitDim*-Entwickler selbst gesehen.⁹²⁶ Der SEI-Vollzug komplexer IoX-Systemen kann nicht auf solchen Insellösungen aufbauen, deren Kommensurabilität weder geprüft noch gegeben ist. Umfassendere Probleme lassen sich keinesfalls ausschließen, wenn solche Ontologien nicht mit allen anderen Ontologien des jeweiligen Integrationsszenarios semantisch wie fundamentalontologisch abgestimmt sind. Entsprechend kann die Lösung allein darin bestehen, bei allen Ontologiefragen des jeweiligen Integrationsszenarios auf eine *einheitliche* Top-level Ontologie zu referenzieren. Denn etwa die Beschreibung semantischer Web Services in IoX-Systemen kann sich nicht auf eine andere Top-level Ontologie beziehen als die im gleichen Szenario eingesetzten Sensorontologien, SCEP-Ontologien, Aufgabenontologien (TO), BDA-Ontologien usw. Es gilt: »*top-level ontologies* [...] model the fundamentals of the world«,⁹²⁷ doch muss sich das Fundament eines jeden Integrationsszenarios nicht nur als stabil erweisen, sondern es sollte damit verbunden vor allem ein in sich konsistentes, und damit ein einheitliches sein.

Insofern besitzt auch die in Pkt. 2.4 behandelte *TLO-EO-Verkopplung* für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) zentralen Stellenwert. Gegenwärtig wird dieser infrastrukturelle Aspekt der *Top-level Ontologie* nicht nur in der Ontologiediskussion herausgestellt und seine Umsetzung gefordert, sondern er zeigt sich partiell bereits an verschiedenen IoX-relevanten Aspekten faktisch realisiert, etwa an der TLO-Referenz der W3C *SSN Sensor Ontology*. Prinzipiell besteht jedoch die Notwendigkeit der ontologischen TLO-Referenz bei jeder Aktivität, jedem Prozess und jedem Service, indem sich alle Momente von IoX-

⁹²⁴ Entgegen Cassidy (2003) kann (und muss) die *Dimensionsanalyse* allein unterstützend herangezogen werden, um die Beziehungen zwischen den TLO-Kategorien zu klären. Im Kern ist dies vielmehr Gegenstand des *Ratio-Empirismus* der techno-wissenschaftlichen Metaphysik, der diese auf Basis einer empiristischen Universalsynthese zunächst einmal in *transdisziplinärer* Form bestimmt, vgl. hierzu Pkt. 4.1.

⁹²⁵ Vgl. Samadian et al. (2014); vgl. ergänzend in der industriellen Anwendung Bou-Ghannam (2013).

⁹²⁶ Konkret stellt sich das in der Weise dar, dass sich Derivate von Onto-SOA auf die OWL-basierte *UnitDim* als Ontologie physikalischer Einheiten und Mengen bezieht, vgl. zu dieser Rijgersberg/Top (2004). Diese wird nicht nur unter inhaltlichen Gesichtspunkten von dritter Seite kritisiert, vgl. Parsia/Smith (2008). Auch bleibt ein Vergleich mit konkurrierenden Ansätzen wie die gängige *QUDT-Ontologie* unerlässlich. Letztlich entscheidender ist jedoch vielmehr das, was Rijgersberg et al. (2013) später einräumen, nämlich, dass in der TLO-Referenz ihrer nunmehr als *Ontology of units of Measure and related concepts* (OM) eine Option bestehe. Wenn dabei allerdings allein auf DOLCE verwiesen wird, sollte nicht übersehen werden, dass etwa mit Blick auf den in Pkt. 6.2.5 behandelten *Endurantismus* und *Perdurantismus* mindestens die Akzente einer solchen TLO-Referenz andere sind: Natürlich macht es einen fundamentalen Unterschied, ob die Basisentität im Zeichen der speziellen Relativitätstheorie etwa bei der BORO-TLO als 4D-Ereignis, oder aber wie etwa bei der SUMO-TLO in 3D-Objekten gesehen wird, bei denen Ereignisse nach konventionell linguistischer bzw. neo-aristotelischer Maßgabe zu Qualitäten oder Akzidenzen degradiert werden, indem sie sich auf einen Träger als Objekt beziehen. Daraus folgt, dass mit dem ontologischen Konsistenzargument nicht nur die TLO-Referenz an sich zwingend ist, sondern dass eine rigorose TLO-Evaluierung bzw. -Selektion genauso unabdingbar ist.

⁹²⁷ Vgl. Stevenson et al. (2009: 1), Hvh. im Orig.

Systemen in ontologisch fundamentaler Hinsicht nicht anders orchestrieren lassen. Bei allen genannten und weiteren Ontologien geht es dabei in zentraler Weise um die Referenz auf die oberste Ontologieebene, auf *Top-level Kategorien* und meta-ontologische Dispositionen. Die Ontologiediskussion kann als integrativer Gesamtkomplex nur auf Basis eines Referenzszenarios geführt werden, das in SEA/CPS-Hinsicht tatsächlich alle Ontologieprobleme beinhaltet und ihre Interdependenzen aufzeigt. Das betrifft etwa die CPS-Kontexte, SOA-Ontologieaspekte, die Auslegung physikalischer Einheiten wie physikalischer Ontologien bis etwa hin zu PEID-Ontologien oder jenen der Smart Factory. Allein über ein solches Referenzszenario lassen sich alle Ontologieprobleme in ihrer gemeinsamen Wurzel verstehen, die zuvorderst eine metaphysische Wurzel ist.

Indessen steht vor dem Hintergrund der SOA- bzw. EA/EI-Aspekte außer Frage, dass sich eine sachgerechte Explikation der Top-level Ontologie bzw. die Konzeption eines TLO-Ansatzes in keiner Weise auf Basis veralteter materialistischer Philosophien bewerkstelligen lässt, wie es bei der BFO-TLO und anderen TLO-Ansätzen üblich ist. Eine solch hylemorphistische Auslegung des TLO-Problems führt regelmäßig zu grundsätzlich defekten TLO-Konzeptionen, indem der TLO-Weltenbezug sich nicht auf physische Welten beschränkt, sondern genauso virtuelle Welten als *mögliche Welten* zum Gegenstand hat. Letztere bestehen bei intelligenten Systemen schon insofern, als alternative Planszenarien auf Basis solcher möglichen Welten simuliert werden. Vor allem aber hat sich dieser Weltenbezug auf das Wechselspiel der Welttypen zu beziehen. Es muss also dem zentralen Kriterium der CPSS-Adäquanz entsprechen. Darum geht es aber bei keinem der bisherigen TLO-Theorieanwärter, selbst nicht bei der partiell an Whitehead festmachenden Sowa-TLO. Damit wird ein TLO-Neuentwurf in Form einer IoX- bzw. CPSS-adäquaten TLO-Synthese erforderlich. Umgekehrt kann sich mit dem Kriterium der CPSS-Adäquanz die Explikation der *Top-level Ontologie* genauso wenig auf die infrastrukturellen SEA/SEI-Aspekte erstrecken, indem IoX-Systeme als *Reality Machines* kausaler Teil der Realität sind. Ihre Ontologien, allen voran die *Scientific Ontologies* bzw. davon abgeleitete technologische Ontologien müssen somit auf einem sachgerechten Realitätsverständnis gründen, das in Form der Top-level Kategorien wie der meta-ontologischen Dispositionen explizit vorausgesetzt wird. Die TLO-Diskussion ist also weder rein philosophisch, noch rein unter infrastrukturellen IT-Gesichtspunkten zu führen. Vielmehr ist beides gleichzeitig einer Tiefenanalyse zu unterziehen, wenn es in beiden Sphären um die alles grundlegenden Aspekte geht. Dabei müssen beide Sphären in einem gemeinsamen, universalen *Requirements Engineering* münden, wie es mit Pkt. 7.1 praktiziert wird. Damit steht außer Frage, dass die Diskussion der metaphysischen Anforderungen wie jene der infrastrukturellen SEA/SEI-Anforderungen mit der Bestimmung einer IoX- bzw. CPSS-adäquaten TLO-Konzeption gemeinsam zum Abschluss zu bringen ist.

Das ontologische Problem der Informatik besteht damit nicht nur im TLO-Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem, sondern auch darin, dass die Evaluierung der TLO-

Theorieanwärter bisher bereits an sich nicht in die erforderliche Tiefe geht. Es besteht darin, dass die elementaren Zusammenhänge zwischen der Tiefe metaphysischer Fragen wie der Tiefe der infrastrukturellen SEA/SEI-Aspekte nicht in der adäquaten Weise erörtert werden. Darüber hinaus besteht es darin, dass die gesamte TLO-Diskussion kein geeignetes universales Referenzszenario besitzt, auf dessen Basis sich diese Zusammenhänge in geeigneter Weise reflektieren lassen. Man kann die TLO-Diskussion nicht in qualifizierter Weise führen, ohne in diese Tiefe zu gehen und ohne sie anhand eines integrativen Referenzszenarios in universaler Weise darzulegen. Vor diesem Hintergrund ist festzustellen, dass die bisherige TLO-Diskussion, deren Gegenstand eigentlich die universale Ontologie ist, nicht einmal ansatzweise universal geführt wird. Mit Blick auf die SEA/SEI-Aspekte ist die TLO-Diskussion auf EA-Frameworks zu beziehen, womit deutlich wird, dass es vor allem um konzeptuelle, logische und physische Aspekte geht. Dabei besitzen erste in ontologischer Hinsicht die vorderste Relevanz. Hier spielen auch hinsichtlich der anderen Aspekte vermeintliche Details tatsächlich eine entscheidende Rolle, etwa wenn CEP/EDA und SOA im Zeichen des *Sense-and-Respond Model* von IoX-Systemen zum *Event-Driven SOA* (ED-SOA) als prinzipieller Architektur verschmelzen. Denn das bedingt wiederum elementare Anforderungen an einen CPSS/SEA-adäquaten TLO-Theorieanwärter, indem neben der CEP-, MAS- oder CAS-Anforderung weitere damit zusammenhängende Requirements hinzukommen. Das betrifft etwa die faktische Kontextbezogenheit bzw. Situiertheit aller Entitäten, die mit der Whiteheadschen Relationenontologie zwingend vorauszusetzen ist. Das Erfordernis, auch die technischen Details in der TLO-Debatte mit zu berücksichtigen gilt umso mehr, als auch die SOA-Diskussion bereits partiell explizit auf die *Top-level Ontologie* bezogen wird.⁹²⁸ Damit ist die Kritik nochmals zu bekräftigen, dass nicht umgekehrt analysiert wird, wie ein TLO-Ansatz tatsächlich IoX-adäquat zu konzipieren ist.⁹²⁹ Eine solche Reflexion ist indes schon allein insofern unabdingbar, als erst damit deutlich wird, dass der faktische SEI-Vollzug komplexer IoX-Systeme allein über die in Pkt. 2.4 diskutierte *TLO-EO-Verkopplung* erfolgen kann. Denn das SOA-Serviceparadigma lässt sich nur dann vollumfänglich einlösen, wenn insbesondere auch die im folgenden Pkt. 2.3 behandelte *Enterprise Ontology* (EO) mit einbezogen wird. Indessen findet sich eine solche *TLO-EO-Verkopplung* bisher bei keinem der TLO-Theorieanwärter, womit sich auch kein SOA-basierter SEI-Vollzug komplexer IoX-Systemen auf Basis einer

⁹²⁸ Vgl. etwa Vetere/Lenzerini (2005), D. Lane/Brown et al. (2013), S. Wang/Brown et al. (2013) und Ambroszkiewicz et al. (2014).

⁹²⁹ Es ist hier auf drei Ausnahmefälle zu verweisen, bei denen im Unterschied zu anderen TLO-Ansätzen zumindest Teilaspekte erörtert werden: Ferrario/Guarino (2008, 2009, 2012) setzen sich im Kontext der DOLCE-TLO und Partridge/Bailey (2010) im Kontext der BORO-TLO mit der Modellierung von *Service Systems* bzw. mit Definitionsfragen des Serviceparadigmas auseinander und streifen dabei auch WS- bzw. SOA-Aspekte. Am weitesten ist in dieser Sache die UFO-TLO mit der nachträglich entwickelten *Unified Foundational Ontology for Services* (UFO-S), die als Kernontologie (CO) eine TLO-Referenz auf die UFO-TLO aufweist, vgl. J.C. Nardi et al. (2015) sowie Livieri/Guarino et al. (2015). Doch an eine umfassende *TLO-EO-Verkopplung* im Sinne der EO-Ansätze ist in allen Fällen nicht zu denken. Auch findet sich ein Bezug auf IoX- bzw. SEA/SEI-Aspekte noch eher selten, etwa bei Mika et al. (2004) sowie Oberle/Bhatti et al. (2009) jeweils in Bezug auf DOLCE.

solchen Verkopplung vollziehen lässt. Allerdings ist diese für wirklich intelligente verteilte Systeme konstituierend.

Es sollte nicht übersehen werden, dass Ontologien in der Informatik nicht allein der sachgerechten Realitätsrepräsentation verpflichtet sind, sondern damit verbunden vor allem dem Ziel der Realisierung einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität. Darin besteht zugleich eine zentrale SOA-Zielsetzung,⁹³⁰ die sich allein im Zuge der infrastrukturellen SEA/SEI-Aspekte realisieren lässt, die dabei auf die *Top-level Ontologie* zu referenzieren haben. Mit Verweis auf die in Pkt. 3.3.1 behandelten Ontologiearten referenzieren gewiss nicht nur Domänenontologien (DO) auf die *Top-level Ontologie*, sondern vielmehr sämtliche Ontologiearten. Dazu zählen neben Kernontologien (CO) wie die *Enterprise Ontology* (EO), Methodenontologien (MO), Funktionsontologien (FO), Aufgabenontologien (TO) und schließlich auch Anwendungsontologien (AO). Entsprechend ist es verfehlt, den TLO-Fokus rein auf DO-Aspekte zu legen, wie es bei den meisten TLO-Theorieanwärtlern geschieht. Vielmehr ist der Fokus dann richtig gewählt, wenn es um die Orchestrierung sämtlicher Ontologiearten geht. Das schließt entsprechend WS/SOA-Ontologien mit ein,⁹³¹ die im Prozess/Service-Sinne als Aufgabenontologien zu klassifizieren sind. – Wenn CPS im Allgemeinen auf IoX-Systeme hinauslaufen (et v.v.), und die IoX-Prozesse mitsamt der Inkorporation von Web Services im Kontext von ED-SOA zu modellieren sind,⁹³² dann geht es auch in damit verbundener Hinsicht ontologisch in entscheidender Weise um technische Details: Kommt bei der Prozessmodellierung nach gängiger Praxis die BPMN-Notation zum Einsatz,⁹³³ ist nicht nur die tatsächliche semantische Kongruenz zwischen BPMN-Konzepten und IoX-Konzepten zu untersuchen.⁹³⁴ Vielmehr ist dann mit Blick auf den TLO-basierten SEI-Vollzug die Semantik von BPMN insgesamt auf Basis der CPSS-adäquaten Top-level Ontologie zu evaluieren. Augenscheinlich kann ein TLO-Theorieanwärter für solche Zwecke nur dann primär sein, wenn er auf der für die Informatik adäquaten Metaphysik basiert, was zum einen die techno-wissenschaftliche Komponente, zum anderen jene der Computer- bzw. Digitalmetaphysik betrifft. Entgegen Penicina (2013) kann es nicht umgekehrt darum gehen, einen BPMN-kompatiblen TLO-Ansatz zu bestimmen, was mit der Wahl der CPSS- wie IoX-inadäquaten BWW-TLO hier schließlich auch misslingt. Priorität hat vielmehr McCarthys (1995) für die Informatik adäquater "*general world view*", der in Form einer CPSS- bzw. IoX-adäquaten *Top-level Ontologie* verkörpert wird. Auf ihrer Basis lassen sich nicht nur Defekte bzw. Defizite von Notationen identifizieren, sondern auch jene etwa von CM-Methoden von Anfang an erkennen. Auf Grundlage einer an *World Automata* orientierten Digitalmetaphysik müsste

⁹³⁰ Vgl. hierzu auch Álvarez/Campos López (2009).

⁹³¹ Vgl. hierzu etwa Bouras et al. (2007a) sowie Pedrinaci et al. (2011).

⁹³² Vgl. etwa Haller/Magerkurth (2011).

⁹³³ Es existieren zwar zahlreiche weitere Notationen, etwa die an der RWTH Aachen entwickelte *Work Process Modeling Language (WPML)*, vgl. hierzu Theißen et al. (2011); allerdings besteht in BPMN ein Quasi-Standard.

⁹³⁴ Vgl. etwa Sperner et al. (2011) sowie S. Meyer et al. (2013).

man unter ihren CAS/MAS-Gesichtspunkten nicht erst nachträglich feststellen, dass UML und andere CM-Methoden CPSS- bzw. IoX-inadäquat sind, indem ihnen die Agentenperspektive fehlt.⁹³⁵ Dabei ist in IoX-Kontexten die gesamte konzeptuelle Modellierung auf den MAS/SOA-Konnex auszurichten.⁹³⁶ Analoges ist hinsichtlich der restlichen der in Pkt. 7.2 identifizierten fünfzig Requirements festzustellen, vom ereigniszentrischen CEP-Aspekt bis hin zu 4D-Objektlebenszyklen. Die genannten und weitere Details spielen bei der IS/KS-Umsetzung eine elementare Rolle. Allerdings werden sie bei der Konzeption von TLO-Ansätzen selten bedacht, wengleich die semantische IS/KS-Interoperabilität sowohl auf Ontologien als auch auf der gesamten Infrastruktur beruht.

Alle TLO-Anforderungen werden erst auf Grundlage eines geeigneten Referenzszenarios ersichtlich. Wie im ersten Teil herausgearbeitet, ist eine integrierte Ontologiekonzeption allein auf Basis eines *IoX-totalen Referenzszenarios* sachgerecht erörterbar, und dieses muss sich entsprechend auf *alle* Fälle erstrecken können. Damit steht außer Frage, dass die oben erwähnten Szenarien für eine solche Erörterung nicht ausreichend sind, indem das in Pkt. 2.5 diskutierte PPR-Framework in seiner zentralen EA-Relevanz nicht nur eine *technische* Dimension besitzt. Vielmehr kommen im IoX-Hyperspace mit der Inanspruchnahme von CPSS-Ressourcen regelmäßig etwa in Bezug auf Kosten oder Effizienz Aspekte eine *ökonomische*, und in Bezug auf die Diffusion eine *kommerzielle* Komponente hinzu. Im Zachman-Framework wird das konzeptuelle Modell entsprechend als "Business Model" bezeichnet.⁹³⁷ Somit wird schon deutlich, dass ein vollständiges IoX-totales Referenzszenario jedes IoX-System vor dem Hintergrund der integrativen Funktion von U-PLM-Systemen als *Produkt-Service System* (PSS) begreifen sollte. Wengleich nicht jedes IoX-System mit den oben genannten Beispielen zwingend auf ein *Produkt-Service System* (PSS) hinausläuft, sind sie prinzipiell immer in genau dieser Weise zu denken. Denn anders ist die Ontologieproblematik im EA-Sinne in ihrer ganzen Breite und Tiefe kaum zu erfassen. Ontologisch sind vielmehr alle drei Dimensionen, also die technische, die ökonomische wie die kommerzielle entlang des PPR-Frameworks als Ganzes zu integrieren. *Produkt-Service Systeme* (PSS) sind dann richtig verstanden, wenn ein Produkt oder ein Service nicht als rein *technischer* Output gedacht wird, indem dieser im Zeichen der Produktionsfunktion eine ökonomische Dimension besitzt,⁹³⁸ während der Servicenutzen als kommerzieller Aspekt aufzufassen ist.

⁹³⁵ Odell et al. (2003) entwickeln entsprechend das *Agent UML* (AUML); vgl. ferner Guedes/Vicari (2009). Dieses besitzt nicht zuletzt deshalb zentrale Bedeutung, weil agentenbasierte SOA-Architekturen auf MDA-Basis mit UML modelliert werden, vgl. López-Sanz et al. (2008). Analoges gilt für BPMN; diese gleichermaßen SOA-relevante Notation wird ebenfalls mehr und mehr unter MAS-Gesichtspunkten weiterentwickelt, vgl. hierzu die Verweise unter Fn. 5028. Natürlich betrifft diese Entwicklung nicht nur OMG-Standards, sondern auch andere CM-Ansätze wie ORM, vgl. Halpin (2005a). Konsequenterweise beschränkt sie sich nicht auf Modellierungssprachen, sondern gilt genauso für formale Spezifikationsprachen wie die Z-Notation, indem deren objektorientierte Erweiterung (Object-Z) wiederum um MAS-Funktionalitäten erweitert wird (AgentZ), vgl. Brandão et al. (2005).

⁹³⁶ Vgl. Gustas/Gustiene (2009).

⁹³⁷ Vgl. dazu Zachman (1987).

⁹³⁸ Bei J. Gao et al. (2011) findet sich eine PSS-Klassifikation, die zwischen drei PSS-Klassen differenziert.

Vielfach ist nicht nur unklar, was genau unter "Services" im *Internet of Services* (IoS) zu verstehen ist, sondern auch, was die "Things" im *Internet of Things* (IoT) ausmacht,⁹³⁹ womit sich dies in Bezug auf ihre Kombination schließlich bei IoX-Systemen genauso darstellt. "Things" und "Services" von IoX-Systemen sind prinzipiell immer im PSS-Sinne als *nutzenstiftende* kommerzielle Entitäten zu denken, nämlich erstere im PEID-Sinne als kommerzielle Produkte und letztere über Web Services elementar hinausgehend als kommerzielle Services. Die kommerzielle Perspektive ist bei IoX-Systemen deshalb primär, weil sie genau so zu gestalten sind, dass sie bestmöglichen Nutzen stiften. Das ist einerseits mit Blick auf Netzwerkeffekte in Bezug auf die Diffusion im IoX-Hyperspace entscheidend. Andererseits, und das ist der eigentliche Gedanke, liegt der Grund im SOC-Paradigma, indem Services von verschiedenen Serviceanbietern zumeist bepreist sind, worin eines der Verhandlungs- bzw. Wahlkriterien gerade auch für maschinelle Agenten besteht. Wie wiederum das Beispiel des Erdbebenfrühwarnsystems zeigt, gibt es im IoX-Hyperspace mit öffentlichen Gütern hiervon Ausnahmen, doch im Allgemeinen muss die AI-Forschung auch diesen kommerziellen Aspekt bei der Entwicklung MAS-basierter Systeme berücksichtigen. Tatsächlich ist der technische und ökonomische Zusammenhang zwar genauso entscheidend, bildet jedoch mit Blick auf die eigentliche Agenteninteraktion nicht den primären Ansatzpunkt.

Wenn es in der AI-Disziplin maßgeblich um den MAS-Gedanken geht, wird somit der Stellenwert einer spezifisch XaaS-orientierten *Enterprise Ontology* (EO) deutlich. Indem der SOC-Aspekt für die AI-Disziplin bzw. die Informatik insgesamt entscheidend ist, und es Ziel sein muss, die Prozesse des Verhandels (Negotiation) von MAS-Agenten in umfassender Weise zu automatisieren, dann wird nicht nur die TLO-, sondern auch die EO-Referenz entscheidend. Somit gilt auch in dieser Sache das Postulat der *TLO-EO-Verkopplung*. Bereits eine IoX-basierte Brandmeldeanlage bildet dann im PSS-Sinne eine *Produkt/Service-Kombination*, die technisch, ökonomisch wie kommerziell zugleich ist und dabei in EA-Hinsicht konzeptuelle, logische und physische Aspekte in sich vereint. Ausgehend von diesem PSS-Verständnis ist also ein umfassendes Szenario zu entwickeln, während mit rein technisch betrachteten IoX-Systemen eine Vielzahl relevanter ontologischer wie kognitiver Probleme ausgeblendet würden. Diese drei Dimensionen besitzen die gleiche Relevanz, wenn es um die IoX-Aspekte der *Smart Factory* geht. Denn sie sind im Zeichen der *Mass Customization* für deren Losgröße-1-Szenarien bestimmend. Damit geht es auch hier um den Komplex sämtlicher IoX/PSS-Sachverhalte, der vor dem Hintergrund der EA- bzw. SEI-Aspekte ontologisch zu steuern und zu integrieren ist. Daran muss sich jede *Top-level Ontologie* wie die genauso EA-relevante *Enterprise Ontology* (EO) bewähren. Insgesamt ist somit evident, dass es bei der Erörterung der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* um den IoX/PSS-Ontologiekomplex als Ganzes gehen muss. Demgegenüber ist es verfehlt, an einzelnen Ontologieaspekten anzusetzen, die irgendeine Relevanz für den IoX-

⁹³⁹ Vgl. auch S. Haller (2010).

Hyperspace besitzen; wenn die bisherige Ontologiediskussion überhaupt auf diesen bezogen ist, dann geht es immer um solch fragmentierte Sichtweisen und Aspekte.

Die Klärung der Ontologiefrage im Allgemeinen wie die Explikation der *Top-level Ontologie* im Speziellen ist zwingend in den EA- bzw. SEI-Kontext zu stellen. Das ist deshalb besonders zu betonen, weil es bislang kaum in dieser Weise vollzogen wird. Auf Grundlage von IoX-Systemen ist dabei speziell auf das *Service-Oriented Computing* (SOC) einzugehen. Damit rücken die *Service-Oriented Architecture* (SOA) und mit dem *Event-Driven SOA* (ED-SOA) bzw. der *Semantic Service-Oriented Architecture* (SSOA) ihre modernen Varianten in den Mittelpunkt. Letztere ist insofern wesentlich, als die Frage, ob zwei Web Services semantisch äquivalent sind, im konventionellen SOA-Ansatz kein Designziel bildet.⁹⁴⁰ Dieses Problem wird erst durch die SW-Bewegung aufgegriffen, womit auf Basis von SW-Technologien der konventionelle SOA-Ansatz in eine *Semantically enabled Service-Oriented Architecture* (SSOA) transformiert wird. Dieses Unterfangen wird durch entsprechende Referenzontologien wie die *OASIS Reference Ontology for Semantic Service Oriented Architecture* (SSOA-RO) unterstützt. Allerdings muss die ontologische SOA-Referenz eigentlich eine gänzlich andere sein. Denn der ED-SOA-Ansatz ist im SOC/MAS-Sinne als Kern des *"Reality Computing"* zu begreifen, und entsprechend ist der ED-SOA-Gedanke vor allem unter cyber-physischen Aspekten weiterzuentwickeln. In diese Richtung gehen bereits Karnouskos et al. (2010), die eine *"real-world SOA"* postulieren, die sich auf *"real-time events"* bezieht. Wenn die Services mit physischer Sensorik und Aktorik verbunden sind, kann der Gedanke eines solchen *"real-world SOA"* natürlich nicht am linguistischen Ontologiegedanken des Semantic Web festmachen. Vielmehr müssen *"real-world services"*, von denen S. De et al. (2011) sprechen, sich unmittelbar auf die physische Realität und somit auf die Cyber-Physik beziehen. Dann aber wird offensichtlich eine andere ontologische Basis für sie erforderlich, die zum einen metaphysische Ontologie ist, zum anderen im Kern auf eine *cyber-physische TLO-EO-Verkopplung* hinausläuft, wie es beides Grundgedanke der Ontologiearchitektur von CYPO/IMKO ist.

Im Allgemeinen gründen alle IoX-Systeme, auch das *U-PLM-Referenzszenario*, auf dieser Architektur, indem das IoX-Computing das *Service-Oriented Computing* (SOC) auf der Grundlage von Web Services impliziert.^{941, 942} Doch auch das wird in der Ontologiediskussion kaum beachtet; wäre dies der Fall, müsste man einsehen, dass keine Ontologiefrage der Informatik allgemeingültig jenseits von Multiagentensystemen (MAS) erörterbar ist. SOC-Architekturen sind ontologisch insofern immer MAS-Architekturen, als es bei SOA-Transaktionsbeziehungen um *Agenten als Service Provider* einerseits und um *Agenten als*

⁹⁴⁰ Vgl. auch O. Zimmermann et al. (2003: 235).

⁹⁴¹ In IoX-Kontexten sind die *SOC Prinzipien* auf die *WSN Welt* zu übertragen, vgl. Familiar et al. (2012).

⁹⁴² Mit W. Wang/De et al. (2012: 1793) gilt für IoT-Systeme generell: »The idea that things are able to expose standard service interfaces coincides with the *service oriented computing* and more importantly, represents a scalable means for business services and applications that need context awareness and intelligence to access and consume the physical world information«, Hvh. des Verf. Daraus folgt, dass jedes IoT-System ein *IoX-System* repräsentiert.

Service Requesters (clients) andererseits als elementare Parteien eines Servicevertragsprozesses geht. Letztere werden bisweilen auch als *Service Consumer* bezeichnet.⁹⁴³ Entsprechend lassen sich *Services* in SOA definieren als »the mechanism by which needs and capabilities are brought together«. ⁹⁴⁴ Servicevertragsprozesse weisen immer die drei oben erörterten Dimensionen unmittelbar auf bzw. implizieren diese. Mit dem zentralen Stellenwert des SOC/MAS-Konnexes im Ontological Computing ist damit auch direkt die *Top-level Ontologie* im Spiel. Das ist etwa der Fall, wenn im universalen Serviceparadigma auf Basis der BORO-TLO für eine *perdurantistische Servicevertragsontologie* plädiert wird.⁹⁴⁵ Demgegenüber wird in der damit konkurrierenden DOLCE-TLO, die genauso vehement in einem universalen Serviceparadigma bemüht wird,⁹⁴⁶ ein solcher Vierdimensionalismus gerade nicht vertreten. Wenn beide TLO-Theorieanwärter auch sonst wesentlich voneinander abweichen, zeigt sich erneut, dass das Inkommensurabilitätsproblem zwingend zu lösen ist. Das gilt umso mehr, als sich hinter dem Streit um den Drei- bzw. Vierdimensionalismus ein umstrittener, wie in seinen Zusammenhängen komplizierter metaphysischer Diskurs verbirgt. Dieser Streit ist mit Pkt. 6.2.5 als meta-ontologische Disposition aufzuarbeiten, die auf Basis des *Requirements Engineering* in Pkt. 7.2 mit R23 in eine IoX-Anforderungsspezifikation zu bringen ist. Wenn es auch TLO-Ansätze wie die BFO-TLO gibt, die diesen SOC/MAS-Konnex erst gar nicht adressieren, stellt sich auch in dieser Sache das Feld der TLO-Theorieanwärter äußerst heterogen dar.

Indessen steht außer Frage, dass die technischen *Web Services* (software services) in modernen SOA-Ansätzen zunehmend im EA-Sinne durch kommerzielle *PSS-Services* (business services) komplettiert – und eigentlich erst tatsächlich bestimmt werden. SOA-Services sind dann nicht mehr rein technisch bzw. ökonomisch, sondern weisen im Zuge der infrastrukturellen (IaaS), plattformbasierten (PaaS), software- (SaaS) oder datenzentrischen (DaaS) Servicebereitstellung (Service Provisioning) kommerzielle wie vertragsrechtliche Aspekte auf; angefangen vom *Service Level Agreement* (SLA) über das SLA Cloud Computing bis hin zum *Quality of Service* (QoS). Bei IoX-basierten MRO-Wartungsprozessen, wie sie etwa bei der oben erwähnten IoX-basierten Brandmeldeanlage gängig sind, verschmelzen dann technische und kommerzielle Produkt- und Servicegesichtspunkte zu einem systemischen Ganzen, zu einem *Produkt-Service System* (PSS). Entsprechend muss es um eine "*General Service Architecture*" bzw. um einen "*Unified View of Services*" gehen, der auf Basis der *Enterprise Ontology* (EO) zu entwickeln ist, um die *Smart Enterprise Integration* (SEI) tatsächlich vollziehen zu können.

Nun lässt sich vor diesem Hintergrund der Umstand, dass in *Closed-loop U-PLM-Systemen* das einzig sachgerechte Referenzszenario für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* gegeben ist, auch speziell im SOA-Kontext einfach aufzeigen. Dabei zeigt sich dieser Um-

⁹⁴³ Vgl. OASIS (2006: 9).

⁹⁴⁴ Vgl. OASIS (2006: 9), ohne Hvh. des Orig.

⁹⁴⁵ Vgl. De Cesare/Geerts (2012).

⁹⁴⁶ Vgl. hierzu etwa Ferrario/Guarino/Janiesch et al. (2011).

stand mit dem IoX/PSS-Konnex in gleich dreifacher Weise unmittelbar verbunden: (i) Im Grunde wird einheitlich gefordert, *Produkt-Service Systeme* (PSS) im Zeichen der PLM- bzw. SLM-Ansätze in allen relevanten Dimensionen als *Lebenszyklen* aufzufassen.⁹⁴⁷ IoX-relevant ist also immer der PSS/PLM-Konnex.⁹⁴⁸ Das schließt den Umstand mit ein, dass sich die Produkt/Service-Kombinationen am Kundenlebenszyklus orientieren.⁹⁴⁹ Teilweise läuft dies auf das Postulat eines *Total Life Cycle Management* (TLCM) hinaus,⁹⁵⁰ das wir teilen, wenn es sich in der Logik von *IoX-Systemen* selbstverständlich auch auf alle Aspekte der *Enterprise Architecture* (EA) bezieht. Das ist deshalb konsequent, indem ontologiebasierte EA-Frameworks (z.B. AIF oder GERAM) einen *Enterprise Life Cycle* (ELC) zugrundelegen. Bezogen auf den IoX/PSS-Konnex ist damit ein *Product-Service Lifecycle System* (PSLS) impliziert, wie es C. Palmer et al. (2014) im Kontext der Smart Factory fordern, das als solches mit Abramovici et al. (2015) als *Smart Lifecycle Management* zu verstehen ist. Im Grunde ist der "*general world view*" der Informatik heute allgemein an Lebenszyklen orientiert; es handelt sich damit im Whiteheadschen (1929a) Sinne um eine systemisch-evolutionäre bzw. organismische Weltansicht. Insofern läuft das *Ontological Computing* im Sinne komplexer Systeme auf ein *Organic Computing* hinaus.⁹⁵¹ – Damit ist evident: die Crux der Sache liegt in der *Smart Enterprise Integration* (SEI), deren Gegenstand der IoX/PSS-Konnex ist, der sich in Form von *Smart Product Service Systems* (SPSS) konstituiert.⁹⁵² Dabei handelt es sich bei *Smart Products* um *Connected Products*, die auf ICT/PEID- bzw. IoT/WoT-Basis mit den OEM-Servern interagieren. Dabei umschließen sie auf den individuellen Kunden zugeschnittene ubiquitäre *Smart Services*, die bei *Service-Dominant Logic* (SDL) gar den Schwerpunkt der individualisierten Produkt/Service-Kombination bilden.⁹⁵³

Der IoX/PSS-Konnex läuft vor diesem Hintergrund auf ontologiezentrische webbasierte PSS/PLM-Systeme hinaus,⁹⁵⁴ die in ihrer Allgegenwart mit dem Referenzszenario der *Closed-loop U-PLM-Systeme* zu identifizieren sind.⁹⁵⁵ Diese stehen im direkten Kontext des *Real-Time Enterprise* (RTE) in seiner Eigenart als CPS-basiertes *Sensing Enterprise*.⁹⁵⁶ Dabei steht außer Frage, dass ein umfassendes *IoX-Monitoring* in Echtzeit eine entsprechende Wissensplattform voraussetzt, die allen KR-Facetten zu entsprechen weiß, und da-

⁹⁴⁷ Vgl. hierzu Aurich et al. (2006, 2007).

⁹⁴⁸ Vgl. J. Lee/AbuAli (2011) sowie Cavalieri/Pezzotta (2012).

⁹⁴⁹ Vgl. Aurich et al. (2008).

⁹⁵⁰ Vgl. C. Herrmann et al. (2010).

⁹⁵¹ Indem es im CPS/CAS-Sinne von PLM-Kontexten um *komplexe Systeme* geht, wird das *Organic Computing* auch bereits mit PLM-Systemen in Verbindung gebracht, vgl. Gerhard (2013).

⁹⁵² Vgl. J. Lee/Kao (2014), Abramovici et al. (2015) sowie Valencia et al. (2015).

⁹⁵³ Vgl. dazu etwa Akmal et al. (2013).

⁹⁵⁴ Vgl. etwa Seliger et al. (2008, 2010), Gegusch et al. (2010), Espíndola et al. (2012), H. Zhu et al. (2012), Mikusz (2014) R. Xu/Frey/Ilic (2014) sowie Herterich et al. (2015).

⁹⁵⁵ Vgl. dazu Kiritsis (2011), J.Y. Lee et al. (2011), M. Franke et al. (2014), W. Guo et al. (2014) sowie Kubler et al. (2015).

⁹⁵⁶ Vgl. M. Zdravkovic et al. (2014).

bei Workflow- bzw. SOA-basiert ist.⁹⁵⁷ Sämtliche KR-Aspekte des *Sensing Enterprise* lassen sich nur dann ausschöpfen, wenn zum einen die Metadatenmodelle bzw. Datenmodelle reformiert werden, insbesondere indem für CPS/PEID-Lösungen 4D-Datenmodelle einzufordern sind.⁹⁵⁸ Zum anderen sind bzgl. der Metadaten neue Objekttypen wie etwa RFID Tags oder Sensoren zu berücksichtigen, und diese sind auf den gesamten U-PLM-Zyklus zu beziehen.⁹⁵⁹ Zudem sind die Prozesse im CEP-Sinne neu zu strukturieren, worauf das ED-BPM abstellt. All diese und weitere Aspekte gründen dabei auf dem Erfordernis einer integrativen Ontologie, die im *Sensing Enterprise* als RTE allein durch eine integrative *Enterprise Ontology* (EO) gestellt werden kann, die sich ihrerseits durch eine TLO-Referenz auszeichnet.

(ii) Die Adäquanz dieses Referenzszenarios ist im SOA-Kontext auch insofern gegeben, als PLM- und SLM-Ansätze deshalb zwingend zu kombinieren bzw. zu vereinheitlichen sind, da es bei allen IoX-basierten PLM-Systemen im Grunde spiegelbildlich immer um den Lebenszyklus *integrierter Produkt-Service Systeme* (PSS) geht.^{960,961} Dabei ist sowohl das Design der Produkt/Service-Kombinationen integrativ zu vollziehen,⁹⁶² als auch ihre jeweiligen KPIs über den gesamten PSS-Lebenszyklus integrativ zu messen.⁹⁶³ Dazu sind bereits entsprechende KPI-Frameworks entwickelt worden.⁹⁶⁴ Während das Ziel der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* insgesamt in Richtung einer IoX-basierten PSS-Ontologie geht,⁹⁶⁵ sollten nicht die umfassenden ontologischen Konsequenzen übersehen werden, die der PLM-Ansatz im Zuge seiner *Servicization [Servitization]* durch *Closed-loop U-PLM-Systeme* erfährt: Tatsächlich kommen im Zuge von *Service Systems* mit der *Service System Ontology* bzw. *Service Ontology* wie der darauf aufbauenden *Service Intelligence* eine Reihe IoS-spezifischer ontologischer Fragestellungen und Integrationsaspekte hinzu,⁹⁶⁶ die über den genauso zentralen CPS-Aspekt des *Internet der Dinge* (IoT) bzw. *Product Systems* weit hinausgehen. Ontologisch betrachtet handelt es sich bei *Services* nämlich um komplexe Ereignisse bzw. um Prozesse, während Produkte bzw. Güter Objekte bilden.⁹⁶⁷

⁹⁵⁷ Vgl. Abramovici/Aidi (2013), Abramovici/Aidi/Dang (2013), Abramovici/Dang/Wolf (2013) sowie H. Zhu et al. (2013).

⁹⁵⁸ Vgl. etwa M. West (2011).

⁹⁵⁹ Vgl. etwa Abramovici/Neubach et al. (2009).

⁹⁶⁰ Vgl. Shimomura/Tomiyama (2005), Jansson/Thoben (2005), R. Roy/Cheruvu (2009), Annamalai et al. (2011b), Abramovici/Aidi et al. (2012), D. Zhang et al. (2012), Abramovici/Aidi (2013), Freitag/Zelm (2014), R. Xu/Ilic (2014), Wiesner et al. (2015), Kernschmidt et al. (2016) sowie Yoo et al. (2016a).

⁹⁶¹ Das gilt insofern auch für PLM-relevante Industrien *ohne PEID-Systemprodukte* (z.B. Prozessindustrie), als sich Serviceaspekte in solchen Fällen auf den eigentlichen Wertschöpfungsprozess beziehen können, also etwa auf Services im Bereich der Logistikprozesse usf. Darüber hinaus sind auch in solchen Industrien PSS-Szenarien denkbar, die sich auf die Nutzungs- bzw. Einsatzphase beim Kunden beziehen. Insofern ist der IoX- bzw. PSS-Aspekt tatsächlich für sämtliche PLM-basierte Industrien konstitutiv.

⁹⁶² Vgl. Aurich et al. (2008).

⁹⁶³ Vgl. Annamalai et al. (2011b).

⁹⁶⁴ Vgl. etwa Abramovici/Jin/Dang (2013); vgl. hierzu auch Rese et al. (2009).

⁹⁶⁵ Vgl. etwa Annamalai et al. (2011a).

⁹⁶⁶ Vgl. etwa Akkermans et al. (2004), Baida et al. (2004a, 2005), Lemey/Poels (2011), Mora et al. (2011), Poels et al. (2013) sowie Feng et al. (2014).

⁹⁶⁷ Vgl. Ferrario/Guarino (2012: 174).

Wenn SOA als Integrationsansatz zu verstehen ist,⁹⁶⁸ der als *Semantic SOA* (SSOA) einen Kernaspekt des SEI-Vollzugs darstellt, ist es eine bemerkenswerte Tatsache, dass es bereits ein breites Spektrum teils überaus heterogener *Service Ontologies* gibt.^{969, 970} Dass SSOA durch und durch im Zeichen der *TLO-EO-Verkopplung* steht wird dann deutlich, wenn wir fragen, welche Ursachen für diese Heterogenität verantwortlich sind, die ihrer Integrations-

⁹⁶⁸ Vgl. etwa Juric et al. (2007).

⁹⁶⁹ Zu den bedeutendsten Ansätzen gehören die in OWL repräsentierte OWL-S, vgl. hierzu D. Martin et al. (2005), Stollberg/Fensel (2010: 122 f.) und <https://www.w3.org> sowie die in WSMO repräsentierte *Web Service Modeling Ontology* (WSMO), vgl. hierzu <http://www.wsmo.org/> und Roman et al. (2005) bzw. Fensel et al. (2007); zum Vergleich von OWL-S und WSMO siehe Lara et al. (2004), zur Evaluierung ihrer Anwendung Kamaruddin et al. (2012). Beide Ansätze sind wesentlich im Bereich des automatisierten Auffindens von Services (*Service Discovery*) und ihrer Verknüpfung, also der Dienstekomposition (*Service Composition*), womit sie einen zentralen technischen Stellenwert in semantischen SOA-Infrastrukturen (SSOA) besitzen. OWL-S wird durch Mika et al. (2004) auf DOLCE angegliedert sowie durch Izza et al. (2007) für EAI-Zwecke eingesetzt. Fähndrich et al. (2014) bringen OWL-S für das automatisierte *Service Matchmaking* in MAS-Kontexten ins Spiel. Demgegenüber erweitern Domingue et al. (2008) WSMO zur *IRS-III Service Ontology*; sie bringen bereits DOLCE zur TLO-Referenz ins Spiel, Dietze et al. (2009: 259) auf gleicher Basis von WSMO bzw. IRS-III darüber hinausgehend auch die SUMO-TLO. L. Zhang/Zhou/Zhu (2009) vollziehen SSOA auf WSMO-Basis für Zwecke der Enterprise Application Integration (i.w.S.). H.H. Wang et al. (2012) formalisieren WSMO auf Basis von *Object-Z* (OZ) als Erweiterung der formalen Spezifikationsprache Z und demonstrieren ihr OZ-Modell anhand der Amazon Web Services als Fallstudie. – Ferner sind als wesentliche Service Ontologies die in UML bzw. OWL repräsentierte *SOA Ontology* der Open Group (2010) sowie die in UML bzw. WSMO repräsentierte *Reference Ontology for Semantic SOA* der OASIS (2008) zu nennen. Im Zeichen der konzeptuellen Modellierung kommt die *Service oriented architecture Modeling Language* (SoaML) der OMG noch als Standard hinzu. Auch wird ihre *Model Driven Architecture* (MDA) mit SOA kombiniert, vgl. etwa Jardim-Goncalves et al. (2006) sowie Touzi et al. (2009). In praxi findet sich diese Kombination etwa bei der HYDRA IoT-Middleware, vgl. Eisenhauer et al. (2009). Mit Blick auf die Architektur verteilter Systeme in IoX/SOA-Kontexten ist diese Kombination in der Tat wesentlich, um im Zuge der Differenzierung plattformspezifischer (PSM) und plattformunabhängiger (CIM, PIM) Modelle eine durchgängige Interoperabilität auf MDA-Basis realisieren zu können, vgl. hierzu Touzi et al. (2007). Wenn bei dieser Modellierung weitere OMG-Standards wie BPMN und UML zum Einsatz kommen, ist im SSOA-Kontext gewiss alles auf eine kommensurable Semantik der fundamentalen Kategorien zu prüfen, was eine einheitliche TLO-Referenz nahelegt. Vgl. zu diesen offenen SOA-Standards der Open Group, OASIS sowie der OMG insgesamt Kreger/Estefan (2009).

⁹⁷⁰ Wenn Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* bilden, ist darauf hinzuweisen, dass bei der Rede von "*Service Ontologies*" ein breiter Ontologiebegriff im Spiel ist; genauer besehen handelt es sich bei einer Reihe von Ansätzen eigentlich um konzeptuelle Modelle, die zumeist in UML modelliert sind. Allerdings trifft dabei der Ontologiebegriff insofern zu, als diese Modelle wiederum ontologiefundiert sind, indem sie eine EO- bzw. TLO-Referenz aufweisen. Das ist etwa bei der *Goal-Based Service Ontology* (GSO) der Fall, die in UML repräsentiert ist, jedoch eine UFO-Referenz aufweist. Analoges gilt für die *Service Ontology* bei Ferrario/Guarino (2009, 2012), die ebenfalls in UML repräsentiert ist, jedoch eine DOLCE-Referenz aufweist. Insofern ist bei solchen ontologiefundierten konzeptuellen Modellen der Übergang zwischen *Service Ontology* und *Service Model* nicht trennscharf und die Begriffe werden zumeist synonym verwandt. Vor diesem Hintergrund existiert neben OWL-S und WSMO bzw. IRS-III eine Vielzahl von *Service Ontologies*: Hierzu gehört etwa die auf UFO referenzierende *Goal-Based Service Ontology* (GSO), vgl. Da Silva Santos et al. (2009a, 2009b), sowie *UFO-S* als Commitment-basierte Referenzontologie für Services, die als Kernontologie (CO) wiederum selbst auf die UFO-TLO referenziert, vgl. J.C. Nardi (2014), J.C. Nardi et al. (2015) sowie Livieri/Guarino et al. (2015). Ferner ist *Onto-ServSys* von Mora et al. (2011) zu nennen, die auf DOLCE referenzierende *Ontological Foundation for Services Science* von Ferrario/Guarino (2009, 2012) sowie die ebenfalls auf DOLCE referenzierende und sich als *Core Service Description* verstehende *Service Ontology* von Oberle/Bhatti et al. (2009) bzw. SAP Research. Schließlich gibt es noch eine Reihe speziellerer Ansätze zur *Service Ontology*, vgl. etwa den an der REA-EO orientierten und UML-basierten Ansatz von Bergholtz et al. (2011) bzw. B. Andersson et al. (2012). Hierzu gehört auch die *SOA Healthcare Ontology* (SHO) der ANSI-akkreditierten *Health Level Seven International* (HL7), die wiederum auf UFO-S referenziert, vgl. Milosevic et al. (2014).

funktion diametral entgegensteht. Das ist zum einen die implizite bzw. explizite Referenz auf disparate EO-Kategorien und zum anderen die implizite bzw. explizite Referenz auf disparate TLO-Kategorien und ihre meta-ontologischen Dispositionen. Am besten wird dies jeweils anhand der expliziten Referenz deutlich, während das Problem implizit zugrundegelegter heterogener Kategorien und ihrer Relationen noch um ein Vielfaches größer ist. Denn dann sind die Zusammenhänge zumeist unscharf bis unklar. Eine explizite Referenz der bereits an sich heterogenen *Service Ontologies* auf disparate EO-Ansätze vollzieht sich dabei vor allem auf einige der im folgenden Pkt. 2.3 behandelten EO-Theorieanwärter. Diese weisen zumeist bereits als solche eine spezifische TLO-Referenz auf, womit diese indirekt auch für die jeweiligen *Service Ontologies* gegeben ist.

Indessen weisen SOA-relevante *Service Ontologies* nicht nur über ihre EO-Referenz eine indirekte TLO-Referenz bzw. Referenz auf philosophische Ontologien auf, sondern genauso direkt. So bauen Mora et al. (2011) mit *Onto-ServSys* auf dem *kritischen Realismus* Bhaskars (2008) auf. Dieser begreift mit Verweis auf Pkt. 6.2.6 die philosophische Ontologie genauso als ein Ganzes, das wie bei Bunge sachgerecht allein in der Kombination von Metaphysik, Epistemologie und Methodologie zu verstehen ist. Demgegenüber beschränken sich die meisten *Service Ontologies* auf eine direkte TLO-Referenz, was für die Integrationszwecke der Informatik auch am sinnvollsten ist. Problematisch ist jedoch auch in dieser Sache, dass parallel die unterschiedlichsten TLO-Theorieanwärter bemüht werden, was gerade vor dem SOA-Integrationsziel kaum akzeptabel erscheinen kann. Vielmehr unterstützt dies unser bereits vorgetragenes Selektionsargument. Ein automatisiertes *Service Matchmaking* kann im SOA-Ansatz offensichtlich nicht funktionieren, wenn sich einzelne *Service Ontologies* im gleichen Integrationszenario wahlweise auf DOLCE,⁹⁷¹ auf BORO,⁹⁷² auf OpenCyc,⁹⁷³ UFO,⁹⁷⁴ oder schließlich auch etwa auf SUMO beziehen.⁹⁷⁵ Dabei muss es nicht nur um die Selektion, sondern auch um eine umfassende Evaluierung gehen, denn sonst wird unklar bleiben, warum TLO-Ansätze wie BFO im Kontext von SOA-Services keine Rolle spielen, was gewiss seine Gründe hat. Eine tiefergehende Evaluierung ist auch deshalb vonnöten, weil an TLO-Theorieanwärtern wie der Gist-TLO zwar die in allen Fällen relevante *TLO-EO-Verkopplung* am offensichtlichsten wird, da diese als "Upper Ontology" im Kontext von SOA-Services direkt auf die *Enterprise Ontology* bezogen ist.⁹⁷⁶ Doch für die KS-Integration, die ebenso SOA-basiert ist, eignet sich dieser Theorieanwärter nicht. Das liegt daran, dass diese selbsternannte "Upper Ontology" *de facto* keine universale *Top-level Ontologie* repräsentiert, wie sie die Informatik als oberste Ontologieebene für alle Anwendungs- und Integrationsszenarien fordert.

⁹⁷¹ Vgl. etwa Domingue et al. (2008), Dietze et al. (2009) sowie Ferrario/Guarino (2009); Mika et al. (2004) suchen OWL-S auf DOLCE anzugleichen.

⁹⁷² Vgl. Partridge/Bailey (2010).

⁹⁷³ Vgl. W. Pan et al. (2012).

⁹⁷⁴ Vgl. etwa Da Silva Santos et al. (2009a, 2009b) sowie J.C. Nardi et al. (2015).

⁹⁷⁵ Vgl. etwa Dietze et al. (2009).

⁹⁷⁶ Vgl. Uschold/McComb (2013).

Vor dem Hintergrund des *Internet of Services* (IoS) besitzen *Service Ontologies* insbesondere mit den MOL-Phasen für den IoX/PSS-Konnex zentralen Stellenwert.⁹⁷⁷ Darüber hinaus eröffnen sich die in Pkt. 6.2.1 behandelten CEP/SCEP- wie die Prozessaspekte damit insofern zwingend, als *Services ereignis-* resp. *prozessbasiert* sind,⁹⁷⁸ wobei ihre Modelle bzw. Implementationen auf Notationen wie BPMN oder BPEL gründen. Damit stehen *Service Systems* insgesamt im Zeichen der *Enterprise Architecture* (EA), womit ihre Qualität in elementarer Weise etwa unter dem Aspekt der Agilität unmittelbar mit der Frage der realisierten *Enterprise Integration* (EI) zusammenhängt.⁹⁷⁹ In ontologiebasierten Strukturen läuft dies wiederum auf die *Smart Enterprise Integration* (SEI) hinaus. (iii) Das unbestechlichste SOA-Argument für *Closed-loop U-PLM-Systeme* als adäquates Referenzszenario besteht indessen darin, dass IoT-Systeme als solche einen *Lebenszyklus* besitzen, auf den im PLM-Sinne vom Design bis zur EOL-Phase ganzheitlich einzuwirken ist.⁹⁸⁰ Dieser Lebenszyklus gilt für *IoT enabled Services* in gleicher Weise,⁹⁸¹ was damit zusammenhängt, dass der rein prozessual betrachtete IoX-Lebenszyklus mit allen anderen Lebenszyklen verwoben ist, nicht zuletzt mit dem Nutzenzyklus des *Service Consumers* bzw. dem Kundenlebenszyklus. Jeder *IoT Lifecycle* ist also immer mit den Lebenszyklen der eigenen Infrastruktur bzw. der operativen Systeme und Prozesse wie andererseits mit allen relevanten Lebenszyklen der jeweiligen IoT-Leistungsempfänger interdependent. Das unterstreicht die Richtigkeit des Postulats des *Total Life Cycle Management* (TLCM).

Die gängige Praxis einer isolierten Entwicklung von *Service Ontologies* basiert auf einem grundlegenden Konzeptionsfehler, indem diese nicht nur einen Bezug zur SOA-Ontologie, sondern darüber hinaus zur *Enterprise Ontology* (EO) als integrativer Kernontologie wie insgesamt zur Top-level Ontologie aufweisen. Auch sie stehen damit unter dem Regime der *TLO-EO-Verkopplung*. Darauf ist nachfolgend in Pkt. 2.3 sowie Pkt. 2.4 gesondert einzugehen. Insgesamt ist festzustellen, dass in Architekturfragen des *Internet of Everything* (IoX) das SOC- bzw. ED-SOA-Paradigma konstituierend ist. Das MAS-zentrierte *Internet of Everything* (IoX) läuft darauf hinaus, *Everything as a Service* (XaaS) zu behandeln, womit das *Event-driven SOA Framework* notwendig in die Ontologiediskussion der Informatik zu inkorporieren ist. Dabei lassen sich aus dem SOC- bzw. ED-SOA-Paradigma eine ganze Reihe ontologischer Implikationen ableiten, die von einem fundamentalen Ereigniszentrismus über die MAS/CAS-Gesichtspunkte von SOA-Transaktionsbeziehungen bis hin zum Erfordernis zur Abgrenzung eines gesonderten Welttypus für den MAS/SOA-Konnex, den Interaktionsbeziehungen mit Aspekten wie der *Trustworthiness* einfordern. Schon insofern ist bei der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* auch etwa mit Searle (1995) eine *Social Reality* zu berücksichti-

⁹⁷⁷ Vgl. hierzu Rai/Sambamurthy (2006), Glushko (2008), Lusch et al. (2008), Leung et al. (2011); vgl. ergänzend Chesbrough/Spohrer (2006) sowie Ferrario/Guarino (2009).

⁹⁷⁸ Vgl. etwa T. Nguyen/Colman/Han (2011) sowie Lemey/Poels (2012).

⁹⁷⁹ Vgl. Lankhorst (2012) sowie vor diesem Hintergrund Bider et al. (2011).

⁹⁸⁰ Vgl. etwa Wind River (2015).

⁹⁸¹ Vgl. etwa Tönjes et al. (2012).

gen, wie sie insgesamt für *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) unabdingbar ist. Schließlich wird damit – genauso wie in technisch infrastruktureller Hinsicht – deutlich, dass die SEA/SOA-Aspekte für die Konzeption der *Top-level Ontologie* genauso zu inkorporieren sind wie die CPS-Aspekte. Allerdings wird dies bei fast allen TLO-Theorieanwärttern bisher komplett übersehen oder in den Ausnahmefällen mangelhaft vollzogen.

2.3 ED-SOA RTE: *Enterprise Ontology* (EO) als integrative Core Ontology (CO)

»A top ontology – or top concepts – can provide a useful structure for defining and using domain concepts and relations – segmenting the enterprise and other domains into general categories. However, if this is not done properly it can have the opposite effect.«

— Chris Partridge/Milena Stefanova (2003b: 104)

Die *Enterprise Ontology* (EO) bildet als integrative Kernontologie mitsamt der in Pkt. 2.4 erörterten *TLO-EO-Verkopplung* letztlich nicht weniger als den Kern der *Smart Enterprise Architecture* (SEA), auf dem das *Smart Enterprise* als ED-SOA-basiertes *Real-Time Enterprise* (RTE) aufbaut. Aus dieser Feststellung lassen sich unmittelbar eine Reihe von Anforderungen ableiten: so muss der EO-Ansatz ähnlich universal gehalten sein wie die mit ihm verkoppelte Top-level Ontologie; er muss darüber hinaus IoX-adäquat und damit CPSS/SEA- bzw. MAS/CAS-adäquat sein. Er muss ferner ED-SOA-adäquat sein und er muss mit dem Lebenszyklusgedanken des in Pkt. 2.5 behandelten PPR-Frameworks korrespondieren. Insgesamt hat ein sachgerecht konzipierter EO-Ansatz auch dem *U-PLM-Referenzszenario* zu entsprechen. Schließlich ist ein EO-Ansatz dann universal konzipiert, wenn er tatsächlich auf sämtliche relevante ontologische Anwendungs- und Integrationszenarien projiziert werden kann. Diese reichen in ihrer Funktion als integrative Kernontologie vom einfachen *IoX-Monitoring* bis zur Referenzbasis der *Smart Factory*. Die EO-Integrationsleistung hat sich dabei primär auf die Kernprozesse zu erstrecken, und zwar insbesondere auf jene, die in Abb. 1 als *U-PLM-Phasen* abgegrenzt sind. Insgesamt bezieht sie sich jedoch auf das gesamte PPR-Framework und damit auch auf sämtliche Prozesse, also auch auf jene des indirekten Bereichs. Die einzelnen EO-Ansätze haben sich zeitlich ungefähr parallel zu den TLO-Ansätzen herausgebildet;⁹⁸² jedoch ist die Praxis der *TLO-Referenz* von EO-Ansätzen erst jüngeren Datums. Demgegenüber ist eine echte *TLO-EO-Verkopplung*, wie sie Gegenstand von Pkt. 2.4 ist, auf beiden Seiten nicht auszumachen; zumindest solange sie tatsächlich der *universalen Ontologie* bzw. einer generellen Anwendbarkeit verschrieben ist. Jenseits davon weisen die meisten TLO-Theorieanwärtter mehr oder minder in diese Richtung, womit der EO-Aspekt mit in der TLO-Debatte zu berücksichtigen ist.

Demgegenüber erfolgt in der EO-Debatte fast ausnahmslos eine nachgeordnete TLO-Referenz; d.h., dass der EO-Ansatz isoliert, d.h. ohne direkte TLO-Referenz entwickelt

⁹⁸² Das gilt auch dann, wenn der Kern des *REA-Framework* bereits durch W. McCarthy (1982) entwickelt wird; indessen geht es hier noch nicht um einen EO-Ansatz i.e.S., vgl. dazu Fn. 1049.

wird. Erst in einem nachgelagerten Schritt wird eine solche TLO-Referenz vollzogen, etwa wenn es um die Evaluierung eines EO-Ansatzes geht. Das erhöht wiederum die Konfusion in der Ontologiedebatte, indem es somit auch in der EO-Sphäre eine größere Bandbreite von spezifischen Ontologieverständnissen gibt. Der bekannteste und vergleichsweise am umfassendsten entwickelte EO-Ansatz ist mit der REA-EO zugleich der älteste, indem das ihr zugrundeliegende *REA-Framework* auf W. McCarthy (1982) zurückgeht. REA-Modelle liegen zum einen auf Basis von OMG-Standards wie MDA, UML und SBVR vor,⁹⁸³ daneben existieren auf Grundlage von W3C Empfehlungen operationalisierbare bzw. formalisierte Versionen. Dazu gehören Web-Standards wie XML,⁹⁸⁴ aber auch W3C SW-Standards wie OWL, RDF bzw. RDFS oder SWRL.⁹⁸⁵ Gailly/Poels (2007b) verbinden beide Standardwelten im Zuge einer Transformation der *UML-REA-Repräsentation* in eine *OWL-REA-Repräsentation*; es geht also um die Überführung des konzeptuellen Modells in das semantische Modell formaler Ontologie. Ito/Vymetal (2011) formalisieren REA auf Grundlage der Modallogik erster Stufe. Darüber hinaus werden auch semantische Relationen zu weiteren Standards wie der UN/CEFACT Modelling Methodology (UMM) hergestellt.⁹⁸⁶ Die REA-EO ist darüber hinaus Basis der *Financial Industry Business Ontology* (FIBO),⁹⁸⁷ die wiederum einen OMG-Standard darstellt.⁹⁸⁸ Gleichzeitig bildet die REA-EO den ISO/IEC 15944 Standard, der sich jedoch nicht auf die Funktion einer integrativen *Enterprise Ontology*, sondern auf jene einer *Accounting Ontology* bezieht. Darauf kommen wir in unserer Kritik der EO-Ansätze in Pkt. 2.7 zurück. Dennoch geht es bei ihr auch um solche integrativen Funktionen. Das gilt etwa dann, wenn die *Automated REA* (AREA) die REA-EO auf das TOGAF EA-Framework stellt,⁹⁸⁹ oder wenn Murthy/Wiggins (2004) die REA-EO in Richtung einer *Object-Oriented REA* (OOREA) modifizieren. Analoges gilt für Weiterentwicklungen, etwa wenn die REA-EO mit Open-edi zur *Open-edi Business Transaction Ontology* (OeBTO) fusioniert wird.⁹⁹⁰

Weitere tradierte EO-Ansätze bilden zum einen die *Toronto Virtual Enterprise Ontology* (TOVE) und zum anderen die *Edinburgh Enterprise Ontology* (EEO). Während die REA-EO ausgehend von W. McCarthy (1982) zumindest auf einer umfassenden *Accounting Theory* gründet, bilden die TOVE-EO sowie die EEO demgegenüber einfache linguistische *Common Sense* Ansätze. Dieser Defekt wird im Zuge der EO-Kritik in Pkt. 2.7 nochmals aufgegriffen. Besser fundiert sind dagegen die DEMO-EO sowie die SUPER-EO, auf die wir im Zuge der *TLO-EO-Verkopplung* in Pkt. 2.4 näher eingehen. Daneben

⁹⁸³ Vgl. etwa Borch et al. (2003), Murthy/Wiggins (2004), Batra/Sin (2008) sowie Gailly (2013); vgl. hierzu ergänzend Zdravkovic et al. (2011).

⁹⁸⁴ Vgl. hierzu etwa Geerts (2004).

⁹⁸⁵ Vgl. hierzu etwa Gailly/Poels (2006), Sedbrook/Newmark (2008) sowie G. Zhang et al. (2010).

⁹⁸⁶ Vgl. hierzu Gailly/Poels (2009).

⁹⁸⁷ Vgl. M. Bennett (2013, 2014a, 2014b).

⁹⁸⁸ Vgl. OMG (2014).

⁹⁸⁹ Vgl. Fallon/Polovina (2016).

⁹⁹⁰ Zdravkovic et al. (2011) vollziehen schließlich eine Formalisierung von *OeBTO* auf Grundlage von SBVR im Kontext der *Model Driven Architecture* (MDA) der OMG.

sei hier die *BORO Core Enterprise Ontology* (BORO/CEO) herausgestellt, indem diese bedingt bereits im Zeichen der *TLO-EO-Verkopplung* steht. Denn der EO-Ansatz wird hier bereits partiell als inkorporierter TLO-Teil konzipiert.⁹⁹¹ Allerdings kann dabei weder die TLO- noch die EO-Komponente als universaler Ansatz gewertet werden. Vielmehr ist das Ganze eng auf die Belange der chemischen Prozessindustrie ausgerichtet. Positiv hervorzuheben ist darüber hinaus, dass es sich explizit um eine *metaphysische 4D-basierte Ontologie* handelt, die allerdings mit einer *Klasse-2-Metaphysik* ebenfalls auf das falsche Metaphysikparadigma rekurriert. Dennoch kann für BORO/CEO bereits an dieser Stelle festgestellt werden, dass sie sich sowohl in Bezug auf das Moment der *TLO-EO-Verkopplung* sowie als *metaphysische 4D-basierte Ontologie* in positiver Weise von allen anderen EO-Entwürfen abhebt. Beides gilt in der Hinsicht, dass die *Enterprise Ontology* (EO) immer als integrative *Core Ontology* (CO) zu sehen ist. Allerdings wird diesem Erfordernis letztlich keiner der bestehenden EO-Ansätze gerecht. Somit wird deutlich, dass auch die Bemühungen, die im Rahmen der BFO-TLO in dieser Sache unternommen werden, letztlich ins Leere laufen. Zwar wird hier im Sinne der *TLO-EO-Verkopplung* versucht, auf Grundlage der BFO-TLO eine Art BFO-EO zu entwickeln.⁹⁹² Allerdings ist es unmöglich, auf BFO-Basis zu einer universalen wie integrativen *Enterprise Ontology* zu gelangen.

Darüber hinaus ist in dieser Hinsicht eine dritte positive Ausnahme hervorhebenswert, nämlich das *Process-Ontological Model* (POM) von Palomäki, Keto et al., das im Feld des *Software Engineering* (SE), konkret im Zusammenhang mit *Softwarelebenszyklen* (SLC) entwickelt wurde.⁹⁹³ In fundamentaler Hinsicht besteht bei ihnen eine Analogie zu den Produktlebenszyklen (PLC) des Referenzszenarios. Bemerkenswert beim POM-Ansatz ist zum ersten, dass hier in Kritik linguistischer Ontologieverständnisse der Informatik explizit auf eine *philosophische* Ontologiekonzeption insistiert wird.⁹⁹⁴ Zu Recht werden *real-faktische* Weltmodelle gefordert, um relevante Diskurswelten bzw. Realitätsausschnitte zu modellieren. Das zweite positive Moment besteht darin, dass dabei explizit für eine philosophische Prozessontologie votiert wird, wobei – wie bei der Sowa-TLO – wiederum auf die Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) Bezug genommen wird. Auch wird dabei erkannt, dass dieser strukturalistischen Prozessmetaphysik die mathematische Logik inhärent ist, die hier insbesondere auf Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* zurückreicht. Damit verbunden entwickeln Palomäki/Keto (2006) ihren formalen 4D-Ansatz speziell auf der Basis Russells (1927a). Das POM-Konzept setzt als SE-Modellierungsansatz ein fundamentales Weltmodell voraus, das im Sinne von Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik alle Entitäten als Prozess bzw. als Ereignisse modelliert.

⁹⁹¹ Vgl. Partridge/Stefanova (2003a, 2003b).

⁹⁹² Vgl. Ceusters/Smith (2007); vgl. hierzu auch bereits Hagengruber/Schauer (2002).

⁹⁹³ Vgl. hierzu Palomäki/Keto (2006, 2009), Keto/Palomäki (2007), Palomäki (2008) sowie Keto/Palomäki/Jaakkola (2010).

⁹⁹⁴ Vgl. hierzu speziell auch Palomäki (2009).

Das POM-Modell verkörpert somit eine 4D-Prozessmetaphysik, indem im Rekurs auf Whitehead/Russell ebenfalls ein Strukturalismus und damit Antimaterialismus vertreten wird. Damit muss es sich bei den UoD-Objekten nicht zwangsläufig um konkrete Dinge in Raum und Zeit handeln, sondern es sind gleichsam abstrakte Entitäten bzw. Objekte zulässig, was insbesondere auf Informations- bzw. Wissensobjekte abstellt.⁹⁹⁵ Mehr noch: anders als etwa die auch in dieser Sache problematische BFO-TLO brauchen die Objekte zum Zeitpunkt der Modellierung noch nicht zu existieren; dabei wird insbesondere auf die Erfordernisse von Entwicklungsprozessen verwiesen.⁹⁹⁶ In der Tat ist eine zwingende raumzeitliche Existenzbezogenheit der Objekte bei einigen TLO-Ansätzen bzw. philosophischen Ontologien problematisch, etwa wenn Produktontologien zunächst allein in PLM-basierten Engineeringprozessen zum Einsatz kommen; die Produkte bzw. ihre Komponenten physisch also noch gar nicht existieren, sondern sich entlang ihres Lebenszyklus bzw. des Wertschöpfungsprozesses erst allmählich herausbilden. Eine Verwandtschaft zur BORO 4D-Ontology von Partridge, West et al. besteht insofern, als es sich ebenfalls um einen auf dem Realismus aufbauenden, metaphysischen Ansatz handelt, der dabei genauso auf einem 4D-Ontologiemodell basiert. Zwar wird im Zuge des POM-Ansatzes ein topologisches Modell raumzeitlicher Ereignisse entwickelt, doch kann es letztlich weder einem TLO- noch einem EO-Ansatz gerecht werden. Denn es zielt weder auf eine Auseinandersetzung mit der Meta-Ontologie noch mit Kategorien. Es ist nicht universal gehalten und besitzt genauso wenig einen transdisziplinären Anspruch; vielmehr stellt es einseitig auf SE-Belange ab; damit kann es auch nicht um eine *Enterprise Ontology* (EO) als integrative *Core Ontology* (CO) gehen.

Ferner gibt es eine Reihe unbedeutenderer EO-Ansätze, die letztlich sämtlich einseitige Zwecksetzungen verfolgen, hier aber der Vollständigkeit halber genannt seien: Das betrifft etwa die *Core Enterprise Ontology* (CEO) von Bertolazzi et al. (2001) oder die *Context-Based Enterprise Ontology* von M. Leppänen (2007). Ferner gibt es EO-Ansätze, die im engen EI/EA-Zusammenhang stehen. Hier ist etwa die *Enterprise Interoperability Ontology* (ENIO) zu nennen,⁹⁹⁷ die im direkten EAI-Zusammenhang steht. Außerdem existieren EA-bezogene Ansätze wie die *ArchiMEO Enterprise Ontology*.⁹⁹⁸ Neben den genannten engeren EO-Ansätzen gibt es speziellere Ontologien, die einseitig auf das *Business Model* abstellen. Dennoch besitzen diese EO-Relevanz,⁹⁹⁹ speziell auch im U-PLM-Referenzszenario, indem auf ihrer Basis PSS-Aspekte definiert werden und sie dabei auch im Kontext der weiter unten behandelten *Service Ontologies* zum Zuge kommen. Zu diesen Ansätzen gehört die *e³-value ontology*,¹⁰⁰⁰ die *Business Model Ontology* (BMO),¹⁰⁰¹ sowie kombinie-

⁹⁹⁵ Vgl. Palomäki/Radicevic (2006: 321).

⁹⁹⁶ Vgl. Palomäki/Radicevic (2006: 322).

⁹⁹⁷ Vgl. Bouras et al. (2007b).

⁹⁹⁸ Vgl. Hinkelmann et al. (2013).

⁹⁹⁹ Das wird mit Blick auf die *e³-value ontology* auch bei Geerts (2016) in dieser Weise gesehen.

¹⁰⁰⁰ Vgl. Gordijn/Akkermans (2001, 2003a, 2003b), Gordijn (2002, 2004) sowie Gordijn et al. (2009).

¹⁰⁰¹ Vgl. Osterwalder/Pigneur (2002, 2004), Osterwalder (2004) sowie Osterwalder/Parent/Pigneur (2004).

rende Ansätze. Andersson et al. (2006) sowie Zangenehpour et al. (2012) zielen dabei jeweils auf eine ontologische Synthese von e^3 -value, BMO und die REA-EO; Jafarinasab/Bushehrian (2013) verfolgen demgegenüber eine Transformation der e^3 -value ontology in die BPMO; letztere bildet wiederum den prozessorientierten Teil der SUPER-EO. Demgegenüber versuchen sich Pombinho/Tribolet (2012) sowie Pombinho et al. (2014) an einer Synthese von e^3 -value ontology und DEMO-EO. Huemer et al. (2008) entwickeln für die e^3 -value ontology ein UML-Profil. Weigand et al. (2007a) erweitern die e^3 -value ontology zur c^3 -value ontology, indem sie erstere um ein *Customer Value Model*, ein *Capability Resource Model* sowie ein *Competitive Value Model* ergänzen. Die e^3 -value ontology besitzt zwar in Bezug auf das *Business Model* eine elementare Servicedimension, ist jedoch nicht auf die Konfiguration des *Service Systems* an sich ausgelegt. Das betrifft insbesondere die Frage der Bündelung von Diensten. Insofern haben es auch ihre Entwickler als notwendig erachtet,¹⁰⁰² die e^3 -value ontology um eine gesonderte *Service Ontology* zu ergänzen.¹⁰⁰³ Mit Blick auf die SOA-Aspekte des SEI-Vollzugs ist ein solcher Schritt tatsächlich von Relevanz, wenn es um das Zusammenspiel einzelner Services geht.

Darüber hinaus ist hier auch auf *BPM-Kernontologien* einzugehen, da sie zum einen die prozessontologische Basis des in Pkt. 2.5 ff. behandelten PPR-Frameworks bilden, und sie damit verbunden zum anderen einen Kernbestandteil der EO-Ansätze ausmachen, was wiederum vor dem Hintergrund des ED-SOA-basierten *Real-Time Enterprise* (RTE) zu sehen ist. Zwar sind für dieses die Produktlebenszyklen primär, die auf die IoX-Basis zu stellen sind, allerdings bildet die Prozessdimension dabei die Basis von allem. In ihr besteht das für das ED-SOA RTE konstitutive Moment, als IoX-basierte Prozesse im Sinne des PPR-Frameworks den zentralen RTE-Kern bilden.¹⁰⁰⁴ Sowohl der RTE-Konnex im Allgemeinen als auch *Ubiquitous Services* sowie *Complex Events* als IoX-Technologien im Besonderen eröffnen unmittelbar die Prozessdimension (BPM):¹⁰⁰⁵ Prozesse bilden als eine der drei elementaren PPR-Dimensionen die RTE-Grundlegung schlechthin, womit deutlich wird, dass das BPM im Kontext des *Internet of Everything* (IoX) auf eine IoX-basierte RTE-Basis zu heben ist: auf das AI-Agens, die Sensorik, Aktorik, verbundene Technologien wie CEP und die Verschmelzung mit der Digital Analytics zum Cognitive BPM.¹⁰⁰⁶

Wenn dieses prozessuale Moment im Sinne von Haeckels *Adaptive Enterprise Design* als *Sense-and-Respond Model* zu verstehen ist, das im CPS-Sinne maßgeblich auf der Sensorik/Aktorik und damit im CEP- bzw. SCEP-Sinne auf dem 4D-Ereigniszentrismus beruht, wird deutlich, dass es im Prozessmanagement nicht mehr allein um Geschäftsprozesse,¹⁰⁰⁷ sondern genauso um *technische* Prozesse geht. Insofern wird ein neuer, ontologie-basierter Ansatz zum Prozessmanagement erforderlich, der über das *Event-Driven Business*

¹⁰⁰² Vgl. Baida et al. (2004b).

¹⁰⁰³ Vgl. zu dieser *Service Ontology* Baida et al. (2003a, 2003b, 2004a) sowie Akkermans et al. (2004).

¹⁰⁰⁴ Vgl. etwa Haller/Magerkurth (2011) sowie Meroni (2015).

¹⁰⁰⁵ Vgl. Jost/Wagner (2003) sowie Barros et al. (2007), Barros (2008) und Haller/Magerkurth (2011).

¹⁰⁰⁶ Vgl. Jeston/Craig (2015) sowie die Beiträge in L. Fischer (2015); vgl. dazu ferner Del Giudice (2016).

¹⁰⁰⁷ Vgl. etwa Scheer/Abolhassan/Bosch (2003).

Process Management (ED-BPM) noch hinausgeht.¹⁰⁰⁸ In operativer Hinsicht geht es dabei nicht zuletzt um die Kombination von BPMN-Engine und SCEP-Engine, wobei gilt: »Business events represent state changes in process execution and can not only be monitored but managed by complex event processing (CEP) engines«. ¹⁰⁰⁹ Für das Verständnis der BPM-Bewandtnis im RTE-Konnex sowie für die Funktion der Top-level Ontologie als Referenzbasis ist es wiederum wesentlich festzustellen, dass es im BPM zwei dominante Ansätze gibt: Das ist zum einen der auf Notationen wie BPMN aufbauende "*graph-based approach*" und zum anderen der auf Rule-based Technologies bzw. Rule-based Systems aufbauende "*rule-based approach*",¹⁰¹⁰ unter den auch *Business Rules* (BR) bzw. *Rule Base Management Systems* (RBMS) mitsamt der OMG-Standards PRR und SBVR fallen. Indessen sollten beide Ansätze nicht als widersprüchlich, sondern vielmehr als komplementär aufgefasst werden, was auch insofern gilt, als beide bei IoX-Systemen wie insgesamt mit dem *Complex Event Processing* (CEP) verschmelzen. Die Losung besteht damit insgesamt in *rule-driven BPMS*, die BRMS und konventionelle BPMS in sich vereinigen und dabei eine Reihe interessanter Entwicklungsmöglichkeiten sowohl für den prozeduralen "*graph-based approach*" als auch für den deklarativen "*rule-based approach*" eröffnen.¹⁰¹¹

Vor diesem Hintergrund avanciert das BPM im Zuge der Verknüpfung von Prozessen und Web Services zum *IoX-BPM*, das über das ED-BPM hinausgehend auf der ganzen CPSS/SEA-Basis des *Internet of Everything* zu sehen ist. L. Fischers (2015) *BPM Everywhere: Internet of Things, Process of Everything* weist hier in die richtige Richtung, indem das *Internet of Everything* letztlich ein cyber-physisches *Process of Everything* impliziert, das sich indessen allein im übergeordneten Ganzen der Prozessmetaphysik richtig konzipieren lässt. Dann sind jedoch die Modellierungsansätze dahingehend zu evaluieren, ob sie diesen IoX-Anforderungen tatsächlich entsprechen. Nimmt man die gängigen Standards, wird man feststellen müssen, dass dies kaum der Fall ist. Hierzu gehören neben weniger gängigen Ansätzen wie dem *Subject-oriented Business Process Management* (S-BPM),¹⁰¹² der *Business Process Abstract Language* (BPAL),¹⁰¹³ oder Wagners (2011) *Agent-Object-Relationship Simulation Language* (AORSL) folgende Notationen:¹⁰¹⁴ *datenflussorientierte Methoden* wie IDEF0,¹⁰¹⁵ *objektorientierte Methoden* wie UML AD,¹⁰¹⁶

¹⁰⁰⁸ Vgl. zum ED-BPM etwa Ammon/Emmersberger et al. (2008, 2009).

¹⁰⁰⁹ Vgl. Janiesch et al. (2011: 18).

¹⁰¹⁰ Vgl. R. Lu/Sadiq (2007).

¹⁰¹¹ Vgl. *ibid.*

¹⁰¹² Vgl. hierzu A. Fleischmann et al. (2012).

¹⁰¹³ Vgl. hierzu Lezoche (2008), Missikoff et al. (2010) sowie F. Smith/Proietti (2014).

¹⁰¹⁴ Wagner (2011) bietet mit der regelbasierten *Agent-Object-Relationship Simulation Language* (AORSL), die wiederum die *Entity-Relationship Simulation Language* (ERSL) erweitert, eine Alternative zu BPMN an. AORSL ist gemäß der auf Basis der *Agent-Based Discrete Event Simulation Ontology* (ABDESO) vollzogenen Analysen Wagners (2011) vollständiger als BPMN. ABDESO stellt eine Erweiterung der *Discrete Event Simulation Ontology* (DESO) dar, die von der *Essential Unified Foundational Ontology* (eUFO) als TLO-Referenzbasis abgeleitet wurde und wiederum eine vereinfachte Variante der *Unified Foundational Ontology* (UFO) verkörpert. Damit schließt sich der Kreis von den BPM- bzw. EO-Ansätzen wieder zur *Top-level Ontologie*.

¹⁰¹⁵ Vgl. hierzu Menzel/Mayer (2006).

SOM,¹⁰¹⁷ oEPC,¹⁰¹⁸ OPD,¹⁰¹⁹ oder IDEF4,¹⁰²⁰ sowie schließlich *kontrollflussorientierte Methoden* wie Petri-Netze,¹⁰²¹ EPC,¹⁰²² oder schließlich BPMN.¹⁰²³ Bzgl. letzterer ist dieses Erfordernis der Auslegung auf die IoT-Anforderungen bereits erkannt,¹⁰²⁴ wobei etwa die BPMN Extension für *Wireless Sensor Networks* (BPMN4WSN) in dieser Sache gewiss nicht mehr als einen ersten Schritt darstellt.^{1025, 1026}

Insofern relativiert sich die Relevanz der diversen BPM-Ontologien. Diese beginnen mit der bereits erwähnten BPMO als prozessorientierter Teil der SUPER-EO, und führt über die damit verbundene *Business Process Ontology* (BPO) von SAP Research et al., sowie die davon marginal abweichende *Business Process Ontology* (BPO) bei Liao/Leung (2007) bis hin zu spezielleren Ansätzen wie GRACE.¹⁰²⁷ Der älteste in diesem Zusammenhang relevante Ansatz besteht hingegen in der *Process Specification Language* (PSL),^{1028, 1029} die am NIST entwickelt wurde und als ISO 18629 genormt ist. Die PSL zielt speziell auf die diskrete Fertigung und verkörpert dabei eine *Heavyweight-Ontologie*,¹⁰³⁰ wobei ein BPMN-PSL-Mapping möglich ist. Damit ist schließlich auch auf die Reihe fertigungsorientierter Ontologieansätze zu verweisen, die als PLM-CO verstanden werden können, und somit ebenfalls direkte EO-Relevanz besitzen. Diese besteht mindestens insofern, als der EO-Ansatz letztlich auf den gleichen meta-ontologischen bzw. kategorialen Fundamenten stehen muss wie die PLM-CO. Zur Entsprechung ihrer Korrespondenz gibt es zwei Strategien: Entweder bildet der EO-Ansatz die Kernontologie und die PLM-CO eine darauf referenzierende *Upper-Domain Ontology* bzw. *Super-Domain Ontology* zur Koordination einzelner PLM-Phasen, oder aber letztere wird durch erste direkt substituiert.¹⁰³¹ Auf diese spezielleren fertigungsorientierten Ontologieansätze wie MASON oder ADACOR ist in Pkt. 2.6 im Rahmen der *Smart Factory* einzugehen.

¹⁰¹⁶ Vgl. OMG (2011); vgl. hierzu auch Letters (2006).

¹⁰¹⁷ Vgl. Ferstl/Sinz (1991, 1995, 2006); dieses wird bei Fettke/Loos (2003a) ontologisch evaluiert.

¹⁰¹⁸ Vgl. Nüttgens/Zimmermann (1998).

¹⁰¹⁹ OPD ist eine Notation der *Object-Process Methodology* (OPM), die durch Dori (2002) entwickelt wurde; vgl. hierzu auch Reinhartz-Berger/Dori (2005) sowie Dori (2011).

¹⁰²⁰ Vgl. dazu Q. Li/Chen (2009: 193 ff.).

¹⁰²¹ Vgl. Petri (1962); vgl. hierzu auch Proth (2006).

¹⁰²² Vgl. Keller/Nüttgens/Scheer (1992) sowie mit Blick auf die EPC-Semantik Kindler (2006).

¹⁰²³ Vgl. hierzu White (2006), White/Miers (2008) sowie OMG (2013a).

¹⁰²⁴ Vgl. S. Meyer et al. (2013).

¹⁰²⁵ Vgl. hierzu Tranquillini et al. (2012) sowie Sungur et al. (2013).

¹⁰²⁶ Vgl. zu *BPMN Extensions* generell Braun/Esswein (2014).

¹⁰²⁷ Der Fokus von GRACE liegt entsprechend seines Akronyms in der *inteGration of pRocess and quaLity Control using multi-agEnt technology*.

¹⁰²⁸ Vgl. hierzu Schlenoff et al. (1996, 1999), Menzel/Grüninger (2001), Grüninger/Menzel (2003), Grüninger (2004, 2009), Bock/Grüninger (2005), Deshayes et al. (2007), Lezoche (2008), Grüninger/Delaval (2009), Grüninger/Hahmann et al. (2010), Beeson et al. (2011) sowie Qiao et al. (2011).

¹⁰²⁹ Mit ihrer Fixierung auf Produktionsprozesse ist PSL eher als eine *Domänenontologie* denn als Kernontologie einzustufen. PSL-Core liegt im KIF-Standard vor.

¹⁰³⁰ Vgl. Young/Gunendran et al. (2007a, 2007b, 2010) sowie Young/Chungoora et al. (2010).

¹⁰³¹ Eine modulare Ontologiearchitektur sollte in dieser Sache darauf hinauslaufen, die PLM-CO für die Abdeckung *branchenspezifischer* PLM-Aspekte zu reservieren, während alle *universalen* PPR-Aspekte den einzelnen EO-Modulen vorbehalten sind.

Die im folgenden Pkt. 2.4 behandelte *TLO-EO-Verkopplung* stellt insofern tatsächlich eine interdependente Beziehung dar, als cyber-physische Produkte, Prozesse und Ressourcen (PPR) genauso wie das damit zusammenhängende *IoX-BPM* über die *Enterprise Ontology* als infrastruktureller Kernontologie nicht nur auf einer CPSS-adäquaten *Top-level Ontologie* aufzubauen haben.¹⁰³² Vielmehr ist diese *TLO-EO-Verkopplung* auch in umgekehrter Richtung unter SEA/SOA-Aspekten unabdingbar, indem TLO-Ansätze mit SOA-Architekturen zu korrespondieren haben, womit schließlich auch die *Service Ontologies* berührt sind. Eine explizite Referenz der bereits an sich heterogenen *Service Ontologies* erstreckt sich im Grunde auf sämtliche der EO-Theorieanwärter, insbesondere aber auf die REA-EO,¹⁰³³ DEMO,¹⁰³⁴ SUPER,¹⁰³⁵ oder auf die e³-value ontology.¹⁰³⁶ Diese *TLO-EO-Verkopplung* ist insofern zirkulär zu denken, als die meisten EO-Ansätze wiederum an sich eine TLO-Referenz besitzen, wobei sich die REA-EO unter anderem auf die Sowa-TLO bezieht, während die DEMO-EO auf die Systemontologie Bunes (Pkt. 5.3) verweist.

Jeder IoX-adäquate EO-Ansatz muss alle Charakteristika einer PSS-Ontologie absorbieren können, da PLM-Systeme im PSS-Sinne die Integrationsplattform des Smart Enterprise resp. der Smart Factory bilden.¹⁰³⁷ Denn nahezu sämtliche PSS/PLM-Prozesse stellen auf EO-Ebene *Kernprozesse* dar. Insofern besteht die zentrale *Kernontologie* (CO) komplexer IoX-Systeme in der CPSS-adäquaten *Enterprise Ontology* (EO). Daraus folgt wiederum, dass die *TLO-EO-Verkopplung* für eine CPSS- bzw. IoX-adäquate Top-level Ontologie zu einer zwingenden Anforderung wird. Damit muss ihre Explikation die zentrale Frage der *Smart Enterprise Integration* auf Basis der *Enterprise Ontology* (EO) zwangsläufig in der notwendigen Tiefe mit umfassen. Denn mit der *TLO-EO-Verkopplung* ist es die IoX-adäquate *Enterprise Ontology* (EO), über die sich erst die oben erwähnten drei interdependenten technischen, ökonomischen und kommerziellen Dimensionen komplexer IoX-Systeme tatsächlich steuern und semantisch integrieren lassen. Indessen werden PSS-Ontologien bzw. deren Fragmente bisher kaum auf das *IoX-Totalmodell* bezogen; das wird erst dann möglich, wenn die CPSS-adäquate *TLO-EO-Verkopplung* im Zuge der *Smart Enterprise Integration* (SEI) prinzipiell realisiert ist.¹⁰³⁸ Zwar gibt es erste Bestrebungen in dieser Sache, wenn *Service Systems*, die das grundlegende Abstraktionsmodell der *Service Sciences* bilden,¹⁰³⁹ zum einen etwa auf die REA-EO,¹⁰⁴⁰ zum anderen etwa auf die DEMO-EO

¹⁰³² Diese TLO-Referenz von EO-Ansätzen sowie BPM- bzw. anderen CM-Methoden steht in der Disziplin im Allgemeinen außer Frage.

¹⁰³³ Vgl. etwa Poels (2010a, 2010b), Sicilia/Mora (2010) sowie Bergholtz et al. (2011).

¹⁰³⁴ Vgl. etwa Terlouw/Albani (2013).

¹⁰³⁵ Vgl. dazu Hepp/Roman (2007), Cabral/Domingue (2009), Filipowska et al. (2009) sowie Norton (2009).

¹⁰³⁶ Vgl. etwa Baida et al. (2004b).

¹⁰³⁷ Vgl. etwa NTT DATA (2015).

¹⁰³⁸ In diese Richtung gehen etwa Dragoicea/Borangiu (2013); bei M. Ryu et al. (2015) wird mit SUMO und DOLCE deutlich, dass konkurrierende TLO-Ansätze in dieser Sache von Belang sind. Ihre Alternative in Form der *IoT-based Service Integration Ontology* (IIO) wird demgegenüber nicht dem Anspruch eines TLO-Ansatzes gerecht.

¹⁰³⁹ Vgl. hierzu Spohrer/Vargo et al. (2008); vgl. hierzu ferner Maglio et al. (2006).

bezogen werden.¹⁰⁴¹ Poels (2010a, 2010b) transformiert die *Goods-Dominant Logic* (GDL) von REA auf Basis des ISPAR-Modells von Spohrer/Anderson et al. (2008) in die *Service-Dominant Logic* (SDL); das Ergebnis dieser fragwürdigen REA-Transformation wird dabei als *Resource-Service-System* (RSS) bezeichnet.¹⁰⁴² Genauso stellt auch TOVE auf *Services* ab,¹⁰⁴³ während die SUPER-EO in zentraler Weise auf *Semantic Web Services* fokussiert ist,¹⁰⁴⁴ und die EEO (AIAI) *Enterprise Ontology* für gleiche Zwecke zum Einsatz gelangt.¹⁰⁴⁵ Demgegenüber steht BORO/CEO bereits im Zeichen eines universalen SOA-Serviceparadigmas.¹⁰⁴⁶ – Doch genauer betrachtet offenbart sich, dass keiner der tradierten EO-Ansätze tatsächlich CPSS- bzw. IoX-adäquat ist, was im grundsätzlichen Widerspruch zu dem maßgeblichen SEI-Gedanken steht. So gesehen scheitern sie an ihrer eigentlichen Basisfunktion, zumindest, wenn man den Maßstab des IoX/PSS-Konnex anlegt.

¹⁰⁴⁰ Vgl. P. Johannesson et al. (2008), Weigand et al. (2008, 2009), Poels (2010a, 2010b), Sicilia/Mora (2010) sowie B. Andersson et al. (2012).

¹⁰⁴¹ Vgl. Albani et al. (2009), Mendes/Mira da Silva (2012), Pombinho/Tribolet (2012) sowie Terlouw/Albani (2013).

¹⁰⁴² Fragwürdig ist diese Transformation insofern, als es dabei um *IoX-bezogene Web Services* gehen muss, die im Web 4.0 *cyber-physisch* zu verankern sind. Das allerdings liegt außerhalb des REA-Ansatzes.

¹⁰⁴³ Vgl. Uschold/Grüninger (1996) sowie Grüninger/Atefi/Fox (2000).

¹⁰⁴⁴ Vgl. etwa Cabral/Domingue (2009).

¹⁰⁴⁵ Vgl. J. Ni et al. (2008).

¹⁰⁴⁶ Vgl. Partridge/Bailey (2010).

2.4 CPSS/SEA: Zur zwingenden TLO-EO-Verkopplung in der IoX-Spezifikation

»[T]o insert ontology-driven modelling into enterprise engineering process, domain ontologies must be embedded within a more general framework. In other words, they must be based on upper-level ontologies that form the superstructure to define lower-level categories [...]. The question, how to define this superstructure and which upper-level ontology it is better to use as a base, is still open.«

— Albertas Čaplinskas/Audronė Lupeikienė/Olegas Vasilecas (2003: 462)

Wenn Čaplinskas et al. (2003: 462) eine *Top-level Ontologie* postulieren, die als "*superstructure*" sämtliche Ontologien auf eine einheitliche fundamentale Basis stellt, sehen das AI-Forscher wie Poole/Mackworth (2010) nicht anders, wenn sie feststellen:

»There is interest in building a coherent top-level ontology to which other ontologies can refer and into which they can fit. Fitting the domain ontologies into a higher-level ontology should make it easier to allow them to interoperate. [...] The integration of ontologies is necessary to allow applications to refer to multiple knowledge bases, each of which may each use different ontologies.«¹⁰⁴⁷

Indessen sollte dabei nicht übersehen werden, dass diese Referenzfunktion nicht nur für Domänenontologien (DO) reserviert ist, sondern vielmehr für das ganze Spektrum an Ontologiearten, also für das gesamte in Pkt. 3.3.1 behandelte *System von Ontologien* voraussetzen ist. Auch gilt diese Referenzfunktion nicht nur für Wissenssysteme (KS), sondern natürlich genauso für Informationssysteme (IS), und sie ist erst dann richtig verstanden, wenn sie an der zunehmend wichtiger werdenden *IS/KS-Kombination* festmacht. Insofern kann die *Top-level Ontologie* sich gewiss nicht allein auf die fundamentalen Strukturen der physischen Realität beziehen, und es ist auch nicht ausreichend, diese Frage auf Cyberwelten mitsamt dem CPS-Interaktionsaspekt auszudehnen. Denn Ontologie bezieht sich nicht allein auf Diskursuniversen. Vielmehr muss die *Top-level Ontologie* auch mit der technischen Infrastruktur kompatibel sein. Die Frage ihrer Konzeption ist somit gerade auch in Bezug auf rein technische Ontologien zu stellen, wie sie etwa als CEP-Ontologien, als EA-Ontologien, oder als SOA-Ontologien insgesamt zur Gruppe infrastruktureller Ontologien gezählt werden können. Der in Pkt. 2.2 erörterte SEA-Gesichtspunkt impliziert das Erfordernis der in Pkt. 2.3 erörterten *Enterprise Ontology* (EO), die wiederum einen unmittelbaren TLO-Bezug besitzt. Im SEA-Sinne kommt letztlich kein TLO-Ansatz ohne einen EO-Ansatz aus, während umgekehrt jeder EO-Ansatz prinzipiell einen festen Bezug zu einem TLO-Ansatz aufweisen sollte. Insofern geht es um eine feste *TLO-EO-Verkopplung*, die genau in der Weise zu verstehen ist, dass die *Enterprise Ontology* direkt auf dem TLO-Fundament zu entwickeln ist. Nicht gemeint ist damit die gängige Praxis, wonach ein separat entwickelter EO-Ansatz erst im Nachhinein auf eine mehr oder minder beliebig gewählte *Top-level Ontologie* etwa zur Prüfung ihrer ontologischen Stringenz bezogen wird. Dass dieser nachträgliche Bezug problematisch ist, wird weiter unten mit der REA-EO deutlicher.

Mit der *TLO-EO-Verkopplung* ist demnach ausgesagt, dass sich die Kategorien bzw. meta-ontologischen Dispositionen sämtlicher nachgeordneter Ontologien von der *Top-level Ontologie* ableiten. Die *Enterprise Ontology* (EO) als Kernontologie ist davon unmittelbar

¹⁰⁴⁷ Poole/Mackworth (2010: 573, 576).

betroffen, da diese in jedem Integrationsszenario erst die eigentlich integrative, PPR-bezogene Funktion neben der fundamentalen TLO-Referenz übernimmt. Während die TLO-Referenz insbesondere die CPSS-Adäquanz garantiert, ist es bei der EO-Referenz im PPR-Sinne insbesondere die Gewährleistung der SEA-Adäquanz. Das Erfordernis der zwingenden *TLO-EO-Verkopplung* gilt insofern, als die EO-Kategorien nicht nur mit den fundamentalen TLO-Kategorien korrespondieren müssen, sondern vielmehr sind auch sämtliche meta-ontologischen Dispositionen der *Enterprise Ontology* (EO) aus ihrer arteigenen *Top-level Ontologie* systematisch abzuleiten, so dass ein tatsächlich kohärentes Ganzes entsteht. Jede sachgerechte Konzeption einer *Enterprise Ontology* (EO) muss also in allen Belangen auf eine adäquate *Top-level Ontologie* zur grundsätzlichen Fundierung referenzieren.¹⁰⁴⁸ Ein IoX-bezogener EO-Ansatz muss demnach auch auf einen IoX-adäquaten TLO-Ansatz referenzieren. Für das *U-PLM-Referenzszenario* folgt daraus, dass sich die PLM-Kernontologie (PLM-CO) entsprechend ebenfalls unmittelbar aus der *Top-level Ontologie* ableiten muss: Wie in Pkt. 1.5.2 erwähnt, ist die PLM-CO als *Enterprise Ontology* (EO) zu behandeln. Denn das Erfordernis der semantischen Interoperabilität geht über die in Abb. 1 dargestellten U-PLM-Phasen als wesentliche Haupt- bzw. Kernprozesse hinaus, indem es sich genauso auf die indirekten Bereiche erstreckt. Ontologien beziehen sich gewiss genauso auf andere, unmittelbar zusammenhängende Systeme wie ERP, SRM, SCM oder CRM bzw. auf das *Smart Factory Frontend*, also etwa auf Produktkonfiguratoren. Insofern lässt sich feststellen, dass die *PLM Core Ontology* (PLM-CO) durch die *Enterprise Ontology* (EO) absorbiert wird, letztere jedoch über erste wesentlich hinausgeht, indem sie sich auf die gesamte *Smart Enterprise Integration* (SEI) bezieht.

Zwar wird die Maßgeblichkeit der TLO-Referenz speziell in Enterprise-Kontexten zu- meist bereits an sich erkannt, allerdings kann von einer systematischen *TLO-EO-Verkopplung* dabei keine Rede sein. Das lässt sich in vielen Fällen belegen, etwa anhand der REA-EO als ältestem EO-Ansatz:¹⁰⁴⁹ Das beginnt damit, dass der Originalentwurf W. McCarthys (1982) weder eine solche TLO-Referenz vorsieht noch überhaupt an sich einen ontologischen Ansatz im eigentlichen Sinne darstellt. Von einer eigentlichen REA-EO kann streng genommen erst bei Geerts/McCarthy (1999, 2000, 2002) gesprochen werden,¹⁰⁵⁰ indem erst

¹⁰⁴⁸ Vgl. hierzu etwa Colomb (2002).

¹⁰⁴⁹ Bei W. McCarthy (1982) geht es noch nicht explizit um Ontologie; tatsächlich fällt dieser Begriff hier kein einziges Mal. Insofern kann hier streng genommen noch nicht von einer *Enterprise Ontology* gesprochen werden. Vielmehr geht es mit der konzeptuellen Modellierung, speziell dem ERM, um *Enterprise Modeling*. Da es allerdings bei W. McCarthy (1982) explizit um *semantische Datenmodelle*, um datenbankbasierte Informationssysteme sowie die Integration von AIS mit anderen komplexen IS geht, ist die EO-Perspektive bereits hier deutlich angelegt und entwickelt sich dabei von ähnlichen Grundlagen ausgehend gewissermaßen parallel zu der ebenso AIS-zentrierten BWW-TLO Wand/Webers (1988, 1989a, 1989b). Insofern ist die Rede vom "ältesten EO-Ansatz" nicht vermessen, gilt jedoch mit den genannten Einschränkungen. In diesem Sinne konstatieren auch Geerts/McCarthy (2002: 14): »There can be little doubt that the components of the original REA model fit the realm of ontology very well. Gruber (1993) says that 'An ontology is a specification of a conceptualization,' and the 1982 REA paper fits that definition almost perfectly«.

¹⁰⁵⁰ Die REA-EO geht zurück auf die Arbeiten von W.E. McCarthy (1982, 1999, 2003), Dunn/McCarthy (1997) sowie Geerts/McCarthy (1999, 2000, 2001, 2002, 2006) an der *Michigan State University*. Diese

hier die ontologische Fundierung des REA-Ansatzes vollzogen wird. Entsprechend findet sich auch seine TLO-Referenz erst bei Geerts/McCarthy (2000, 2002). Allerdings geht es auch dann nicht um eine echte, systematische TLO-Referenz im Sinne eines kategorialen Ableitens und Einhaltens meta-ontologischer Konformität als vielmehr um eine EO-Evaluierung auf TLO-Basis. Zum anderen zeigt sich dies daran, dass in dieser Sache die verschiedensten, indessen inkompatiblen TLO-Ansätze explizit zur REA-Evaluierung ins Spiel gebracht werden, nämlich nicht weniger als fünf höchst konträre TLO-Theorieanwärter, und zwar (i) Sowas (2000) Prozessontologie,¹⁰⁵¹ (ii) die BWW Substanzontologie,¹⁰⁵² (iii) die UFO-TLO,¹⁰⁵³ (iv) die SUMO-TLO,¹⁰⁵⁴ und schließlich (v) die BORO-TLO.¹⁰⁵⁵

Dieser Zusammenhang besteht selbstverständlich auch auf der methodologischen Ebene: das gilt in Bezug auf Produktmodelle etwa dahingehend, dass die Semantik von Modellierungssprachen wie UML zu hinterfragen ist.¹⁰⁵⁶ Indem insbesondere die Prozesse bzw. Workflows für das *Smart Enterprise* konstituierend sind, spielen diese Fragen vor allem auch bei den BPM-Prozessmodellen bzw. Prozessontologien eine zentrale Rolle. Den engen Zusammenhang, der zwischen EO, Semantischem BPM (SBPM), darauf Bezug nehmenden Semantischen Web Services und SOA-basierter *Enterprise Architecture* einschließlich einer TLO-Referenz besteht, verdeutlicht die SUPER-EO. Dieser EO-Ansatz stellt das Resultat eines dreijährigen EU-Projekts dar, das in den Jahren 2006 bis 2009 durch SAP koordiniert wurde.¹⁰⁵⁷ »SUPER [...] proposes to combine Semantic Web Services and business processes in order to create one consolidated technology, termed Se-

Arbeiten werden später durch Geerts an der *University of Delaware* fortgesetzt, vgl. Geerts (2004, 2006, 2008) sowie Geerts/Wang (2007). Im Zuge einer wissenschaftlichen Kooperation mit der *Universität Gent/Belgien* wird die REA-EO durch Gailly, Poels sowie Laurier erweitert bzw. modifiziert, vgl. Gailly/Poels (2005), Laurier/Poels (2008, 2009b). Desweiteren wird der REA-Ansatz auch durch eine größere Zahl Dritter aufgegriffen, für die unterschiedlichsten Zwecke angewandt oder in verschiedenster Hinsicht diskutiert, vgl. etwa Hruby (2006), Johannesson et al. (2008), Sicilia/Mora (2010), B. Andersson et al. (2012), Mayrhofer/Huemer (2012) oder Zygala (2012).

¹⁰⁵¹ Vgl. Geerts/McCarthy (2002) sowie Gailly et al. (2008: 223). Mit Gailly/Poels (2010) sind sämtliche REA-Konzepte Spezialisierungen von Konzepten der Sowa-TLO, wobei diese wiederum maßgeblich auf der Whiteheadschen Prozessontologie gründet. Damit wären die REA-Events eigentlich als prozessuale 4D-Ereignisse zu interpretieren. Indessen ist bereits die Sowa-TLO insgesamt als inkonsistent zu werten.

¹⁰⁵² Vgl. Tegarden et al. (2013). Hier sollte nicht übersehen werden, dass sich auf dieser Basis REA-Events im 3D-Sinne immer allein auf "Dinge" als Träger beziehen können, vgl. hierzu Wand/Weber (1988: 214). Allerdings liegt die Wahl der BWW-TLO zur Evaluierung der REA-EO insofern nahe, als die BWW-TLO ebenso wie die REA-EO explizit im AIS-Kontext entwickelt worden ist. Sie bauen dabei nicht nur partiell auf gleichen Grundlagen auf, sondern R. Weber bzw. W. McCarthy stehen in direktem Austausch: W. McCarthy (1982) verweist bereits auf entsprechende Arbeiten R. Webers, die als Vorarbeiten zum BWW-Ansatz zu werten sind, während auch umgekehrt R. Weber (1986) sich eingehend mit der REA-EO auseinandersetzt.

¹⁰⁵³ Guizzardi/Wagner (2004) evaluieren die REA-EO auf Basis ihrer UFO-TLO und bescheinigen dieser dabei in kritischer Analyse mangelnde ontologische Eindeutigkeit (Ontological Clarity).

¹⁰⁵⁴ W. McCarthy (2005) versucht selbst eine Evaluierung anhand der SUMO-TLO; zu den offenen Forschungsfragen, die er dabei anspricht, gehören meta-ontologische Aspekte wie der in Pkt. 6.2.5 diskutierte Gegensatz des *Endurantismus* vs. *Perdurantismus*; vgl. hierzu auch De Cesare/Geerts (2012).

¹⁰⁵⁵ Vgl. De Cesare/Partridge (2016).

¹⁰⁵⁶ Vgl. Recker/Zur Mühlen et al. (2009); vgl. hierzu ferner Thimm et al. (2006).

¹⁰⁵⁷ Vgl. Fensel et al. (2011: 304).

semantic Business Process Management (SBPM) [...]«.¹⁰⁵⁸ Die *Business Process Modelling Ontology* (BPMO) ist ein Teil von SUPER;¹⁰⁵⁹ ein anderer besteht in der *Upper-level Process Ontology* (UPO), die wiederum auf die DOLCE-TLO referenziert.¹⁰⁶⁰ Und auch hier gilt, dass die SUPER-EO nicht unmittelbar aus der DOLCE-TLO entwickelt wurde, sondern ein separates Projekt jenseits der DOLCE-Entwickler bildet, bei dem lediglich bei einer Teilontologie nachträglich die TLO-Referenz auf DOLCE vollzogen wird. Dabei ist evident, dass es sich nicht um ein kohärentes Ganzes handelt, das tatsächlich in fundamentaler Hinsicht durch und durch auf der gleichen Basis steht. Doch genau darum muss es im Zeichen einer kombinierten CPSS/SEA-Adäquanz gehen.

Die *TLO-EO-Verkopplung* ist wiederum vor dem Hintergrund des im folgenden Pkt. 2.5 erörterten PPR-Frameworks zu sehen, und dabei vor allem auch im Hinblick auf die Prozessdimension. Denn dann geht es um Ereignisse, Prozesse, Agenten usw., die mit der Universalität des BPM-Gedankens auch entsprechend universale Kategorien zu verkörpern haben. Zudem läuft die Zukunft des BPM-Ansatzes auf seine IoX-Kombination hinaus, indem Prozesse ohne physische bzw. virtuelle Sensorik immer mehr zur Ausnahme werden. Das ist wiederum vor dem Hintergrund des *Real-Time Enterprise* (RTE) zu sehen. Denn dieses geht nicht erst auf den IoT-Gedanken zurück, sondern findet seine Entstehungsgeschichte wiederum im BPM-Umfeld, wo es konkret mit dem *Business Activity Monitoring* (BAM) zusammenhängt. Auf Basis des PPR-Frameworks wird also das RTE-Konzept gewissermaßen um zwei Dimensionen erweitert, nämlich um die Produktdimension (PEID) und die Ressourcendimension (Smart Factory Ressourcen usw.). Somit wird das BAM um ein *IoX-Monitoring* ergänzt, das sich auf "*Things*" bezieht, womit sich das *RTE Monitoring* schließlich als Totalansatz auf SEA/SEI-Basis auf alle drei PPR-Dimensionen erstreckt. Insofern Prozesse und Services dabei einen Kernaspekt bilden, spielen auch die Notationen zur Prozessmodellierung eine Rolle, indem sie direkt mit den SEA/SEI-Anforderungen zusammenhängen. Ohne sachgerecht konzipierte Prozessmodelle bzw. PPR-Modelle ist der RTE-Gedanke nicht realisierbar, was genauso für die erforderliche Kombination von Prozess- und Wissenssystemen gilt. Dabei steht außer Zweifel, dass alles auf der gleichen, CPSS-adäquaten Semantik aufzubauen hat, womit sämtliche Entitäten auf dem Wege der TLO-Referenz auf Konformität zu prüfen sind.

Mit De Nicola et al. (2007) gibt es drei Methoden, in deren Rahmen sich eine ontologische Fundierung der Prozessmodellierung abspielen kann: (i) *deskriptive Methoden* mit ebensolchen Ansätzen wie etwa UML AD; (ii) *prozedurale Methoden* mit ebensolchen Ansätzen wie etwa BPEL;^{1061, 1062} (iii) *formale Methoden* mit entsprechenden Ansätzen wie

¹⁰⁵⁸ Vgl. Fensel et al. (2011: 307).

¹⁰⁵⁹ Vgl. hierzu Dimitrov et al. (2007), Pedrinaci/Domingue (2007), Pedrinaci et al. (2008b) sowie Cabral/Norton/Domingue (2009).

¹⁰⁶⁰ Vgl. Pedrinaci/Domingue (2007).

¹⁰⁶¹ Jenseits von BPMN2 werden modellierte Prozesse erst auf Basis von XPDL oder BPEL als Workflows ausführbar. BPEL ist eine XML-basierte Ausführungssprache, auf deren Grundlage die vorhandenen Services der SOA-Plattform zu komplexen Applikationen orchestriert werden können. Entsprechend ba-

PSL oder Petri-Netzen. Demgegenüber berührt BPMN2 mittlerweile alle drei Gruppen, indem diese Notation deskriptiv ist, als Workflow-Engine prozedural und insgesamt als semi-formal zu werten ist. Indem die Möglichkeiten zur semantischen Spezifikation auf Basis von BPMN2 zugenommen haben, wird es möglich in Bereiche wie die MES-Prozessmodellierung vorzustoßen,¹⁰⁶³ die in der erforderlichen Exaktheit bislang vor allem formalen Methoden wie PSL oder Petri-Netzen vorbehalten waren.¹⁰⁶⁴ Vor diesem Hintergrund steht außer Frage, dass echte Prozessintelligenz eine umfassende Ontologieunterstützung von Prozessen voraussetzt. Dabei geht es etwa um semantische BPMN-Prozessmodelle (sBPMN),¹⁰⁶⁵ um semantische EPC-Prozessmodelle (sEPC),¹⁰⁶⁶ um semantische BPEL-Modelle (sBPEL),¹⁰⁶⁷ oder aber um solche, die auf der Semantik von Petri-Netzen aufbauen;¹⁰⁶⁸ hierzu gehört etwa auch YAWL.¹⁰⁶⁹ Oftmals stehen diese wiederum mit den EO-Ansätzen in Verbindung, etwa mit den Teilontologien BPMO und UPO der *SUPER-EO*, die ihrerseits wiederum auf die DOLCE-TLO referenziert.¹⁰⁷⁰ Die Realisierung des *Smart Enterprise* erfordert eine Präzisierung der Semantik sämtlicher Modellierungssprachen und Notationen,¹⁰⁷¹ die im Zuge der konzeptuellen Modellierung der diversen Teilm Modelle des Enterprise Models (EM) zum Einsatz kommen. Im Sinne des SEA-Frameworks haben sie allen Anforderungen der CPSS-adäquaten *TLO-EO-Verkopplung* zu entsprechen.

Zu Recht fordern Correia/Brito e Abreu (2012) die Präzisierung insbesondere der BPMN-Semantik ein, um die semantische Ambiguität zu mindern. Denn die BPMN-Notation stellt mittlerweile den de-facto Standard dar.^{1072, 1073} Dabei steht außer Frage, dass für diese nicht nur die TLO-Referenz, sondern auch die EO-Referenz gleichermaßen erforderlich ist. Bzgl. der EO-Referenz haben Van Nuffel et al. (2009) bereits eine Referenz auf die DEMO-EO ins Spiel gebracht, die ihrerseits wiederum auf die Systemontologie Bungen

sieren die meisten PLM-Softwarelösungen anfänglich auf BPEL resp. unterstützen sie diesen Standard, vgl. etwa IBM (2008a), PTC (2008b) oder Oracle (2009b, 2012b); vgl. hierzu auch CIMdata (2006). Allerdings eröffnen sich mit BPMN2 neue Möglichkeiten. Sowohl EPC als auch BPMN lassen sich in BPEL transformieren. Dabei besteht eine größere Übereinstimmung zwischen BPMN und BPEL als zwischen EPC und BPEL. Eine BPMN-BPEL Übersetzung ist zwar möglich, vgl. etwa Ouyang et al. (2007), Norton (2009) sowie Mazanek/Hanus (2011); indessen ist sie nicht unproblematisch, vgl. Recker/Mending (2006). Entsprechend ist es nur bedingt zutreffend wenn Rezgui et al. (2011) die Ansicht vertreten, dass sich BPMN und BPEL in idealer Weise ergänzen.

¹⁰⁶² Wieland et al. (2008) modellieren *Smart Workflows* bei Kontextintegration der *Smart Factory* mit BPEL.

¹⁰⁶³ Vgl. hierzu etwa Ricken/Vogel-Heuser (2010).

¹⁰⁶⁴ Vgl. hierzu etwa Qiao et al. (2011).

¹⁰⁶⁵ Vgl. hierzu Abramowicz et al. (2007), Pedrinaci et al. (2008b), Fensel et al. (2011) sowie Garcia-Crespo et al. (2011).

¹⁰⁶⁶ Vgl. Pedrinaci et al. (2008b) sowie Fensel et al. (2011).

¹⁰⁶⁷ Vgl. hierzu etwa die *m3po* von Haller et al. (2006a, 2006b); vgl. auch Fensel et al. (2011).

¹⁰⁶⁸ Vgl. etwa Gasevic/Devedzic (2006) sowie J.C. Vidal et al. (2010).

¹⁰⁶⁹ Vgl. dazu Van der Aalst/Ter Hofstede (2005).

¹⁰⁷⁰ Vgl. Pedrinaci/Domingue (2007) sowie Fensel et al. (2011).

¹⁰⁷¹ Das wird bspw. an der IDEF-Sprachfamilie deutlich; während IDEF0, IDEF1, IDEF3 oder IDEF4 alleamt eine dezidierte Semantik aufweisen, zielt IDEF1X unmittelbar auf die Entwicklung semantischer Datenmodelle und IDEF5 auf die Entwicklung von Domänenontologien.

¹⁰⁷² Vgl. hierzu überblicksartig Chinosi/Trombetta (2012).

¹⁰⁷³ Dabei spiegelt sich die Diffusion der jeweiligen Notation in der Unterstützung durch gängige BPM-Tools wie ARIS wider, vgl. hierzu etwa Scheer/Schneider (2006).

referenziert: »Our main source is the ontology of Mario Bunge [...]«.^{1074, 1075} Indessen wird nicht nur mit dem vierten und fünften Teil deutlich werden, dass die Metaphysik Bunes dem Kriterium der CPSS-Adäquanz gerade nicht entspricht. Auf Bunes Grundlage sieht Dietz (2006b) ferner die Notwendigkeit zwischen *world ontology* und *system ontology* zu differenzieren, was indessen sowohl mit einem einheitlichen Ontologieverständnis als auch mit einer integrierten Ontologiekonzeption nicht zu vereinbaren ist. Die Informatik bedarf indessen einer durchgängigen *Systemontologie*. Im vierten Teil wird deutlich werden, dass dieser Defekt in der Whiteheadschen Prozessmetaphysik vermieden wird, indem diese im Zeichen eines universalen Strukturalismus steht. Vielmehr ist auch die EO-Referenz aus dem Grunde defekt, als die DEMO-EO einseitig auf das Moment der konzeptuellen Modellierung fixiert ist,¹⁰⁷⁶ während die EO-Referenz im Zeichen einer integrierten CM- und AI-Ontologiekonzeption stehen sollte. Das bedeutet nicht zuletzt, dass die EO-Architektur tatsächlich einerseits CPSS/SEA-adäquat, andererseits MAS/CAS-adäquat zu sein hat. Indessen ist dies bei der DEMO-EO nicht der Fall, indem diese auf der falschen metaphysischen Basis aufsetzt und auch ansonsten nicht adäquat konzipiert ist.¹⁰⁷⁷ In ihrem einseitigen CM-Fokus unterstreicht die DEMO Methodik zur *Enterprise Ontology* die soziale Natur von Organisationen und stellt entsprechend menschliche Subjekte in ihrer Rolle als soziale Subjekte in den Mittelpunkt der Betrachtung.¹⁰⁷⁸ Wenn diese Subjekte in der DEMO Methodik zwei Handlungsarten verrichten, nämlich *Produktionsakte* (P-acts) und *Koordinationsakte* (C-acts),¹⁰⁷⁹ wäre es sinnvoller gewesen, eine universale EO-Konzeption für sämtliche Agentenklassen zu schaffen. Allerdings ist auch dies auf Basis der Buneschen Ontologie nicht einzulösen.

Der durch Correia/Brito e Abreu (2012) geforderten Präzisierung der BPMN-Semantik wurde bereits in einem ersten Schritt nachgekommen, indem diese Semantik im Zuge einer

¹⁰⁷⁴ Vgl. Dietz (2006b: 9); vgl. ferner Dietz/Habing (2004: 534).

¹⁰⁷⁵ Dietz sieht letztere maßgeblich auf Bunge (1977a) aufbauend, während DEMO selbst insbesondere auf dem Systemismus Bunes (1979a) aufsetzt, vgl. Dietz/Habing (2004). Konkret gründet die Systemsicht von DEMO auf der ontologischen Systemdefinition Bunes, vgl. Dietz (2001: 359).

¹⁰⁷⁶ DEMO lässt sich hierbei mit UML kombinieren, vgl. Mallens/Dietz/Hommes (2001).

¹⁰⁷⁷ Aus Sicht von Dietz (2006b: 5) baut eine vollständige EO auf vier verknüpften Teilmodellen auf: (i) dem *Construction Model* (CM), dessen erster Teil im *Interaction Model* (IAM) und dessen zweiter Teil im *Interstriction Model* (ISM) besteht, (ii) dem *Action Model* (AM), (iii) dem *Process Model* (PM) sowie (iv) dem *State Model* (SM) [bei DEMO-3 umbenannt in *Fact Model* (FM)]. Diese vier Teilmodelle werden primär repräsentiert durch folgende Diagramme: ad (i) *Organisation Construction Diagram* (OCD), bzgl. IAM: *Actor Transaction Diagram* (ATD) sowie *Transaction Result Table* (TRT), bzgl. ISM: *Actor Bank Diagram* (ABD) sowie *Bank Contents Table* (BCT), ad (ii) *Action Rule Specifications* (ARS), ad (iii) *Process Structure Diagram* (PSD) sowie *Information Use Table* (IUT), ad (iv) *Object Fact Diagram* (OFD) sowie *Object Property List* (OPL). Vgl. zum Modellierungsprozess im Einzelnen Dietz (2006b: 139 ff.). DEMO zielt unter anderem wesentlich auf die Prozessmodellierung, vgl. Dietz (1999, 2006c) sowie Mallens/Dietz/Hommes (2001). Bezogen auf das DEMO-PM sieht Dietz (2006b: 183) einen scharfen Kontrast zu gängigen Notationen wie Petri-Netzen oder EPC, wobei er das DEMO-PM für aussagekräftiger hält. Bereits diese Differenzierung der Modelle resultiert unmittelbar aus der metaphysischen Basis Bunes; auf Grundlage einer Prozessmetaphysik wäre diese Differenzierung hinfällig.

¹⁰⁷⁸ Vgl. Dietz (2006c: 60).

¹⁰⁷⁹ Ibid.

Reihe von Arbeiten analysiert und geklärt wurde.¹⁰⁸⁰ Auch speziell der Interoperabilitätsaspekt von BPMN ist bereits von verschiedener Seite untersucht worden.¹⁰⁸¹ Natschläger (2011) sowie Rospocher et al. (2014) haben schließlich die BPMN-Spezifikation formal-ontologisch repräsentiert. Im Zuge der Analyse der BPMN-Semantik werden BPMN-Modelle zuweilen ontologisch als ambig, inkonsistent bzw. unvollständig erachtet.¹⁰⁸² Indem nicht nur operative Prozesse auf BPMN-Basis etwa im Kontext des SAP NetWeaver orchestriert, sondern zunehmend auch kritische Prozesse auf BPMN-Basis modelliert werden, wird deutlich, dass insbesondere die Frage der fundamentalen Ontologie zu klären ist. Das betrifft auf Grundlage entsprechender Erweiterungen bspw. die Modellierung CPPS-basierter Produktionsprozesse *Smart Factory*,¹⁰⁸³ konkret etwa im Rahmen der MES-Modellierung.¹⁰⁸⁴ Ghidini et al. (2009) erkennen die zentrale Bewandnis des Ontologieaspekts und adressieren die Frage der TLO-Referenz der BPMN-Ontologie. Das ist gerade vor dem Hintergrund relevant, dass BPMN2 auf die direkte Ausführung von Prozessen angelegt ist,¹⁰⁸⁵ die sich bei Cyber-physischen Systemen (CPS) wie den CPPS der *Smart Factory* schließlich unmittelbar in der Realität bewegen. Dann ist evident, dass es dabei im Zuge der TLO-Referenz insbesondere auch darum gehen muss, die Stabilität der Prozessintelligenz im Sinne von Heavyweight-Ontologien abzusichern. Wenn die BPMN-Notation bereits auf die unterschiedlichsten TLO-Theorieanwärter bezogen wird, geht es vor allem um die ontologische Evaluierung ihrer Semantik: Recker/Indulska et al. (2005) nutzen etwa die BWW-TLO zur Evaluierung von BPMN1. Sanfilippo/Borgo/Masolo (2014a, 2014b) ziehen demgegenüber eine Evaluierung von BPMN2 auf Basis der DOLCE-TLO vor. Guizzardi/Wagner (2011) untersuchen auf Basis der UFO-TLO, ob sich die BPMN-Notation als Grundlage für realitätsbezogene Simulationsmodelle heranziehen lässt. Bereits Ghidini et al. (2009) haben die Vereinbarkeit der Axiome von BPMN und DOLCE untersucht. Um einen BPMN-kompatiblen TLO-Ansatz zu identifizieren, evaluiert Penicina (2013) folgende fünf TLO-Theorieanwärter: die BFO-TLO, die Sowa-TLO, die BWW-TLO, die SUMO-TLO sowie die Cyc UCO. Dabei kommt Penicina (2013) zum Schluss, dass das BPMN2-Metamodell am besten durch die BWW-TLO unterstützt würde.

Wie bereits zuvor Hagengruber/Schauer (2002), bringen auch Ceusters/Smith (2007) in Kritik verschiedener bestehender EO-Ansätze wie der REA-EO ihre BFO-TLO ins Spiel, um ausgehend von dieser einen neuen EO-Ansatz, nämlich im Grunde eine "*BFO-EO*", zu entwickeln. Ungeachtet der schwerwiegenden Defekte der BFO-TLO ist dieses Vorgehen unter dem OE-Ansatzpunkt richtig: Die *Enterprise Ontology* (EO) ist nämlich als Kernon-

¹⁰⁸⁰ Vgl. etwa Recker/Indulska et al. (2006), Abramowicz et al. (2007), Dijkman et al. (2008), Wong/Gibbons (2008, 2009, 2011), Recker/Zur Mühlen et al. (2009), Recker/Rosemann (2010) sowie Recker (2011). Diese Analysen vollziehen sich zuvorderst auf Basis der BWW-TLO.

¹⁰⁸¹ Vgl. etwa Chapurlat/Roque (2010), Mallek et al. (2011), Huber et al. (2011) sowie Zinnikus et al. (2011).

¹⁰⁸² Vgl. Van Nuffel et al. (2009).

¹⁰⁸³ Vgl. etwa Zor et al. (2010, 2011) sowie Prades et al. (2013).

¹⁰⁸⁴ Vgl. hierzu Ricken/Vogel-Heuser (2010), Witsch/Vogel-Heuser (2011) sowie Michalik et al. (2013).

¹⁰⁸⁵ Vgl. etwa Awad/Sakr (2012) sowie Van Gorp/Dijkman (2013).

tologie (CO) systematisch ausgehend vom TLO-Fundament zu begründen. Mit anderen Worten ist zunächst dieses TLO-Fundament zu schaffen, um auf dieser Basis unter integrativen SEA/SOA-Gesichtspunkten die Konzeption der *Enterprise Ontology* (EO) in Angriff zu nehmen. Die bisherige EO-Ontologiepraxis wird diesem grundsätzlichen Erfordernis indessen nicht gerecht, da es entweder keine TLO-Referenz gibt oder aber nur eine nachgelagerte. Auf diese Weise kann ein EO-Ansatz weder dem Integrationsziel noch dem semantischen Interoperabilitätsziel gerecht werden. Beides erfordert eine *transdisziplinäre* Konzeption der Kategorien, die eine *universale Ontologie* als Wurzel voraussetzt.

Insgesamt wird deutlich, dass *Closed-loop U-PLM-Systeme* als Referenzszenario nicht nur ihre unmittelbare Bewandnis für die Selektion der TLO-Theorieanwärter, sondern genauso für die der EO-Theorieanwärter besitzen, womit die folgenden zehn Hypothesen für ein *Ontology Engineering* (OE) leitend sind, das an der *TLO-EO-Verkopplung* festmacht:

- H1. Indem inzwischen nahezu sämtliche Ontologiefragen der Informatik auf der Grundlage von *Web Technologie* stehen, lassen sie sich in allgemeingültiger Weise bzw. in universaler Anwendbarkeit nur vor dem Hintergrund des *Internet of Everything* (IoX) erörtern. Insofern ist sowohl der Diskurs um die *Top-level Ontologie* (TLO) wie auch der *Enterprise Ontology* (EO) auf das *Internet of Everything* (IoX) zu beziehen. Das läuft damit insgesamt auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hinaus.
- H2. IoX-Systeme basieren auf *Web Services* (WS) und *Service-Oriented Computing* (SOC), das im Sinne einer "*General Service Architecture*" immer unter dem Regime des Pragmatic Web steht: Prozesse und Services sind immer kontextbezogen zu modellieren bzw. zu definieren, womit ein *IT-Business-Alignment* verpflichtend wird. Dieses ist im Sinne von Nutzen bzw. Zielen der Agenten und damit kontextabhängiger Funktionen einerseits, und dem *Commitment-Based SOA* (CSOA) andererseits universal für alle IoX-Kontexte zu verstehen. D.h. insbesondere auch, dass Nutzen bzw. Ziele für natürliche wie maschinelle Agenten gelten, womit das CSOA zur universellen Gültigkeit zwingend auf MAS-Kontexte zu beziehen ist, die für IoX/SOC-Systeme an sich konstituierend sind.¹⁰⁸⁶ Im Zuge der agentenbasierten MAS-Adaption und ihrer Interaktion ist jedes MAS ein CAS, was den Umstand unterstreicht, dass jedes IoX-System als *komplexes* IoX-System zu verstehen ist. Das hat wiederum zur Konsequenz, dass jede sachgerechte Diskussion der Ontologiefrage sich auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* erstrecken sollte. In Bezug auf die IoT-Komponente geht es um *physisch-reale* Dinge, womit neben der MAS/CAS-Implication die CPSS-Adäquanz als dritte Komponente von IoX-Systeme

¹⁰⁸⁶ Vgl. etwa Bendoukha (2014), Fähndrich et al. (2014), P. Gonzalez et al. (2014) und J. Shen et al. (2014).

men zu identifizieren ist. Die *physisch-realen* Dinge werden somit dadurch komplettiert, dass es auch bei der IoS-Komponente um *reale* Services geht.

- H3. Der einwandfreie Vollzug aller *Services* lässt sich für SOA-basierte IoX-Systeme im Sinne der "*General Service Architecture*" nur dann gewährleisten, wenn ihr Design in den Kontext der Enterprise Architecture gestellt wird, die in IoX-Kontexten immer als *Smart Enterprise Architecture* (SEA) zu verstehen ist. Indem sich der Qualitätsgrad der Services unmittelbar mit dem SEA-Integrationsgrad korreliert zeigt, geht es bei der Realisierung einer adäquaten Zielarchitektur immer um die *Smart Enterprise Integration* (SEI). In dieser ist der Nukleus SEA-basierter IoX-Systeme auszumachen, während ihr laufender Vollzug ein *Enterprise Engineering* eröffnet.
- H4. Für den SEA/SEI-Vollzug ist die *Enterprise Ontology* (EO) zentral, auf der in gleicher Weise die "*General Service Architecture*" gründet. Heute sind zum einen *EA Ontologies*, zum anderen *Web Service Ontologies* gängig. Zum SEI-Vollzug ist für diese entsprechend eine EO-Referenz erforderlich. Das gilt insbesondere insofern, als sich die Beschreibung SOA-basierter *Web Services* im Sinne des erforderlichen "*Unified View of Services*" auf das Diskursuniversum (UoD) zu beziehen hat. Dabei transzendiert es regelmäßig im CPS-Sinne physisch-reale Welten wie Cyberwelten. Generell hat die EO wiederum auf die TLO zu referenzieren,¹⁰⁸⁷ womit für IoX-Systeme die *TLO-EO-Verkopplung* verpflichtend ist.
- H5. Die Maßgeblichkeit der *Enterprise Ontology* (EO) zeigt sich auch darin, dass jedes IoX-System im Zeichen der Sensorik bzw. Aktorik auf das für IoT-basierte *Product Systems* (PEID) wie für IoS-zentrische *Service Systems* gleichermaßen charakteristische *Realtime IoT/IoS Monitoring* (Pkt. 2.5) hinausläuft. Damit ist jedes IoX-System im Sinne von Haeckels *Sense-and-Respond Model* zu verstehen, das eine *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) voraussetzt. Indem im Zeichen der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) alle Daten in Echtzeit zu verarbeiten und im Sinne der Informationsfusion (HLIF) zu Wissen zu verdichten sind, läuft dies wiederum auf die *Smart Enterprise Integration* (SEI) hinaus.¹⁰⁸⁸ Umgekehrt ist ein *Realtime IoT bzw. IoS Monitoring* unmöglich, wenn nicht alle Systeme, Applikationen, Daten und Prozesse umfassend integriert sind. Somit handelt es sich bei jedem IoX-System im

¹⁰⁸⁷ Vgl. hierzu Mika/Oberle et al. (2004), insbes. p. 563, die in dieser Sache die DOLCE-TLO bemühen, während die TLO-Referenz der REA-EO in der Sowa-TLO bzw. der BORO-TLO besteht. Damit kommt wiederum das *Inkommensurabilitätsproblem* als Kernproblem zum Tragen.

¹⁰⁸⁸ In der Diskussion um BDA-Plattformen werden diese EA/EI/EO-Aspekte selten bis gar nicht bedacht, vgl. exemplarisch Bohlouli et al. (2013). Auf der KR-Ebene sind jedoch genau diese Aspekte von Relevanz, um in RTE-Umgebungen die unterschiedlichsten KPIs miteinander in Bezug setzen zu können. Indem die BDA-Aspekte systematisch im SEI-Kontext zu entwickeln sind, läuft dies auf eine *Value Chain for Big Data* hinaus, vgl. H.G. Miller/Mork (2013).

CPS-Sinne um ein *Sensing Enterprise*, das unter CAS/MAS-Gesichtspunkten mit Haeckel ein *Adaptive Enterprise Design* verlangt. Somit lässt sich im SEA/SEI-Sinne bei IoX-Systemen universal vom *Real-Time Enterprise* (RTE) sprechen, auch wenn sich solche Systeme nicht auf ein "Enterprise" im engeren Sinne beschränken. Mit den Nutzen- und Zielaspekten des SOA-basierten Serviceparadigmas geht es jedoch immer um ein "Enterprise" im weiteren Sinne, also um private wie öffentliche Organisationen bzw. Institutionen als Regelgefüge jedweder Art.¹⁰⁸⁹ Der engere, eigentliche (kommerzielle) Enterprise-Kontext ist jedoch insofern der entscheidende, als im EA-Gesamtszenario eine Reihe typischer Kern-Applikationen in den SEI-Vollzug mit einzubeziehen sind. In SAP-Kontexten sind dies etwa zuvorderst die transaktionsorientierten ERP-Systeme, deren WS/SOA-basierte RTE-Fundamente unter Maßgabe des *Sensing Enterprise* auf Grundlage einer *Extended Enterprise Architecture* (E2A) zu konzipieren sind.¹⁰⁹⁰ Sie sind also im Sinne flexibler Adaption organisationsübergreifend zu verankern. *Closed-loop U-PLM-Systeme* beziehen typischerweise die gesamte Supply Chain mit ein.

- H6. Ontologie in SEA/SOA-Kontexten ist insofern als technologische bzw. praktische Ontologie zu verstehen, als das *Sensing Enterprise* im Allgemeinen nicht mehr als eine cyber-physische Form ontologiebasierter Informationssysteme (ODIS) verkörpert. IoX-Systeme erstrecken sich demgegenüber nicht nur auf den IS-Aspekt, sondern auch den KS-Aspekt, also auf Wissenssysteme. Dabei sind diese in der Ontologiediskussion nicht nur im Zeichen der *Semantic E-Sciences* als solche zu berücksichtigen, sondern vor dem Hintergrund der *Smart Enterprise Integration* (SEI) insbesondere in ihrem ODIS-Zusammenspiel. Der SEI-Vollzug hat sich damit am Gedanken der IS/KS-Kombination zu orientieren, der in praxi zunehmend eingefordert wird.¹⁰⁹¹ Dann sind wissenschaftliche, technologische und praktische Ontologien als interdependent zu erachten, was für eine universale Ontologiedefinition wie für das Ziel einer integrierten Ontologiekonzeption maßgeblich ist. Gleichzeitig gilt damit, dass die *Top-level Ontologie* in ihrer Eigenschaft als universale Ontologie auch alle drei Ontologietypen gleichzeitig zu berücksichtigen hat. Diese Forderung wird mit samt ihrer umfangreichen Konsequenzen in der bisherigen TLO-Debatte kaum bedacht.
- H7. Neben der Interdependenz der drei Ontologietypen besteht auch eine Interdependenz der in Pkt. 3.3.1 behandelten Ontologiearten. Ein SEI-Vollzug im

¹⁰⁸⁹ Nicht umsonst liegen die Ursprünge der EA-Frameworks in ganz anderen Bereichen, nämlich in den Verwaltungen von Regierung und Militär, was etwa mit dem *DoDAF Architecture Framework* nach wie vor gilt. Der Term "*Enterprise Architecture*" ist insofern leicht irreführend, da universal auszulegen.

¹⁰⁹⁰ Vgl. Karnouskos et al. (2009).

¹⁰⁹¹ Vgl. etwa Merrill (2007).

Sinne der Realisierung einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität ist nur dann möglich, wenn nicht nur alle Ontologietypen, sondern auch alle Ontologiearten durchgängig konzipiert sind. Das lässt sich wiederum auch hier allein auf Basis einer einheitlichen TLO- bzw. EO-Referenz gewährleisten, wenn etwa Aufgaben- oder Methodenontologien (TO, MO) die gleichen fundamentalen Kategorien voraussetzen haben und von den gleichen meta-ontologischen Dispositionen ausgehen müssen wie Domänenontologien (DO). Auf Basis widersprüchlicher fundamentaler Kategorien oder meta-ontologischer Annahmen ist eine vollumfängliche semantische Interoperabilität nicht zu bewerkstelligen.

- H8. Im Zuge der IS/KS-Kombination wird deutlich, dass bei komplexen IoX-Systemen von einer *Interdependenz aller Ontologien* auszugehen ist. Letztlich hängen alle Systeme, Applikationen, Daten und Prozesse eines IoX-Szenarios mehr oder weniger direkt zusammen. Somit kann es im Zuge der *Smart Enterprise Integration* (SEI) zur Realisierung einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität im EA-Sinne nur um das große Ganze gehen. Es geht also um das Gesamtszenario, das sich durch IoS- wie IoT-Aspekte genauso wie durch weitere Ontologieaspekte bedingt zeigt. Erst vor dem Hintergrund des IoX-Totalszenarios lässt sich die Frage der gesamten Ontologiearchitektur bis hin zum *Ontology Engineering* (OE) einzelner Ontologien sachgerecht bestimmen. Gleichmaßen hat dies zur Konsequenz, dass die in Pkt. 3.3.1 behandelte OE-bezogene Ontologieklassifikation an sich nur vor dem Hintergrund des IoX-Totalszenarios vorgenommen werden kann. Das betrifft insbesondere den Aspekt der zwingenden *TLO-EO-Verkopplung*, deren Nichtbeachtung das defekte OE-Design manchen TLO-bzw. EO-Theorieanwärters bereits erklärt. Damit hat sich die Ontologiedebatte auf das *IoX-Totalmodell* zu beziehen, nicht etwa auf isoliert betrachtete technologische bzw. praktische *WS-Ontologies* bzw. *EA-Ontologies* einerseits, oder *Scientific Ontologies* und dergleichen mehr andererseits. Denn mit den *Semantic E-Sciences* stehen auch die *Scientific Ontologies* regelmäßig im SOA-Paradigma.¹⁰⁹² Das gilt auch insofern, als sich das *Scientific Computing* vermehrt als *Cloud Computing* bzw. *Grid Computing* darstellt, also auf einer Architektur verteilter Systeme gründet, die wiederum im Allgemeinen SOA-basiert ist,¹⁰⁹³ und damit auf das MAS/SOC-Paradigma hinausläuft.¹⁰⁹⁴ Somit gilt es insgesamt zu berücksichtigen, dass ein TLO-Ansatz als oberste Ontologieebene nicht lediglich für die Referenzierung von *Scientific Ontologies* zuständig ist. Vielmehr ist er gerade dazu da, dass sämtli-

¹⁰⁹² Vgl. De Roure/Goble (2010), H.B. Lim et al. (2010), M.S. Marshall et al. (2010), P. Zhao et al. (2010) sowie Bosin et al. (2011, 2013).

¹⁰⁹³ Vgl. etwa Gannon et al. (2007).

¹⁰⁹⁴ Vgl. Jonquet et al. (2008).

che Ontologien, also auch etwa *Task Ontologies* auf diese referenzieren und der TLO-Ansatz als universale Ontologie dabei die transdisziplinäre Orchestrierung übernimmt. Diese wesentlichen Zusammenhänge werden insbesondere durch Smithens BFO-TLO nicht in der erforderlichen Weise reflektiert, indem diese sich fast ausnahmslos der Problematik der *Scientific Ontologies* widmet. Dabei werden jedoch weder die IoX-Belange noch die weiteren Erfordernisse des *Scientific Computing* berücksichtigt. Dann aber ist die TLO-Struktur ganz offensichtlich nicht universal konzipiert.

- H9. Das TLO-Inkommensurabilitätsproblem, das im Sinne der TLO-EO-Verkopplung letztlich zugleich das EO-Inkommensurabilitätsproblem mit umfasst, resultiert maßgeblich daraus, dass die verschiedensten Ontologieaspekte bisher immer isoliert betrachtet werden: die Diskussion von *WS-Ontologies* und ihre TLO-Referenz hat schon oftmals nicht viel mit jener der TLO-Referenz von *EA-Ontologies* zu tun. Die TLO-Referenz von PPR-Ontologien, wie sie im Kontext der *Smart Factory* gefordert wird, vollzieht sich in wiederum anderen Kreisen, die ihre ähnlich spezifische Perspektive auf das TLO-Problem besitzen. Im Bereich der *Scientific Ontologies* sind diese TLO-Gesichtspunkte wiederum andere. Wenn sich jedoch alles auf die gleiche *Enterprise Architecture* (EA) bezieht und eine semantisch vollumfängliche Interoperabilität für die störungsfreie Praxis von IoX-Systemen zu fordern ist, dann sind diese spezifischen Perspektiven aufzugeben und es ist hinsichtlich des Designs der Ontologiearchitektur die Perspektive auf das große Ganze einzunehmen: auf die Frage der *Smart Enterprise Integration* (SEI) auf Grundlage eines *IoX-Totalmodells*. Diese läuft letztlich auf die Analyse hinaus, auf Basis welchen TLO-Ansatzes und welchen damit korrespondierenden EO-Ansatzes die *TLO-EO-Verkopplung* zu vollziehen ist, auf die das gesamte IoX-Szenario einheitlich referenzieren kann. Zwar gibt es Ansätze, etwa die *Service Ontology* bei J.C. Nardi et al. (2015) einerseits, und die *EA-Ontology* bei Azevedo et al. (2015), die sich mit der UFO-TLO unter dem gleichem TLO-Regime verbinden lassen. Doch ist damit eine tatsächliche *TLO-EO-Verkopplung* weder in der erforderlichen Breite noch in der Tiefe erreicht. Richtig verzahnt sind solche Ansätze auch nicht. Darüber hinaus ist zu klären, ob die UFO-TLO überhaupt an sich IoX- bzw. CPSS-adäquat ist. Vor allem aber besteht damit zusammenhängend das Problem, dass alternativ zur UFO-TLO im Serviceparadigma nicht nur mit Ferrario/Guarino (2012) die DOLCE-TLO, sondern nahezu ein Großteil des Spektrums von TLO-Theorieanwärtinnen bemüht wird. Analoges findet sich auf der EO-Ebene mit dem Spektrum an EO-Theorieanwärtinnen. Auf Basis dieser Heterogenität der TLO-Ansätze lässt sich das Ziel der *Smart Enterprise Integration* (SEI) im Referenzsinne nicht erreichen.

H10. Somit hat sich die Explikation der *Top-level Ontologie* und die Klärung des TLO/EO-Inkommensurabilitätsproblems als Kernproblem im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf ein IoX-totales Referenzszenario zu beziehen, das alle genannten fundamentalen Forderungen erfüllt und das zudem SOA-basiert ist. Dieses universale Referenzszenario ist mit *Closed-loop U-PLM-Systemen* als PSS-bezogene Integrationsplattform des *Smart Enterprise* bzw. der *Smart Factory* gegeben.

Auf diese zehn Hypothesen bzw. die Frage, inwiefern jedes sachgerecht vollzogene *Ontology Engineering* (OE) tatsächlich notwendig an der *TLO-EO-Verkopplung* festzumachen hat, kommen wird abschließend in Pkt. 8.1 zurück.

2.5 PPR-Framework als Integrationskonzept komplexer IoX-Systeme

»PLM extends PPR (product, process and resource) content and knowledge to other enterprise processes by coupling e-business technologies with engineering applications focused on product development and manufacturing.«

— Sang Su Choi/Tae Hyuck Yoon/Sang Do Noh (2010: 216)

Im PPR-Framework ist insofern die zentrale Grundlage für die Integration komplexer IoX-Systeme und für eine entsprechend integrierte Steuerung des gesamten Service- bzw. Produktlebenszyklus zu sehen, als diese Integration nicht ohne eine Klammer gelingen kann, durch die sich die Dimension der *Produkt-Service-Systeme* (PSS) sowie die Prozess- und Ressourcendimension untereinander umfassend synchronisieren lässt. Das U-PLM-Referenzszenario macht diese Zusammenhänge deshalb besonders deutlich, indem die PPR-basierten Integrationserfordernisse hier am meisten in die Tiefe gehen. Bzw. handelt es sich bei der *Smart Factory* um die komplexesten Produktionsprozesse. Diese Klammer ist sowohl mit Blick auf die konzeptuelle Modellierung von U-PLM-Systemen als auch in ihrer Eigenart als wissenszentrierte Prozess- resp. Workflowsysteme und prozessuale Wissenssysteme unabdingbar. Dabei geht es um die Generierung, die Verarbeitung und Auswertung von Informationen und Wissen. Diese sind in operativer, taktischer oder strategischer Hinsicht in einzelnen Workflows wie insgesamt für alle relevanten Management-, Kern- und Unterstützungsprozesse verfügbar zu machen. Mit der in Pkt. 2.4 behandelten *TLO-EO-Verkopplung* ist das PPR-Framework für die Explikation der *Top-level Ontologie* elementar, indem es diese Dimensionen mitsamt aller verbundenen Aspekte sind, die für die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) entscheidend sind. Dieser Umstand wird auch an dem *ATHENA Interoperability Framework* (AIF) deutlich, dessen POP* (Process, Organisation, Product, etc.) vom Grundsatz her dem PPR-Framework entspricht.¹⁰⁹⁵ Dabei ist hervorzuheben, dass es sich auch bei dem AIF um ein ontologiebasiertes SEI-Referenzmodell handelt, das letztlich ebenso der expliziten TLO-Fundierung bedarf. Alle PPR-Varianten

¹⁰⁹⁵ Vgl. hierzu Grangel et al. (2006, 2010) sowie D. Chen et al. (2009).

repräsentieren den inhaltlichen Kern der ontologischen Integration von IoX-Systemen. Oftmals sind sie dabei explizit auf PLM-Systeme als Referenzszenario bezogen, etwa bei dem *Product-Process-Organisation model* (PPO) im Rahmen des IPPOP-Projekts (Integration of Product Process and Organization for Performance Enhancement in Engineering).¹⁰⁹⁶ Das gilt insbesondere für die Koordination der Entwicklungs- und Produktionsphasen des PLM-Zyklus, womit ihre Relevanz auch im Hinblick auf die in Pkt. 2.6 erörterten holonischen Fertigungssysteme (HMS) der *Smart Factory* deutlich wird. Diese auf holonischen Multiagentensystemen (HMAS) aufbauenden Systeme besitzen ihre PPR-Variante etwa in der *Product-Resource-Order-Staff Architecture* (PROSA).¹⁰⁹⁷ Bei ADACOR als HMS-Ontologie findet sich das PPR-Framework analog zur PROSA-Architektur in Gestalt der drei Holonklassen *Product Holon* (PH), *Task Holon* (TH) sowie *Operational Holon* (OH),¹⁰⁹⁸ die auf Grundlage einer vierten *Supervisorklasse* global optimiert werden.¹⁰⁹⁹ In-dessen lassen sich alle Varianten von PPR-Ansätzen prinzipiell auf die drei Dimensionen des PPR-Frameworks reduzieren, womit sich die folgende Diskussion auf diese konzentriert. Dabei muss sich diese Diskussion vor allem auf die Frage eines CPSS-adäquaten PPR-Frameworks im *Real-Time Enterprise* (RTE) fokussieren.

Vor diesem Hintergrund wird nachvollziehbar, dass das PPR-Framework nicht nur im Rahmen der konzeptuellen Modellierung Orientierung bietet, sondern darüber hinaus für U-PLM-Systeme als Prozesssysteme die unabdingbare Grundlage bildet. Diese ist etwa für automatisierte Workflows genauso von Relevanz wie für die operative, taktische und strategische Prozessplanung. Analoges gilt für U-PLM-Systeme als Wissenssysteme; umfassende automatische Schlussfolgerungen werden im PLM-Kontext erst dadurch wirklich aussagekräftig, indem sich die Komplexitätsbewältigung gerade auf die synchrone Verknüpfung aller drei PPR-Dimensionen bezieht. Insofern PLM-Systeme integrierte Prozess- und Wissenssysteme bilden, lässt sich in allen genannten Fällen diese Klammer nur dann herstellen, wenn das PPR-Framework eine entsprechende ontologische Abbildung findet. Neben dem real gegebenen sachlogischen Zusammenhang, der zwischen der Produkt-, der Prozess- und der Ressourcendimension in der gesamten Wertschöpfungskette resp. Supply Chain besteht, wenn es um die Entwicklung und produktive Realisation von Produkten bzw. Services geht, ist mit dem PPR-Framework im PLM-Zusammenhang entsprechend automatisch immer eine ontologische Repräsentation impliziert.

Im PLM-Kontext ist das PPR-Framework notwendig um ein PPR-Datenmodell zu ergänzen, weil eine integrierte PLC-Steuerung auf Grundlage moderner, ontologiebasierter PLM-Softwarelösungen anders nicht möglich ist. Mit diesem PPR-Datenmodell erfahren

¹⁰⁹⁶ Vgl. hierzu Noël et al. (2005) sowie Noël/Roucoules (2008).

¹⁰⁹⁷ Vgl. hierzu Van Brussel et al. (1998), Wyns (1999) sowie Valckenaers/Van Brussel (2005).

¹⁰⁹⁸ Das *Order Holon* bei PROSA entspricht dem *Task Holon* (TH) bei ADACOR; in beiden Fällen geht es um Aufgabensequenzen und damit um die PPR-*Prozessdimension*. Desweiteren entspricht das *Resource Holon* bei PROSA dem *Operational Holon* (OH) bei ADACOR, womit es in beiden Fällen um die PPR-*Ressourcendimension* geht, die auch das *Staff Holon* von PROSA inkorporiert.

¹⁰⁹⁹ Vgl. Leitão/Restivo (2006).

Informationen einen klaren Bedeutungsgehalt bzw. werden in einen Bedeutungskontext gesetzt. Sie sind in diesem Sinne exakt, klar einordbar und werden darüber hinaus im Sinne von Heavyweight-Ontologien automatisch interpretierbar. Entsprechend lassen sich PPR-Datenmodelle in vielfältiger Hinsicht einsetzen, angefangen von der unternehmens- und industrieübergreifenden Datenintegration, über ihre Nutzung zur Sicherstellung der semantischen Interoperabilität ontologiebasierter Informationssysteme (ODIS) bis hin zu ihrer Verwendung als Basis der Wissensgenerierung in Wissenssystemen. Die elementaren Unterschiede zwischen gewöhnlichen PDM- und PLM-Systemen bestehen nicht nur darin, dass es sich nur bei letzteren um in sich geschlossene wissenszentrierte Prozesssysteme resp. um prozessuale Wissenssysteme handelt. Ferner zeichnet sie in konzeptioneller Hinsicht die unter Pkt. 1.5 herausgearbeiteten fünf grundlegenden strategischen Aspekte und die damit verbundene Einbettung in ein wettbewerbsbezogenes Gesamtkonzept aus.¹¹⁰⁰ Wesentlich sind darüber hinaus der ebenfalls bereits angesprochene Wertschöpfungsaspekt und die Tatsache, dass sie den zentralen Ansatzpunkt bilden, um den gesamten Produktlebenszyklus vom Anfang bis zum Ende über alle Phasen hinweg integriert zu steuern. Die in dieser Hinsicht bestehenden grundsätzlichen Unterschiede zwischen PDM- und PLM-Systemen werden anhand des PPR-Frameworks besonders offensichtlich. Denn bei ersteren steht – wie oben bereits erwähnt – insbesondere die Produktdimension im Fokus, während letztere auf eine umfassende Integration aller drei Dimensionen zielen. Dabei besteht insbesondere in der Interdependenz aller drei Dimensionen das wesentliche Moment:

»Product, Process and Resource (PPR) are the core areas in an engineering domain of a manufacturing enterprise which are tightly coupled with each other. *Change in one (usually product) affects the others* therefore engineering change management [ECM] activity has to tackle PPR change effects.«¹¹⁰¹

Mit dem PPR-Framework gewinnt die Frage der Interoperabilität deshalb zentrale Bedeutung, da Daten mit den verschiedensten Systemen (z.B. CAX-, CRM-, ERP- oder SCM-Systeme) ausgetauscht werden müssen. Ungeachtet der verschiedenen Interoperabilitätsdimensionen steht die *semantische* Interoperabilität deshalb im Mittelpunkt,¹¹⁰² weil nur auf ihrer Grundlage Informationen umfassend interpretierbar, verifizierbar und auswertbar werden. Erst Ontologien ermöglichen ein semantisch interoperables Datenmodell

¹¹⁰⁰ Bei Klabunde (2003) werden solche *wissenszentrierten Prozesssysteme* näher skizziert.

¹¹⁰¹ Vgl. Raza/Harrison (2011a: 21), Hvh. des Verf.

¹¹⁰² Während Vernadat (2009: 1532 f.) oder Fortineau et al. (2013b) mit der *technischen*, der *semantischen* und der *organisatorischen* Interoperabilität drei Interoperabilitätsdimensionen differenzieren, sind es bei Tolck et al. (2007) gleich sechs: *technische*, *syntaktische*, *semantische*, *pragmatische*, *dynamische* und *konzeptuelle* Interoperabilität. Indessen steht außer Frage, dass die letztgenannten drei Dimensionen, also die *pragmatische*, *dynamische* und *konzeptuelle* Interoperabilität nur insofern eine gesonderte Erwähnung bedürfen, als defekte Ontologiekonzepte dies erfordern mögen. Auf Grundlage der hier erörterten integrierten Ontologiekonzeption muss die Unterscheidung in *technische*, *syntaktische* und *semantische* Interoperabilität als ausreichend erscheinen, wobei die semantische Interoperabilität im Mittelpunkt steht. Sie ist generell im *pragmatischen*, *dynamischen* und *konzeptuellen* Sinne zu verstehen, womit die Unterscheidung weiterer Interoperabilitätsdimensionen eher zur Verwirrung denn zur Klärung der Sachverhalte beiträgt. Inzwischen sind diverse *Interoperabilitäts-Frameworks* entstanden, die zwischen verschiedenen Interoperabilitätsebenen differenzieren, etwa das *European Interoperability Framework* (EIF) oder *Levels of Information Systems Interoperability* (LISI).

und fungieren somit insgesamt als integrierendes Moment, indem sie Produkt-, Prozess- und Ressourcenmodelle auf eine einheitliche semantische Basis bringen.¹¹⁰³ Damit ist das PPR-Framework mitsamt ontologiebasierter PPR-Datenmodelle zentrales konzeptionelles Kennzeichen semantisch interoperabler U-PLM-Systeme, während ihr technisches Kennzeichen gegenwärtig in Technologien des *Semantic Web* (Web 3.0) besteht. Diese können allerdings nicht mehr als ein Notbehelf sein. Sie sind zu ersetzen durch Technologien des *Smart Web* (Web 4.0), die tatsächlich CPS-adäquat sind. Wesentlich für PLM-basierte Prozesse kollaborativen Produktengineerings ist der Umstand, dass sich die semantische Interoperabilität immer auf EEA-Systeme bezieht.¹¹⁰⁴ Es geht also um organisationsübergreifende, teilweise auch um industrieübergreifende Interoperabilität,¹¹⁰⁵ wie es für den IoX-Hyperspace insgesamt kennzeichnend ist.

Zum Verständnis der besonderen Bedeutung einer auf Basis von Top-level Ontologien konzeptuell wie semantisch integrierten Enterprise Architecture ist der Umstand entscheidend, dass U-PLM-Systeme in ihrer Eigenart als kombinierte Prozess- und Wissenssysteme im Zuge des PPR-Frameworks auf das Smart Enterprise zielen, dessen Integrationsplattform sie bilden. In der Tradition der Digitalen Fabrik weisen sie auch insofern eine bedingte Affinität zum ursprünglichen CIM-Gedanken auf,¹¹⁰⁶ als sie auf ähnlichen Teilsystemen aufbauen.¹¹⁰⁷ Sie zielen genauso auf den integrativen Produktionsgedanken, nur nicht auf Basis eines zentralistischen Steuerungsparadigmas. Vielmehr ist das U-PLM-Produktionsparadigma ein primär dezentralistisches, das jedoch in Wahrheit als zirkuläres MAS-basiertes Gegenstromverfahren zu verstehen ist. Das zeigt sich etwa anhand der Holonischen Multiagentensysteme (HMAS), indem in solch holonischen IoX-Systemen *Supervisor Holons* (SH) die globale Optimierung übernehmen. Anhand der in Pkt. 2.6 näher behandelten HMS bzw. HMAS zeigt sich somit erneut, dass in der AI-Forschung mit lokaler, regionaler und globaler Intelligenz zwingend von einer Dreiteilung der Intelligenztypen auszugehen ist. Gleichzeitig wird damit deutlich, dass das U-PLM-Produktionsparadigma im Gegensatz zum CIM-Gedanken voll und ganz auf echter agentenbasierter AI-Intelligenz basiert. Damit wird nochmals deutlich, warum PLM-Systeme auf eine synchrone Steuerung der Produkt-, Prozess- und Ressourcendimension sämtlicher PLC-Phasen hinauslaufen. Bereits CIMdata (2005a) stellt das PLM-Konzept entsprechend konsequent in den Kontext der digitalen Produktion resp. digitalen Fertigung (Digital Manufacturing), die insgesamt in den drei integrierten Dimensionen des Produktlebenszyklus zu

¹¹⁰³ Insbesondere bei Investitionsgütern besteht im IoX-Kontext auch insofern ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Produkten und Ressourcen, als die *Produkte* des Produzenten *Ressourcen* beim Kunden bilden. Für PEID-Produkte gilt entsprechend: »A product describes a set of devices through a meta-description«, vgl. Efremov et al. (2015: 1221).

¹¹⁰⁴ Vgl. etwa Stiefel/Müller (2007).

¹¹⁰⁵ Vgl. hierzu etwa Ruokolainen et al. (2007).

¹¹⁰⁶ Vgl. hierzu auch Abramovici/Schulte (2005).

¹¹⁰⁷ In PLM-Systemen werden ähnliche Teilsysteme eingesetzt wie schon in CIM-Systemen, zu denen etwa folgende Komponenten gehören: PPC, CAD, CAP, CAM oder CAQ, vgl. bspw. Scheer (1994).

denken ist.¹¹⁰⁸ Dementsprechend findet sich bereits hier das PPR-Schema, wenn auch nur im sachlogischen Zusammenhang operativer Prozesse: »One of the important characteristics of Digital Manufacturing is that it fully integrates the definitions of the product, process, plant, and resources into a comprehensive and consistent manufacturing solution.«¹¹⁰⁹ CIMdata (2005a) sieht dabei die Aufgabe von PLM-Systemen in den Engineering-Aktivitäten und der Fertigungsplanung resp. Simulation und Validierung der Fertigungsprozesse, während ERP-Systemen die operativen Transaktionen vorbehalten bleiben.¹¹¹⁰ Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, wenn Scheer et al. (2006: 9) in etwa zur gleichen Zeit konstatieren, dass gerade im Zusammenspiel von PLM- und ERP-Systemen die ursprüngliche Vision des Computer Integrated Manufacturing (CIM) realisiert werden kann.

Diese Feststellung ist jedoch notwendig durch den Hinweis auf den eigentlich entscheidenden, jedoch durch CIMdata (2005a) wie durch Scheer et al. (2006: 9) nicht ansatzweise thematisierten Aspekt zu ergänzen: Nämlich dass dabei gerade Ontologien und CPS-adäquaten Smart Web Technologien die eigentliche Schlüsselrolle zufällt. Erst auf ihrer Basis können diese Systeme tatsächlich so robust und intelligent konzipiert werden, wie es der CIM-Ansatz eigentlich von Beginn an forderte – aber selbst nie einzulösen vermochte. Hier kommt wiederum McCarthys (1963a: 66) Gedanke ins Spiel, wonach Computer sich so intelligent wie möglich verhalten müssen, was auf CIM-Basis nur sehr eingeschränkt möglich war. Demgegenüber bieten sich auf AI-Basis global optimierter Multiagentensysteme, wie sie im HMAS-Sinne dem IoX-Paradigma entsprechen, völlig neue Möglichkeiten. Diese sind den komplexen Systemen, um die es bei solchen Produktionssystemen geht, auch angemessen. Auch lassen sich solche Systeme nur auf Grundlage von E-Architekturen so offen, interoperabel und flexibel gestalten, wie es der CIM-Gedanke ursprünglich postulierte. Allerdings gilt auch hier, dass er diesem Anspruch auf der damaligen konzeptionellen wie technischen Grundlage ebenfalls nicht gerecht werden konnte. Beispielsweise findet sich die Idee der Losgröße 1 (batch size of 1) bereits in den CIM-Konzepten;¹¹¹¹ tatsächlich umsetzen lässt sie sich jedoch erst in der PLM-basierten *Smart Factory*. Konkret geht es dabei um CPPS auf IoX-Basis mit semantischer M2M-Interoperabilität und intelligenten Objekten, etwa intelligenten Produkten i.S. des semantischen Gedächtnis usf.^{1112, 1113} Dabei bezieht sich die Schlüsselstellung von PLM-Systemen nicht nur

¹¹⁰⁸ Weil PLM-Systeme über die Fertigung hinausgehend auch Services, die Produktion immaterieller Güter sowie die Schaffung geistiger Eigentumsrechte mit umschließen, sollte genereller und umfassender von *digitaler Produktion* gesprochen werden. Andererseits ist bei diesen Systemen deshalb die Fertigung zu fokussieren, weil es konkret auch um diese Prozesse geht, etwa hinsichtlich der Unterschiede von Chargen-, Einzel-, Partie-, Massen-, Serien- oder Sortenfertigung und der darauf zu beziehenden Abstimmung der Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse (DFX).

¹¹⁰⁹ Vgl. CIMdata (2005a: 3).

¹¹¹⁰ Ibid.

¹¹¹¹ Vgl. etwa Rolstadås (1991).

¹¹¹² Indessen sollten weder die Losgröße 1 noch ein dezentralistisches Produktionssteuerungsparadigma als zwingend notwendige Definitionsbestandteile der *Smart Factory* erachtet werden. Vielmehr geht es insgesamt um *intelligente Fabriken*, deren Intelligenz mit H.A. Simon (1987c) insbesondere auf kognitionswissenschaftlichen AI-Aspekten (z.B. Multisensorsystemen) in CPSS- bzw. IoX-Umgebungen (z.B.

mit Pkt. 2.6 auf holonische Fertigungssysteme (HMS), die eine PLM-MES Integration insbesondere mit Blick auf das Variantenmanagement erforderlich machen,¹¹¹⁴ sondern sie beginnt bereits bei generativen Fertigungsverfahren bzw. der Additiven Fertigung (AM) als Kernverfahren des 3D-Drucks.¹¹¹⁵ Bei komplexeren Prozessen ist auch hier eine PLM-MES Integration denkbar.¹¹¹⁶ – Entsprechend ist der Gedanke flexibelster Produktkonfiguration mit *einer Variante pro Kunde* Kernbestandteil des Konzepts der *Smart Factory* als personalisiertem Produktionsparadigma.¹¹¹⁷ Ohne die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* sind solche über den gesamten PLC einheitlich integrierte *Smart Factories* als produzierender Kern des *Smart Enterprise* letztlich nicht in dem erforderlichen integrativen Moment zu bewerkstelligen.

Inzwischen basiert auch die Integration von PLM- und ERP-Systemen unterschiedlicher Hersteller auf offenen, flexiblen Standards (SOA, Web Services usf.) und nicht mehr – wie im CIM-Ansatz – auf proprietären Lösungen.¹¹¹⁸ Das PPR-Framework und das darin inkorporierte PPR-Datenmodell werden zwar bereits seit längerem durch führende PLM-Lösungsanbieter als Integrationskonzepte bemüht,¹¹¹⁹ allerdings besteht dabei noch ein umfassenderes Entwicklungspotential. Mit Raza/Harrison (2011a) gilt: »Current software applications do not provide an unequivocal infrastructure where PPR can be explicitly related.«¹¹²⁰ Diese Einschätzung kann deshalb nicht überraschen, weil ein integriertes PPR-Framework eine *Ontologie komplexer IoX-Systeme* voraussetzt, die bis heute generell, vor allem aber in der erforderlichen CPS-adäquaten Form aussteht. Nicht zuletzt besteht dabei die eigentliche Ursache in der TLO-Problematik und dem Inkommensurabilitätsproblem:

RFID usf.) beruht, womit insgesamt etwa das MAS-Paradigma, das CEP-Paradigma, die AI-Ontologie sowie mit Blick auf die Adaption vernetzter Systeme die *Theorie komplexer Systeme* (zelluläre Automaten, CAS usf.) konstituierend werden. Auf diesem Fundament werden dann Ideen wie die Losgröße 1 sowie das dezentrale Produktionssteuerungsparadigma möglich, während die *Smart Factory* als CPPS mit Blick auf Aspekte wie Echtzeitsteuerung und -auswertung (HLIF, Big Data, Smart Data usf.), umfassender Qualitätsüberwachung usw. sich auf sämtliche Produktionsprozesse beziehen kann. Mit anderen Worten lässt sich ein CPS-, MAS- wie IoX-basiertes Verständnis der *Smart Factory* auf Chargen-, Einzel-, Partie-, Massen-, Serien- wie auf Sortenfertigung anwenden.

¹¹¹³ Vgl. etwa Ray (2009), Spath (2013), Parrotta et al. (2013) sowie weitere Beiträge zur *Smart Factory* und entsprechenden Projekten; im deutschen Raum sind hierbei insbes. die Fraunhofer-Gesellschaft oder das DFKI aktiv, etwa mit dem Projekt SemProM unter Federführung des DFKI.

¹¹¹⁴ Vgl. hierzu Ben Khedher et al. (2011) sowie D'Antonio et al. (2016a).

¹¹¹⁵ Vgl. etwa Zancul/Delage e Silva et al. (2016).

¹¹¹⁶ Vgl. D'Antonio et al. (2016b).

¹¹¹⁷ In diesem Zusammenhang entstehen umfassende E-Business-Szenarien, bei denen der E-Commerce im B2B- wie B2C-Zusammenhang über den eigentlichen Handelssektor hinausgehend im Sinne der kundenindividuellen Massenproduktion (Mass Customization) direkt in die Industrie eingebettet wird, indem E-Commerce Applikationen (Produktkonfiguratoren etc.) unmittelbar mit Applikationen der Digitalen Fabrik interoperieren; neben ERP-Systemen insbesondere mit komplexen PLM-Systemen als ihrer Integrationsplattform (einheitliche Produktkataloge zur Produktkonfiguration etc.). Im Fall von SAP PLM ist eine Produktkonfiguration auch vermittels der *Configuration Engine* (aka IPC, SCE) in SAP CRM möglich, was einen Einbezug von CRM in die Applikationslandschaft der Digitalen Fabrik (insbes. PLM und ERP) erfordert. Erst auf dem Wege einer solch umfassenden Integration wird die Idee der Losgröße 1 tatsächlich richtig umsetzbar.

¹¹¹⁸ Vgl. etwa Oracle (2009a).

¹¹¹⁹ Vgl. explizit Dassault Systèmes (2000, 2012a, 2012d), IBM (2002a, 2002b, 2008b, 2009b) sowie implizit Siemens (2011b).

¹¹²⁰ Vgl. Raza/Harrison (2011a: 21), ohne Hvh. des Orig.

Es ist noch keine IoX-adäquate Top-level Ontologie identifiziert, ohne die sich die in steter Veränderung begriffenen Objekte der drei wechselwirkenden PPR-Dimensionen in fundamentaler Hinsicht jedoch nicht auf eine einheitliche systematische Bezugsbasis stellen lassen. Insbesondere die für komplexe U-PLM-Systeme erforderlichen Heavyweight-Ontologien sind ohne diese Voraussetzung nicht realisierbar.

Das PPR-Schema ist im EI/EA-Sinne universal für jede IoX-Systemintegration voraussetzen. Dabei bestehen im IoT- bzw. IoS-Sinne die "*Produkte*" PSS-gemäß in raumzeitlich lokalisierten physischen *Things* bzw. *Services*, die als Output durch ebenso raumzeitlich lokalisierte *Prozesse* erbracht werden, die wiederum *Ressourcen* in Anspruch nehmen und damit einen raumzeitlich lokalisierbaren Ressourcenverzehr implizieren (PPR). Das erste Zeichen des *PPR-Akronyms* steht in diesem Sinne für *Product Service Systems* (PSS) bzw. mit dem folgenden Pkt. 2.5.1 für *Product-Service Lifecycle Systems* (PSLS), womit es auch unmittelbar das U-PLM-Referenzszenario eröffnet. Wesentlich ist, das PPR-Schema im abstrakt-produktionswirtschaftlichen bzw. systemtheoretischen Sinne als *Input-Throughput-Output-Beziehung* zu verstehen, die sich unter Produktivitäts- bzw. Effizienzgesichtspunkten als Produktionsfunktion darstellen lässt. Dabei bilden die Ressourcen den Input, die Prozesse bzw. Workflows den Throughput sowie die Produkte bzw. Services (bzw. ein abstrakter Nutzen) den Output. Dieser Zusammenhang gilt somit universal für jedes IoX-Integrationszenario, etwa auch dann, wenn es in virtuellen Umgebungen allein um Digital Analytics oder ein *Realtime IoX-Monitoring* mit rein maschinellen Agenten geht und nicht um umfassende physische CPPS-Produktionsszenarien der Smart Factory.

Jedes IoX-System besitzt bereits mindestens in Bezug auf die Infrastruktur bzw. in der Bereitstellung von Web Services ein Produktionssystem. Der IoX-Hyperspace weist entsprechend Myriaden solcher Produktionssysteme auf: Das ist die reale AI-Welt, und deshalb muss die dritte AI-Generation gerade auch diese AI-basierten Produktionssysteme samt ihrer ontologischen Integrationserfordernisse und der damit zusammenhängenden globalen Intelligenz berücksichtigen. Somit hat die dritte AI-Generation insgesamt am IoX-Hyperspace anzusetzen. Dann relativieren sich insbesondere die Positionen der zweiten AI-Generation, die primär lokal, ggf. noch regional, aber nicht global orientiert ist. Damit zusammenhängend ist sie auch nicht dem Ontologiegedanken verpflichtet. Die zweite AI-Generation hat mit dem Erfordernis neuronaler Netze ihren Platz in der dritten AI-Generation, indem es hier um das Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz geht. Das PPR-Framework gilt somit unter integrativen Aspekten universal für jedes IoX-Szenario. Es gibt keinen IoX-Hyperspace ohne Ressourcen (Sensoren usw.), Prozesse (adaptive Agenten usw.) und Services (SOC/ED-SOA usw.); in vielen Szenarien, etwa dem IoV-Szenario, finden sich diese auch noch um physische PEID-Produkte als *IoT-Things* ergänzt. Auch das Erdbebenfrühwarnsystem im *Internet of Geophysical Things* (IoGT) besitzt notwendig ein solches Produktionssystem, indem es Services erbringt, Prozesse vollzieht, und dabei Ressourcen in Anspruch nimmt. Das PPR-Framework bzw. das

PPR-Datenmodell gilt also universal, indem immer mindestens Services, Prozesse und Ressourcen im Spiel sind. Closed-loop U-PLM-Systeme bilden entsprechend deshalb das richtige Referenzszenario, indem sie nicht nur insgesamt, sondern gerade auch unter dem *Produktionsgesichtspunkt* das komplexeste und zugleich diffizilste ontologische Anwendungs- und Integrationsszenario der Informatik wie aller IoX-Systeme darstellen. Indem die ontologische Integration des PPR-Frameworks im Ganzen nur über die *Enterprise Ontology* (EO) vollziehbar ist, jedoch kein dazu adäquater EO-Ansatz im IoX-Gegenstromverfahren von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz bei gleichzeitiger *TLO-EO-Verkopplung* existiert, ist auch in dieser Sache ein ontologischer Neuanfang erforderlich: Es ist eine EO-Konzeption zu entwickeln, die als *CYPO Core Enterprise Ontology for XaaS* (CYPO *CEOX*) fungieren kann. Allein dann sind integrierte IoX-Szenarien im Sinne der dritten AI-Generation technisch realisierbar.

2.5.1 Vom PPR-Framework zur 4D-IoX-konformen PPRLT-Spezifikation

»PLM [...] is an innovative manufacturing paradigm which leverages e-business technologies to allow company's engineering contents to be developed and integrated with the company's business processes in the extended enterprise throughout the product lifecycle. This allows engineering decisions to be made with a full understanding of the product and its portfolio including processes, resources, and plants [...].«

— Sang Su Choi/Tae Hyuck Yoon/Sang Do Noh (2010: 216)

Mit seinem umfassenden Integrationsziel ist das PPR-Framework für U-PLM-Systeme in ihrer Eigenschaft als Integrationsplattform für das Smart Enterprise bzw. die Smart Factory mitsamt zahlreicher Prozesse einschließlich der Einbindung von Zulieferern und Kunden von konstituierendem Charakter. Dieses Postulat wird umso besser nachvollziehbar, je umfassender der Frage nachgegangen wird, woher das PPR-Framework stammt und warum es in der Weise weiterentwickelt wurde, wie es in den letzten Jahren geschehen ist. Wenn das PPR-Framework mit dem Software Engineering (SE) auch bereits früh in anderen Bereichen der Informatik Verwendung findet,¹¹²¹ besitzt es im Kontext von PLM-Systemen seinen eigentlichen Ursprung im Rahmen der Integration von DFX- resp. CAX-Technologien und mit Verweis auf integrierte Referenzarchitekturen damit insgesamt im *Computer Integrated Manufacturing* (CIM).¹¹²² Da der PLM-Ansatz auf eine neue Integrationsplattform für die dem *Smart Enterprise* inhärenten *Smart Factory* zielt und dazu dem

¹¹²¹ Das PPR-Framework wird bereits durch Fenton (1991) im Rahmen des *Software Engineerings* eingesetzt, um die Softwareentwicklung mittels Softwaremetriken in verschiedener Hinsicht – etwa bzgl. Zeit, Kosten, Qualität, Produktivität, Stabilität oder Komplexität – zu bewerten. Produkte, Prozesse und Ressourcen bilden hier die drei grundsätzlichen Klassen, in die sich Entitäten und Attribute im Software Engineering für Vergleichsmessungen einteilen lassen, vgl. Fenton (1991: 74). Dabei stehen Prozesse bereits bei Fenton (1991: 74) im Mittelpunkt, indem auch hier Produkte als Output von Prozessaktivitäten gesehen werden und Ressourcen als Entitäten, die für diese Prozessaktivitäten erforderlich sind. Entsprechend heißt es an gleicher Stelle: »Resources and products are associated with the process«, wobei sich das PPR-Framework – analog zu seiner späteren Verwendung im PLM-Kontext – auf den gesamten Softwarelebenszyklus bezieht.

¹¹²² Vgl. bspw. Grabowski/Schellhammer (1991).

integrativen CIM-Gedanken folgend diverse Applikationen wie ERP-Systeme im Sinne einer Gesamtarchitektur mit einbezieht, ist zunächst der Blick auf die Referenzmodelle resp. Referenzarchitekturen zum Enterprise Modeling zu richten, die die integrative Basis der CIM-Architektur stellen.

In diesen CIM-Referenzmodellen liegt der eigentliche Ursprung des PPR-Frameworks, da der CIM-Gedanke maßgeblich auf der Verknüpfung der physischen Produkt-, Prozess- und Ressourcenstrukturen und ihrer integrierten informatorischen Abbildung basiert.¹¹²³ Anhand des GERAM-Referenzmodells wird deutlich, dass Ontologien zwar bereits für CIM-Architekturen eine Rolle spielen, dies aber, wie auch ihre Nichtberücksichtigung in anderen CIM-Referenzmodellen zeigt, lediglich ein Aspekt am Rande ist. Dass sich jedoch noch keine speziellen *U-PLM-Referenzarchitekturen* durchgesetzt haben, ist nicht zuletzt auf die fehlende ontologische Gesamtarchitektur zurückzuführen. Nimmt man die Anforderungen Cyber-physischer Systeme (CPS) mitsamt ihrem MAS/CAS/SEA-Konnex ernst, dann sind überzeugende U-PLM-Referenzarchitekturen in den Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu stellen. Dann wiederum ist zunächst das TLO-Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem insofern aufzulösen, als eine Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Theorieanwärter zu vollziehen ist, wie es den Gegenstand des siebten Teils bildet.^{1124, 1125} Tatsächlich können Closed-loop PLM-Referenzarchitekturen, die naturgemäß gerade auf die semantische Interoperabilität zielen müssen, den Ontologieaspekt nicht mehr nur am Rande behandeln, sondern haben ihn selbstverständlich notwendig in das Zentrum des gesamten Unterfangens zu rücken. Wenn bereits verschiedene PLM-Implementierungskonzepte vorliegen,¹¹²⁶ steht damit außer Frage, dass diese eine Reihe elementarer Aspekte ignorieren. Das geht einher mit dem Dilemma, dass die meisten der in der Industrie bereits eingesetzten PLM-Systeme keineswegs an der Ausschöpfung ihres eigentlichen Potentials ansetzen. Ohne eine TLO-fundierte ontologische Basis, die eine umfassende semantische Interoperabilität in der Smart Enterprise Integration zulässt, wird das auch nicht möglich sein. Teilweise ist die Qualität dieser Implementierungskonzepte auch insgesamt anzuzweifeln, etwa wenn Buccini (2011) einseitig auf EAI-Szenarien ab-

¹¹²³ Vgl. hierzu etwa Gieling et al. (1991).

¹¹²⁴ Es ist auffällig, dass bisherige erste Entwürfe, vgl. etwa Zhang/Fan (2006), Zancul (2012) oder Detecon (2013), noch vollkommen von der Ontologie abstrahieren. Insofern ist offensichtlich, dass diese allenfalls auf eine erste Orientierung zielen, die mit Blick auf die gegebene Komplexität fraglos notwendig ist. Geht es indessen um Referenzmodelle, die zur unmittelbaren Implementierung von Closed-loop U-PLM-Systemen verwendbar sind, hat mit Verweis auf den zentralen Aspekt der semantischen Interoperabilität nicht nur die Enterprise Architecture im Allgemeinen, sondern insbesondere auch die *Enterprise Ontology* bzw. die PPR-basierte *PLM-Kernontologie* im Besonderen im Fokus zu stehen.

¹¹²⁵ Wie ausgeführt, ist die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in ihrer auf semantische Interoperabilität zielenden Funktion nur in Form der *Heavyweight-Ontologie* zweckmäßig, die wiederum zwingend eine *TLO-Referenz der Enterprise Ontology* einfordert. Somit sind implementierungsbezogene Referenzmodelle für Closed-loop U-PLM-Systeme nicht realisierbar, solange die Debatte um IoX-adäquate Ontologiebegriffe und -konzepte, um die Spezifizierung meta-ontologischer Kriterien komplexer IoX-Systeme, die Evaluierung IoX-adäquater TLO-Theorieanwärter, die Neubegründung einer IoX-adäquaten Top-level Ontologie und schließlich die Entwicklung einer korrespondierenden Enterprise Ontology resp. PLM-Kernontologie mitsamt entsprechender Implementierungsfragen nicht zu Ende geführt ist.

¹¹²⁶ Vgl. etwa Batenburg et al. (2006), Schuh et al. (2008), VDMA (2008) oder Buccini (2011).

stellt, während alle modernen PLM-Systeme schon längst zuvor auf SOA-Architekturen setzen. Insbesondere bei U-PLM-Systemen wird ED-SOA elementar, indem nur auf Grundlage ereigniszentrischer Architekturen die Idee einer PLM-basierten Integrationsplattform des Smart Enterprise bzw. der Smart Factory Bestand haben kann.¹¹²⁷ Würde man in praxi tatsächlich solch inferioren Frameworks folgen, wären damit weitreichende nachteilige Konsequenzen impliziert.

Aufgrund des Umstands, dass noch keine allgemein akzeptierten ontologischen PLM-Referenzarchitekturen verfügbar sind, muss es mit Blick auf den allgemeinen Integrationsaspekt zweckmäßig erscheinen, für eine erste Orientierung auf die tradierten CIM-Referenzmodelle zurückzugreifen,¹¹²⁸ aus denen das PPR-Framework auch hervorgegangen ist. Natürlich ist dabei zu berücksichtigen, dass der CIM-Ansatz einer zentralisierten Steuerungslogik folgt, während die Smart Factory auf dem Gegenstromverfahren von dezentralem Steuerungsmuster und globaler Optimierung basiert. Diese CIM-Referenzmodelle gehören in den Bereich der Enterprise Architecture,¹¹²⁹ die für das dem PLM-Konzept inhärenten Integrationsstreben von elementarem Belang ist. Die Enterprise Architecture ist wiederum dem Ziel einer umfassenden Enterprise Integration verpflichtet. Zur Weiterentwicklung komplexer U-PLM-Systeme als Integrationsplattform des Smart Enterprise, das in semantischer Hinsicht auf der Enterprise Ontology als PLM-Kernontologie aufzubauen hat, ist ein aktives Enterprise Engineering erforderlich. Wenn es gilt, eine IoX-adäquate *Enterprise Ontology* zu konzipieren, hat diese im Zeichen des *Enterprise Engineering* nicht nur auf die IoX-adäquate Top-level Ontologie, sondern darüber hinaus entsprechend auch auf den Gesamtzusammenhang der Enterprise Architecture abzustellen. Für diesen ist das PPR-Datenmodell, das im Rekurs auf die Top-level Ontologie zu entwickeln ist, von wesentlicher Bedeutung. Denn es repräsentiert die zentralen Produkt-, Prozess- und Ressourcenmodelle dann auf einer ontologisch geformten Datenebene, die über das gesamte Integrationsszenario hinweg dem Kriterium der semantischen Interoperabilität entspricht.

Da das PPR-Framework gleichzeitig mit dem *Enterprise Model* im direkten Kontext der konzeptuellen Modellierung wie auch der Wissensrepräsentation im Zeichen der *Enterprise Ontology* steht, bricht der Widerstreit linguistischer und realistischer Ontologien erneut auf: Ontologien zielen bisher zum einen, nämlich bei den Produktmodellen – oftmals in Form *linguistischer* Ontologien – auf die *Wissensrepräsentation*,¹¹³⁰ während sie zum anderen, nämlich bei den Prozessmodellen – zumeist in Form *realistischer* Ontologien – in erster Linie im Rahmen der *konzeptuellen Modellierung* zum Einsatz gelangen.¹¹³¹ In diesem letzten Fall geht es direkt um Top-level Ontologien, die helfen, auf Basis von Top-

¹¹²⁷ Vgl. hierzu etwa CIMdata (2006).

¹¹²⁸ Jenseits einer ersten Orientierung können CIM-Referenzmodelle keinen Aufschluss zur Gestaltung von PLM-Systemen geben, weil in methodologischer und technologischer Hinsicht heute vollkommen andere Rahmenbedingungen gelten, etwa hinsichtlich Vorgehensmodellen oder der Semantic Web Technologie.

¹¹²⁹ Vgl. hierzu überblicksartig Matthes (2011).

¹¹³⁰ Vgl. exemplarisch Gruber et al. (1992).

¹¹³¹ Vgl. exemplarisch Green/Rosemann (2000).

level Kategoriensystemen relevante Weltmodelle zu strukturieren, zu formalisieren oder zu evaluieren, während die Rolle von Top-level Ontologien in der Wissensrepräsentation oftmals noch unklar zu sein scheint: In komplexen IoX- bzw. U-PLM-Systemen, die regelmäßig in EE-Umgebungen zum Einsatz gelangen,¹¹³² sind Top-level Ontologien jedoch gerade auch im Zuge der Wissensrepräsentation über alle Phasen des Produktlebenszyklus hinweg unabdingbar, insbesondere um das Entstehen semantischer Silos zu verhindern (vgl. hierzu Pkt. 3.2.1). PLM-Systeme können in ihrer Eigenschaft als umfassende Integrationsplattform sowohl im Zuge der konzeptuellen Modellierung als auch im Zuge der Wissensrepräsentation nicht auf Ontologien und die Top-level Ontologie als allgemeiner Referenzbasis verzichten. Auf diese beiden Einsatzkontexte, an denen der unhaltbare Widerstreit zwischen linguistischen und realistischen Ontologien in der Informatik besonders deutlich wird (vgl. hierzu Pkt. 3.3.2), kommen wir in Pkt. 3.2.2 sowie Pkt. 3.2.3 zurück.

Zwar ist die Realisierung eines neu gedachten CIM-Ansatzes, der bereits in der ursprünglichen Variante die Vorstufe zum allumfassenden Computer Integrated Enterprise (CIE) bzw. Digital Enterprise bildete,¹¹³³ das letztendliche Ziel aller diesbezüglichen Integrationsbemühungen. Doch kommt das PPR-Framework vor allem auch bei der Integration einzelner CAX-Anwendungen zum Einsatz. Dabei spielt insbesondere die simultane Verknüpfung von Entwicklung und Produktion eine entscheidende Rolle, weil diese ohne die Berücksichtigung der drei PPR-Dimensionen nicht möglich ist. Damit geht es um den unmittelbaren Anwendungsbereich von PLM-Systemen. Die Verknüpfung von Konstruktion, Entwicklung und Produktion zielt auf die Synchronisation folgender dreistufiger Schrittfolge: (i) Konfiguration des Produkts im Kontext des Requirements Engineering (Produktstruktur, Stücklisten [BOM] etc.); (ii) Konfiguration der dazu erforderlichen Geschäftsprozesse (Prozessstruktur, Arbeitsverrichtungen etc.); (iii) Konfiguration der erforderlichen Ressourcen, um die Prozesse ausführen zu können (Systemstruktur, Maschinen und Anlagen, Mitarbeiterprofil etc.). Entsprechend vollzieht sich die *informationelle* PPR-Interoperabilität *produktzentrisch*,¹¹³⁴ wie es insgesamt dem PLM-Gedanken entspricht. Mit Huang/Mak (1997, 1999) kommt das PPR-Konzept entsprechend im Zeichen des *Simultaneous Engineering* resp. *Concurrent Engineering* zum Einsatz. Dabei geht es um webbasierte Tools zur Unterstützung alternativer Konstruktionstechniken (DFX), etwa der montagegerechten Konstruktion (DFA) bzw. der fertigungs- und montagegerechten Konstruktion (DFMA). Diese stehen wiederum im Zusammenhang mit spezifischen Konstruktionsrichtlinien und dem Ziel einer präventiven Komplexitäts- und Kostenoptimierung im Produktentstehungsprozess. Der PPR-Integrationsgedanke zielt bei Huang/Mak (1999) neben PDM-Systemen insbesondere auf CAD-Systeme und DSS im Fertigungsbereich, etwa Systeme zur Fertigungsplanung und -steuerung (CAPP, CAPM). Bei Maropoulos et al. (2002) steht der PPR-Integrationsgedanke ähnlich im Zeichen webzentrierter Systeme zur

¹¹³² Vgl. bereits CIMdata (2002).

¹¹³³ Vgl. hierzu etwa Persentili/Alptekin (1993).

¹¹³⁴ Vgl. auch Dassisti et al. (2006: 250).

Fertigungsplanung (CAPP) sowie der Integration verteilter Entwicklung und Fertigung, die eine standortübergreifende Koordination erforderlich machen. Um die gleiche Zeit rückt das PPR-Framework mit IBM (2002a, 2002b) in den Fokus von PLM-Lösungsanbietern.

Mit Smirnov/Chandra (2000) und Chandra/Kamrani (2003) erfährt das PPR-Framework eine in der SEA-Sache entscheidende Aufwertung, indem die Produkt-, Prozess- und Ressourcendimension nun erstmals in Form von *Ontologien* Abbildung findet. Damit wird das Feld bestellt für eine SEA/SOA-zentrische integrative Neubegründung des weiten Spektrums bestehender *Produktontologien*,¹¹³⁵ *Prozessontologien*,¹¹³⁶ wie auch für *Ressourcenontologien*.¹¹³⁷ Entscheidend für diese integrative Neubegründung solcher PPR-bezogener Ontologien ist ihre gleichzeitige Referenz auf die *Top-level Ontologie* (TLO) wie auf die integrative *Enterprise Ontology* (EO),¹¹³⁸ die in dieser Gleichzeitigkeit allein durch die beschriebene systematische *TLO-EO-Verkopplung* zu gewährleisten ist. Alle Produktmodelle, alle Prozessmodelle sowie alle Ressourcenmodelle müssen dabei auf einheitlichen meta-ontologischen Dispositionen sowie auf den gleichen fundamentalen Kategorien aufbauen. Dieses Vorgehen liegt auf einer Linie mit Smirnov/Chandra (2000) bzw. Chandra/Kamrani (2003), wenn diese das GERAM-Referenzmodell zur *Enterprise Architecture* bemühen und auf das *Smart Enterprise* (bzw. hier: *Smart Company*) beziehen. Dass ontologische Theorien bereits einen Bestandteil des GERAM-Referenzmodells bilden, weist wiederum auf den Ursprung der PPR-Modelle in CIM-Referenzarchitekturen. Ontologien bilden im PPR-Framework dabei unter anderem die Basis für das Wissensmanagement im Rahmen der kundenorientierten Produktentwicklung entlang der Supply Chain (EEA-Szenario). Hier stellt das Wissensmanagement wiederum die Grundlage für die Steuerung komplexer Engineering-Prozesse resp. Workflows. Dies steht bei Cutting-Decelle et al. (2007) im Zeichen der Modularisierung in Produktionssystemen (PS). Bei Baxter et al. (2009) findet ein solch ontologiebasiertes Wissensmanagement auf Basis des PPR-Frameworks Anwendung auf Produkt-Service Systeme (PSS). Sie stellen die Notwendigkeit heraus, das bereits durch Chandra/Kamrani (2003) auf die Supply Chain bezogene ontologiebasierte Wissensmanagement konkret in PLM-Systeme zu inkorporieren. Dies gelingt Raza et al. (2011) sowie Raza/Harrison (2011a, 2011b), indem sie das PPR-Framework im Kontext von PLM-Systemen konkret auf die Automobilindustrie anwenden. Darüber hinaus wird deutlich, dass das CIM-geprägte PPR-Framework im Kontext der Smart Enterprise Integration insofern zu einem *SPPR-Framework* (Smart PPR) avancieren muss, als es hier zum einen notwendig um semantische Beziehungen zwischen den drei

¹¹³⁵ Vgl. hierzu etwa C.A. Costa (2007).

¹¹³⁶ Vgl. dazu etwa Aitken/Curtis (2002) sowie A. Haller et al. (2006a); speziell für *Fertigungsprozesse* kommt die *Process Specification Language* (PSL) ins Spiel, die wiederum auf der *PSL Ontology* gründet, vgl. Schlenoff et al. (1998).

¹¹³⁷ Vgl. hierzu etwa Ghosh et al. (2016).

¹¹³⁸ Für SEA/SEI-Zwecke reicht es gewiss nicht aus, etwa die *Ressourcenontologie* auf EO-Ansätze wie TOVE zu beziehen, wie es bei Fadel et al. (1994a, 1994b) der Fall ist. Das gilt insbesondere dann, wenn TOVE mit M.S. Fox (1992) selbst lediglich auf einem *Common Sense-Model* gründet.

PPR-Dimensionen zur integrativen Steuerung einzelner Lebenszyklusprozesse geht. Zum anderen sind die einzelnen Dimensionen an sich intelligenter Natur (intelligente Produkte, sich selbststeuernde Prozesse, vernetzte Maschinen usw.) und somit selbst zur logischen Schlussfolgerung in semantischen Umgebungen befähigt. Bei Closed-loop U-PLM-Systemen repräsentiert der Produktlebenszyklus gleichzeitig einen *Wissenslebenszyklus*, wie er bereits bei Ameri/Dutta (2005) bzw. Jung/Choi/Song (2007) konzipiert wird. Dabei geht es insgesamt um produktlebenszyklusbezogenes Wissen (PLK), das indessen wesentlich prozessorientiert ist: »Product Life cycle Knowledge (PLK) is the combination of knowledge about a product across its life time and the knowledge about all processes controlling the product life cycle«. ¹¹³⁹ Mit der Steuerung komplexer PLM-Zyklen wird dabei der Übergang zu prozessualen Wissenssystemen fließend, ¹¹⁴⁰ indem etwa bei Closed-loop PLM Wissen aus dem vorlaufenden Zyklus in konkrete Prozessschritte resp. Workflows des nachlaufenden Zyklus einfließen. ¹¹⁴¹

Kim et al. (2008) sowie J.Y. Lee/Kim/Noh (2011) erweitern das PPR-Schema um XML-basierte humane Informationen (PPR^H) mit dem Ziel, PLM-Systeme um eine ergonomische Analyse von Produktionsvorgängen zu ergänzen. Demgegenüber fügen Gómez et al. (2009) dem Schema eine Projektdimension hinzu; ¹¹⁴² Zhang/Fan (2006) grenzen zusätzlich zu den Ressourcen eine gesonderte Werksdimension bzw. Betriebsstätte ab, womit hier von P3R (Product, Process, Plant, Resources) die Rede ist. ¹¹⁴³ Le Duigou et al. (2009) sowie Mahdikhah et al. (2014) erweitern in ihren PPRO-Konzepten das PPR-Modell wiederum um ein Organisationsobjekt, ¹¹⁴⁴ um es im PLM-Kontext speziell für die Belange des Extended Enterprise (EE) zu modifizieren. Pfrommer et al. (2013) ergänzen in ihrem PPRS-Schema schließlich eine Fähigkeitskomponente (Skills); Yu/Zhao (2013) konzipieren wiederum ein RPPR-Schema, das zusätzlich mit einem Anforderungsmodell (Requirements Model) aufwartet. Ob solche Ergänzungen des PPR-Schemas tatsächlich unerlässlich sind, sei dahingestellt, weil etwa die Projektdimension im direkten Zusammenhang mit der Produkt- resp. Prozessdimension, oder die Werksdimension im direkten Kontext zur Ressourcendimension steht und sich prinzipiell aus diesen erschließen lässt. Gleiches trifft auf die Fähigkeiten zu; sie sind letztlich nicht mehr als eine qualifizierende Konkretisierung der Ressourcendimension. Mit Blick auf das Anforderungsmodell geht es um spezifische PPR-Sichten, da sich das Requirements Engineering in Closed-loop U-PLM-Systemen gerade jeweils auf alle drei PPR-Dimensionen gleichzeitig erstreckt. Es handelt sich also in allen Fällen um nicht notwendig zu ergänzende Klassen. Anders verhält es sich in

¹¹³⁹ Vgl. Gerritsen et al. (2011: 459).

¹¹⁴⁰ Vgl. hierzu auch Jung/Choi/Song (2007).

¹¹⁴¹ Vgl. hierzu Kiritsis (2011).

¹¹⁴² Ebert/De Man (2008) differenzieren lediglich zwischen Projekt, Produkt und Prozess.

¹¹⁴³ Batres/Aoyama/Naka (2002) differenzieren allein zwischen Produkt, Prozess und Betriebsstätte (plant).

¹¹⁴⁴ Swain et al. (2010) differenzieren lediglich zwischen Produkt, Prozess und Organisation. Dies ist auch bei Robin/Girard (2006) der Fall; die Ressourcendimension ist dabei Teil des Organisationsmodells, vgl. hierzu auch Gupta/Gurumoorthy et al. (2010).

der Frage der CPSS-Adäquanz. Hier ist das PPR-Framework im Zeichen des Perdurantismus (vgl. Pkt. 6.2.5) im 4D-Sinne zu spezifizieren. Xiao et al. (2010) haben ein Product Lifecycle Information Model (PLIM) als 4D-Modell entwickelt, das PLC-Daten für Simulationszwecke wie für Zwecke aktiven Prozessmanagements in einen raum-zeitlichen Kontext setzt. Jun/Kiritsis (2012) suchen auf dieser Grundlage das PPR-Framework um die raum-zeitliche Komponente zu erweitern und sprechen statt von PPR nunmehr von PPRLT (Product, Process, Resource, Location, Time). Mit der erforderlichen IoX- bzw. CPSS-Adäquanz des PPR-Frameworks ist dieses zwingend im PPRLT-Sinne vorzusetzen.

Ähnlich zu Kim et al. (2008) fokussieren Choi/Yoon/Noh (2010) mit dem PPR-Framework den Aspekt der Datenintegration; mit PPRX definieren sie ein XML-basiertes Datenformat zum Austausch von PPR-Daten zwischen heterogenen PLM-Systemen sowie anderen Applikationen. Ein solches PPRX-Datenformat muss vor allem deshalb vom Grundsatz her vielversprechend erscheinen, als PLM-Systeme auf Basis des PPR-Frameworks immer auf die Integration der gesamten Supply Chain zielen, womit ihr Stellenwert als Integrationsplattform des Smart Enterprise mitsamt der Einbindung von Zulieferern und Kunden resp. vor- und nachgelagerter Wertschöpfungsstufen nochmals deutlich wird. Schließlich ist festzustellen, dass sich selbst Fentons (1991) ursprüngliche Anwendung des PPR-Frameworks im Bereich des Software Engineerings ebenfalls direkt auf PLM-Systeme übertragen lässt, wenn es gilt, eine PLM-Metrik zu schaffen.¹¹⁴⁵ Diese setzt gleichermaßen in zentraler Weise an Prozessen an, indem Prozesskennzahlen (KPI) im Vordergrund stehen. Insgesamt bildet das PPR-Framework einen wesentlichen Schlüssel zur Unterscheidung von PDM- und PLM-Systemen, zum Wesen von PLM-Systemen als wertschöpfungsbezogener Integrationsplattform und schließlich zum Verständnis von PLM-Systemen als komplexe Systeme. Mit den drei PPR-Dimensionen sind U-PLM-Systeme ungleich komplexer als tradierte PDM-Systeme. Dabei wird das Erfordernis einer Ontologie komplexer IoX-Systeme nicht zuletzt vor diesem Hintergrund des komplexen Systemgedankens, den das PPR-Framework impliziert, ersichtlich. Nicht mit der deutlichen Akzentuierung der Produktdimension, wie sie für konventionelle PDM-Systeme kennzeichnend ist, sondern erst mit den drei interdependenten wie gleichberechtigten PPR-Dimensionen mitsamt ihrem komplexen Wechselspiel in PLM-Systemen eröffnet sich der eigentliche Nutzen einer ontologiebasierten konzeptuellen Modellierung und ontologiebasierter Informations- und Wissenssysteme. Vor allem aber macht das PPR-Framework deutlich, wie das Design der grundlegenden Klassen einer PLM-Kernontologie vorzunehmen ist. Im Gegensatz zu einer einfachen Produktontologie muss es gleichzeitig auf alle drei PPR-Klassen abstellen, die sich wiederum in übergeordneter Weise auf dynamische Transformationen bzw. Veränderungen beziehen, was jeder Lebenszyklus naturgemäß mit sich bringt. Auch ist dabei die Immaterialität verschiedener Entitäten zu berücksichtigen, wenn

¹¹⁴⁵ Vgl. hierzu P. Saunders et al. (2013).

es gilt, dass eine sachgerechte PLM-Kernontologie immer auf eine IoX-adäquate Top-level Ontologie zu referenzieren hat.

Analog der Tatsache, dass PDM-Systeme nur eine der drei PPR-Dimensionen von PLM-Systemen sachgerecht abdecken, gilt dies auch in Bezug auf den Produktlebenszyklus, der aus den drei grundlegenden Phasen "Beginning of Life" (BOL), "Middle of Life" (MOL) und "End of Life" (EOL) besteht.¹¹⁴⁶ Wie bereits in Pkt. 1.5 erwähnt, gehört zur BOL-Phase die Konzeption, Definition und Realisierung des Produkts. Die MOL-Phase ist durch Nutzung, Service und Wartung des Produkts gekennzeichnet. Demgegenüber zeichnet sich die EOL-Phase durch verschiedene Szenarien aus, etwa durch die Wiederverwendung des Produkts mit Instandsetzung, der Wiederverwendung von Komponenten mit Demontage und Instandsetzung, der Materialverwertung mit oder ohne Demontage sowie schließlich der Entsorgung mit oder ohne Verbrennung.¹¹⁴⁷ Der Schwerpunkt konventioneller PDM-Systeme liegt dabei nur auf einer dieser drei grundlegenden Phasen, nämlich der BOL-Phase. Demgegenüber fokussieren U-PLM-Systeme den kompletten Produktlebenszyklus, also neben der BOL- auch die MOL- und EOL-Phase. Vor allem im Zuge dieser Ausweitung der Phasen werden PLM-Systeme gerade in der ontologischen Variante auch für die Serviceindustrie interessant; sie besitzen damit einen viel breiteren Industriefokus als PDM-Systeme. Beispielsweise lassen sich ontologiebasierte PLM-Systeme prinzipiell in der Flugzeugwartung und -instandhaltung einsetzen (Aviation MRO).¹¹⁴⁸ Für semantisch interoperable PLM-Systeme bildet das PPR-Framework aus dem Grunde das Integrationskonzept, als es Prozess- und Wissenssysteme ineinander übergehen lässt. Dies ist mit Blick auf die Top-level Ontologie deshalb ein besonders bemerkenswerter Umstand, als sich dadurch die oftmals strikt getrennten Anwendungsbereiche von Ontologien, nämlich die konzeptuelle Modellierung einerseits, und ihre Verwendung in der Wissensrepräsentation (AI) andererseits nicht mehr ohne weiteres trennen lassen. Das PPR-Framework ist in semantisch interoperablen U-PLM-Systemen als kombinierten Prozess- und Wissenssystemen zur Komplexitätsbewältigung konsequent zu Ende zu denken, was auf das im folgenden Punkt erörterte 4D-Lifecycle Framework unter TLO-EO-Verkopplung hinausläuft.

2.5.2 PPRLT 4D-Lifecycle Framework unter TLO-EO-Verkopplung

»The core of PLM is the integrated management of all PPR-related engineering data and the technology to access and utilise this information, so most companies focus on integrating and managing PPR information for successful PLM.«

— Sang Su Choi/Tae Hyuck Yoon/Sang Do Noh (2010: 216)

Mit Blick auf Ontologien ist der Unterschied zwischen tradierten PDM- und modernen U-PLM-Systemen nicht nur aus dem Grunde erheblich, weil nur letztere als prozessuale Wissenssysteme eine weitreichende ontologische Fundierung verlangen und als semantische

¹¹⁴⁶ Vgl. hierzu Jun et al. (2007b), Terzi et al. (2010) sowie Ranasinghe et al. (2011).

¹¹⁴⁷ Vgl. Kiritsis (2011: 481).

¹¹⁴⁸ Vgl. hierzu S.G. Lee et al. (2008).

Prozesssysteme eine umfassende konzeptuelle Modellierung einfordern als auch ontologiebasierte Workflows zur integrativen Steuerung aller PLC-Phasen nahelegen. Vielmehr ist der Unterschied zwischen diesen Systemen vor allem aufgrund des PPR-Frameworks entscheidend, das vollumfänglich nur *Closed-loop U-PLM-Systemen* zugrundeliegt, und in ihrer Eigenschaft als zentraler Integrationsplattform des Smart Enterprise zu verstehen ist: auf seiner Grundlage geht es bei der Ontologie nicht mehr bloß um vergleichsweise einfache Produktontologien, sondern um miteinander in umfassender Weise wechselwirkende Produkte, Prozesse und Ressourcen. Dabei handelt es sich um ganz verschieden geartete Klassen, die sich erst im Zuge einer übergeordneten *Top-level Ontologie* in ein für ihre Abstimmung unabdingbares Kategoriensystem bringen lassen. Somit steht außer Frage, dass einer PPR-basierten Ontologie komplexer IoX-Systeme ein kategoriales Ontologieverständnis zugrunde zu legen ist. Die heute weitverbreitete linguistische AI-Ontologiekonzeption im Sinne Grubers (1993, 1995) wird dieser zentralen Anforderung nicht gerecht. Das gilt nicht zuletzt deshalb, weil bei PLM-Systemen wesentlich die Lebenszyklen von Objekten der PPR-Klassen adressiert werden, womit eine PPR-basierte Ontologie auch *systematisch* mit dem Wandel von Objekten umgehen können muss.

Werden bei PDM-Systemen noch Produkte als zentrales bzw. priorisiertes Element erachtet, lässt sich dies im Kontext des PPR-Schemas in *Closed-loop U-PLM-Systemen* nicht mehr aufrechterhalten. Dieser Umstand ist nicht allein alternativen Modellierungsperspektiven geschuldet, wonach sich nicht nur aus der in Pkt. 2.5.1 dargelegten dreistufigen Schrittfolge zur Synchronisierung des PPR-Frameworks eine übergeordnete Stellung der Produktklasse ableiten lässt. Es wäre in der Tat ein Irrtum, aus dieser Schrittfolge auf eine entsprechende Klassenstruktur schließen zu wollen. Nicht nur ließe sich im PPR-Kontext umgekehrt genauso argumentieren, dass Produkte immer nur das Output von Prozessen darstellen. Daraus würde entsprechend eine übergeordnete Stellung der Prozessklasse folgen, wie sie im PPR-Schema Fentons (1991) im Anwendungskontext des Software Engineerings auch tatsächlich postuliert wird. Vor allem aber ist festzustellen, dass im Zusammenhang mit der Enterprise Architecture, die für PLM-Systeme als Integrationsplattform des Smart Enterprise eine essentielle Rolle spielt, Prozesse einen ebenso zentralen, prinzipiell gleichberechtigten Status besitzen. Eine Priorität der Produktklasse lässt sich in *Closed-loop U-PLM-Systemen* als integrierten Wissens- und Prozesssystemen auch ganz allgemein nicht rechtfertigen. Denn es gibt natürlich auch ontologiebasierte Prozesse, die in keinerlei direkter Beziehung zur Produktdimension stehen. Schon deshalb können Produkte keine den Prozessen notwendig übergeordnete Klasse bilden. Analoges gilt mit Blick auf die Ressourcen. Ungeachtet dieser faktisch bestehenden sachlichen Zusammenhänge lässt sich eine sachgerechte Klassenstruktur auch insgesamt erst im Kontext eines TLO-basierten Kategoriensystems eindeutig bestimmen.

Um das Relationengefüge von PPR-Ontologien exakt definieren zu können, sind drei Relationsarten unabdingbar, wie sie etwa in der BFO-TLO zugrundegelegt werden, auf die

sich auch bereits bedeutende AI-Vertreter wie Poole/Mackworth (2010) stützen: (i) Relationen zwischen Typen, (ii) Relationen zwischen Instanz und Typ, sowie (iii) Relationen zwischen Instanzen.¹¹⁴⁹ Bezüglich der PPR-Klassenstruktur interessiert vor allem die erste: die Typenrelation zwischen Produkten, Prozessen und Ressourcen ist dann anhand der Relationen *is_a* und *part_of* zu überprüfen; die *is_a*-Relation steht dabei im Zeichen der Beziehung zwischen Spezies und ihrem Genus oder für Attributinstanzen;¹¹⁵⁰ die *part_of*-Relation demgegenüber zwischen einem Teil und dessen Ganzem. Bei PPR-Objekten handelt es sich im Sinne Pazzis (1998) um *komplexe Entitäten*, deren Komplexität nicht nur aus der Beziehung zwischen Teil und Ganzem,¹¹⁵¹ sondern vor allem aus dem wechselwirkenden Relationengefüge in den PPR-Stamm- und Bewegungsdaten des jeweiligen IoX-Szenarios resultiert.

Mit einer entsprechenden TLO-Reflexion wird schnell deutlich, dass Produkte, Prozesse und Ressourcen grundverschiedene Klassen darstellen, und dass das eine nicht dem anderen in einer Klassenstruktur als Über- bzw. Unterklasse über- bzw. untergeordnet werden kann. Einfache linguistische AI-Ontologien laufen Gefahr, solche grundlegenden Heterogenitäten von Klassen zu übersehen, indem sie regelmäßig von der Notwendigkeit einer expliziten wie umfassenden TLO-Referenz abstrahieren. Tatsächlich zeigt erst eine TLO-Reflexion auf, wie die Klassenstruktur genau anzuordnen ist; wird darauf verzichtet, unterminiert dies in prinzipieller Weise die Stabilität PPR-basierter semantischer Closed-loop U-PLM-Systeme. Erst die TLO-Reflexion auf Basis IoX-adäquater Top-level Ontologien zeigt, dass es sich bei Produkten und Prozessen um grundverschiedene Entitäten handelt. So repräsentieren bspw. Produkte in der BFO-TLO Kontinuanten (Continuants), Prozesse hingegen Okkurrenten (Occurrents). Der in Pkt. 6.2.5 behandelte Diskurs um den Endurantismus und Perdurantismus und die damit zusammenhängenden weiteren Grundfragen. Dabei wird deutlich, dass die BFO-Differenzierung unhaltbar ist, indem in der Cyber-Physik selbst Objekte *ereigniszentrisch* zu erschließen sind und alles andere auch inkonsistent wäre. Mit dem PPR-Framework als Integrationskern muss eine IoX-adäquate Top-level Ontologie zum einen den fundamentalen Unterschieden zwischen den einzelnen PPR-Klassen gerecht werden, zum anderen auch ihren jeweiligen essentiellen Eigenarten. Das läuft etwa darauf hinaus, dass eine Top-level Ontologie nur dann IoX-adäquat ist, wenn diese auch den gerade für U-PLM-Systeme zentralen Aspekten der modularen Produktarchitektur zur Produktkonfiguration gerecht werden kann. In der BFO-TLO beispielsweise fallen diese unter die spezielle Kategorie *object aggregate*; die BFO-TLO erlaubt etwa gleichermaßen, dass materielle Entitäten immaterielle Aspekte als Teile aufweisen können,¹¹⁵² wie es für komplexe technologische Produkte vorauszusetzen ist. Was aber ist, wenn es zunehmend insgesamt um Immaterielles geht? Dann bekommen solch materialis-

¹¹⁴⁹ Vgl. hierzu bspw. Smith/Ceusters et al. (2005).

¹¹⁵⁰ Vgl. zu *Attributinstanzen* etwa Mertz (2011).

¹¹⁵¹ Komplexe Objekte sind aus anderen Objekten zusammengesetzt, vgl. Parent/Spaccapietra (1989).

¹¹⁵² Vgl. B. Smith (2012b).

tische Ontologien, die unmittelbar auf dem aristotelischen Substanzgedanken aufbauen, ihre Schwierigkeiten. Inwiefern die einzelnen TLO-Theorieanwärter tatsächlich IoX-adäquat sind, ist anhand der im siebten Teil entwickelten Anforderungsspezifikation im Einzelnen zu evaluieren. An dieser Stelle kann festgehalten werden, dass dabei auch die EO-Aspekte einzubeziehen sind: Die Top-level Ontologie ist auf die Belange ihrer integrativen Kernontologie zuzuschneiden, wie es das Postulat der TLO-EO-Verkopplung verlangt.

Insgesamt wird deutlich, dass sich die Frage, welches Verhältnis die drei PPR-Klassen zueinander aufweisen, d.h., ob sie gleichberechtigt nebeneinander oder zueinander in einem Über- oder Unterordnungsverhältnis stehen, nicht ohne weiteres beantworten lässt. Die ontologische Behandlung materieller wie immaterieller Produkte resp. Services, von Prozessen sowie Ressourcen als den drei interdependenten PPR-Klassen kann dabei mit Blick auf die gerade bei variantenreicher Produktion bestehende hohe Komplexität des gesamten Gefüges sowie mit Verweis auf die hohe sicherheitskritische Relevanz von PLM-Systemen nicht einfach auf einer linguistischen Ebene erörtert werden. Vielmehr ist der zwingende systematische Aufbau auf einem TLO-Kategoriensystem schon allein deshalb unumgänglich, weil Produkte, Prozesse und Ressourcen in Closed-loop U-PLM-Systemen Bestandteil eines komplexen Lebenszyklussystems sind. Damit ist das PPR-Framework immer dynamisch zu denken, und es sind gerade Aspekte wie Wandel und Emergenz von Objekten, die ihre informationstechnologische Behandlung vor neue Herausforderungen stellt, die nicht ohne ein kategoriales Ontologiesystem sachgerecht zu lösen sind. Vielmehr läuft das lebenszyklusbezogene PPR-Schema als Kernbestandteil komplexer U-PLM-Systeme darauf hinaus, die Natur von Ereignissen, Aktivitäten, Prozessen und Relationen, von Veränderungen an Objekten usf. genau zu reflektieren. Reine Lightweight-Ontologien stoßen hier sofort an ihre Grenzen; vielmehr werden umfassende Kategoriensysteme unumgänglich, die ihre Wurzel in Top-level Kategorien und Axiomen besitzen, womit insgesamt die *Top-level Ontologie* zum eigentlichen Kern der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* avanciert.

In der Dynamik lebenszyklusbasierter U-PLM-Systeme und ihrer Objekte ist selbstverständlich auch die Frage nach der Berücksichtigung ihrer raum-/zeitlichen Dimension konkret zu hinterfragen. Mit Jun/Kiritsis (2012) ist das PPR-Framework um die raum-zeitliche Komponente zu erweitern, womit an die Stelle des konventionellen PPR-Frameworks nunmehr die PPRLT-Variante (Product, Process, Resource, Location, Time) tritt. In ontologischer Hinsicht zeigt sich damit wiederum das Erfordernis, die ontologische Diskussion grundlegend auf der Ebene der Top-level Ontologie zu verlagern. Dabei wird das enge wie direkte Zusammenspiel zwischen philosophischer Ontologie und jener der Informatik deutlich, das oftmals noch als verzichtbar gesehen wird. So stellt sich für lebenszyklusbasierte PLM-Systeme zwangsläufig die in Pkt. 6.2.5 behandelte Frage nach 3D- vs. 4D-Ontologien, die in der Debatte um *Endurantismus vs. Perdurantismus* mündet. Diese ist – wie auch viele andere Grundsatzfragen – nicht ohne den Rekurs auf die philosophische Onto-

logie zu beantworten. Ihr Einbezug in die Informatik führt dabei immer über die Top-level Ontologie als oberster ontologischer Referenzebene.

Vor diesem Hintergrund wird offenbar, dass die oben aufgeworfene Frage, in welchem Verhältnis die drei PPR-Klassen zueinander stehen, einer tiefergehenden Reflexion bedarf. Tatsächlich ist sie in konzeptionell systematischer Weise allein auf der Grundlage der Top-level Ontologie zu beantworten. Allerdings ist auch dieser Schritt nicht trivial, und das liegt an der Inkommensurabilität der Top-level Ontologien. Denn die oben praktisch aufgeworfene Frage, wie Prozesse einzuordnen sind, ob sie etwa eine unabhängige Klasse bilden, wird durch die heterogenen Top-level Ontologien in verschiedener Weise beantwortet. Analoges gilt etwa hinsichtlich der ontologischen Abbildung von Änderungen an Produkten, womit es etwa um das Verhältnis von Dingen und Eigenschaften oder bei Produktkonfigurationen um strukturierte Objekte geht. Und auch die Behandlung der dritten PPR-Klasse, jene der Ressourcen, ist alles andere als unstrittig. So bleibt in Abhängigkeit der jeweiligen Top-level Ontologie zu diskutieren, welche Dinge unter die Ressourcenklasse zu fassen sind und ob unter diese Klasse lediglich materielle Ressourcen fallen. Ob tatsächlich Immaterielles für sich existiert, ist bekanntlich eine umstrittene ontologische Frage; sie wird in Bunges Materialismus, der hinter der BWW-TLO steht, anders beantwortet als durch Whiteheads Antimaterialismus, auf den sich etwa die Sowa-TLO partiell bezieht. Es ist darüber hinaus eine nach wie vor offene Frage, inwiefern bei Transformationsvorgängen in der Produktionsphase von PLM-Systemen Objektidentität gegeben ist. Mit dem PPR-Schema geht es um physische resp. formale Objektstrukturen, mit den PPR-Klassen um mereologische resp. topologische Relationen sowie davon abgeleitete spezifischere Klassen und Relationen usf. Auch diese und ähnliche Sachverhalte bilden den Gegenstandsbereich der Top-level Ontologie,¹¹⁵³ sie werden jedoch durch die unterschiedlichen Ansätze in Anbetracht ihrer Inkommensurabilität teils grundlegend anders konzipiert. Wenn außer Frage steht, dass eine Ontologie komplexer IoX-Systeme im Allgemeinen und eine PPR-basierte PLM-Kernontologie im Besonderen nicht ohne eine unmittelbare TLO-Referenz realisierbar sind, ist bereits mit ihren hier exemplarisch angeführten qualitativen Unterschieden offenbar, dass eine solche Referenz die Selektion IoX-adäquater Top-level Ontologien voraussetzt.

Für die PPR-basierte Ontologie komplexer IoX-Systeme sind Top-level Ontologien sowohl mit Blick auf die semantische Interoperabilität (ODIS) als auch damit zusammenhängend in Bezug auf ihre konzeptuelle Modellierung unabdingbar. Ontologien müssen entsprechend nicht nur sämtliche PLC-Phasen transzedieren, sondern sind in einem globalen Kontext auch unternehmens- wie industrieübergreifend und damit inhaltlich *transdisziplinär* zu konzipieren. Damit werden Top-level Ontologien nicht nur im Zuge der konzeptuellen Modellierung unverzichtbar, sondern gerade auch im Zuge der Wissensrepräsentation. Erste legt eine universale Weltauffassung, zweite eine transdisziplinäre Struktur nahe.

¹¹⁵³ Vgl. Noy/Hafner (1997: 69), Guarino (1998: 9), Russell/Norvig (2004: 397 ff.) und Batres et al. (2007).

Auch in dieser Hinsicht impliziert der systematische Einsatz der Top-level Ontologie eine Komplexitätsreduktion bei IoX- bzw. U-PLM-Systemen. Indem das PPR-Framework den Integrationskern für Zwecke der integrierten Steuerung von Produktlebenszyklen im Smart Enterprise ausmacht, steht außer Frage, dass sämtliche Ontologien in der produzierenden Industrie und oftmals auch darüber hinausgehend auf eine entsprechende kategoriale, TLO-basierte Ontologiekonzeption zu stellen sind. Das schließt die Möglichkeit ein, Lightweight-Ontologien von Heavyweight-Ontologien abzuleiten.

Das Erfordernis von Top-level Ontologien für PPR-basierte U-PLM-Systeme wird auch anhand der Kritik des PPR-Schemas durch Gómez et al. (2009) nachvollziehbar. Sie kritisieren zu Recht, dass in bisherigen PPR-Modellen keine Top-level Sicht erfolgt, die die drei PPR-Dimensionen integrieren könnte. Während das Top-level Element fehle, würde bisher zumeist das Produkt als zentrales Element erachtet. Um diesen Defekt zu beseitigen, empfehlen Gómez et al. (2009) das "*Lebenszyklussystem*" als verbindendes Top-level Element: Die PPR-Dimensionen sollten dadurch integriert werden, dass man sie unter das Lebenszyklussystem als Top-level Kategorie subsumiert. Indessen führen Gómez et al. (2009) nicht weiter aus, durch welche Aspekte sich diese Kategorie konkret auszeichnen soll. Sie setzt sich bei Gómez et al. (2009) und Baxter et al. (2009) teils auch aus unterschiedlichen Klassen zusammen. Baxter et al. (2009) skizzieren das Lebenszyklussystem zumindest rudimentär, indem sie feststellen, dass die Produktklasse sowohl die Produktarchitektur als auch Produkthanforderungen beinhaltet und dass STEP AP224 zur detaillierten Produktdefinition herangezogen werden kann. Mit Blick auf die Prozess- und Ressourcenklasse verweisen Baxter et al. (2009) auf die *Process Specification Language* (PSL), die im Rahmen der Prozessontologien von Relevanz ist. Allerdings bleibt damit offen, was die Kategorie des *Lebenszyklussystems* als solches konkret auszeichnen soll.

Auf Basis einfacher linguistischer Ontologien würde dieser Defekt vermutlich kaum auffallen; philosophisch geschulte Ontologen sehen indessen auf den ersten Blick, dass ein Lebenszyklus als solcher – gerade in Substanzontologien – keine Kategorie darzustellen vermag. Zudem hätten Baxter et al. zunächst die Frage zu beantworten, um welche Art von Lebenszyklus es sich dabei konkret handeln soll. Selbst wenn dieser übergeordnete Lebenszyklus in Richtung von Prozessontologien weisen sollte, müssten die relevanten Aspekte im PPR-Kontext zunächst einmal systematisch spezifiziert werden. Das würde eine Referenz auf prozessontologische Kategoriensysteme wie jenes Whiteheads (1929a), Reschers (1996, 2000b) oder Seibts (1990b, 2001a). Erst Kategoriensysteme lassen sich auf ihre innere Konsistenz prüfen, was sowohl bei philosophischen Ontologien als auch bei den darauf aufbauenden Top-level Ontologien regelmäßig geschieht.¹¹⁵⁴ Ohne Rekurs auf rigoros entwickelte Kategoriensysteme sind demgegenüber *ad hoc* Klassifizierungen prädestiniert. Diese laufen jedoch Gefahr, die Stabilität komplexer PLM-Systeme zu unterminieren. Das ist aber gerade mit ihrer Eigenart als zentraler Integrationsplattform des Smart

¹¹⁵⁴ Vgl. etwa Jansen (2008a).

Enterprise kaum zu vereinbaren. Daraus folgt, dass alle nicht-kategorialen Ontologiekonzepte wie das Grubersche (1993, 1995), die heute noch in der Informatik *en vogue* sind, gerade für Integrationszwecke völlig unbrauchbar sind. Mit ihrem Unvermögen zur ontologischen Fundierung integrierter Prozess- und Wissenssysteme im industriellen wie in anderen kritischen Kontexten entsprechen sie nicht jenem Kriterium der Allgemeingültigkeit, das eine allgemein akzeptierte Ontologiekonzeption zu erfüllen hat.

Ähnlich unreflektiert ist der Systembegriff, der gelegentlich auch im Sinne des Holismus gebraucht wird. Hier ist beispielsweise zu fragen, aus welchen Elementen ein solches System konkret besteht. Ohne diese Kenntnis lässt sich die Emergenz und Veränderung der Objekte nicht sachgerecht abbilden. Bspw. besteht bei Chandra/Kamrani (2003) die Top-level Klasse im "*System*" im Allgemeinen. Zwar erkennen sie dabei bereits die explizite Rolle von Top-level Ontologien; rekurrieren jedoch im Gegensatz zu Baxter et al. (2009) nicht auf einen konkreten TLO-Theorieanwärter, ohne den sich die Frage nach einer sachgerechten Top-level Klasse nicht beantworten lässt. Dieses Defizit wird dadurch zu umgehen gesucht, indem sie eine generische Taxonomie aus der durch Bertalanffy et alii entwickelten *Allgemeinen Systemtheorie* zu gewinnen suchen. Allerdings ist das ein Trugschluss, denn nicht einmal der Systembegriff an sich wird in diesen Beiträgen in einer Weise expliziert, die einen problemlosen ontologischen Bezug auf die Systemtheorie rechtfertigen könnte. Auch hier gilt: auf Basis rein linguistischer Ontologien, die mit der philosophischen Ontologie resp. Metaphysik explizit zu brechen suchen, würden solche Defekte und potentielle Probleme, die die Stabilität von IoX-Systemen grundsätzlich konterkarieren können, kaum auffallen. Dabei ist davon auszugehen, dass unter Verwendung rein linguistischer Ontologien oftmals nicht einmal ähnlich systematisch vorgegangen wird wie bei Chandra/Kamrani (2003). Denn das Ontology Engineering macht in der Regel nicht einmal an solchen ontologischen Ersatztheorien fest.

Mit Verweis auf die Natur von PLM-Ontologien als Heavyweight-Ontologien kann weder ein Lebenszyklussystem noch ein allgemeines System als Top-level Klasse überzeugen: Weder ist hinreichend geklärt, wie sich diese Kategorien abgrenzen, noch welche Objekte unter diese zu fassen sind. Das wird erst im Zuge der Zugrundelegung bewährter philosophischer Kategoriensysteme möglich, die im fünften bzw. sechsten Teil näher erörtert werden. Dass keineswegs klar ist, was mit "*System*" oder "*Lebenszyklussystem*" gemeint ist, zeigt erst die metaphysische Debatte. Die Informatik kann beides gar nicht sachgerecht adressieren, wenn diese beiden Klassen nicht im Einzelnen geklärt sind. Tatsächlich finden sich beide Gedanken bereits in der aristotelische Metaphysik. Aber sind sie in dieser Weise für die Informatik richtig konzipiert? Ist der Lebenszyklus im Sinne des Entelechiegedankens bzw. mit der Differenzierung von Aktualität und Potentialität für die Disziplin sachgerecht ausgelegt? Ist der Systemgedanke auf Basis einer Substanzmetaphysik richtig verstanden? Oder muss es dabei im Sinne zellulärer Automaten um die organismische bzw. systemische Prozessmetaphysik Whiteheads gehen? An dieser Stelle reicht

der Hinweis, dass es zwei völlig disparate Verständnisse von "System" bzw. "Lebenszyklussystem" sind, womit der metaphysische Diskurs in der Informatik in der erforderlichen Tiefe unabdingbar ist. Die entsprechenden Unterschiede, die zwischen der Digitalmetaphysik Whiteheads und der naturphilosophischen materialistischen Metaphysik bei Aristoteles bestehen, werden mit Pkt. 4.2 bzw. Pkt. 5.2 im Einzelnen offensichtlich. Gängige TLO-Ansätze stehen gerade in der Tradition der aristotelischen Ontologie resp. des aristotelischen Kategoriensystems, das gleichzeitig den eigentlichen Ursprung des Kategoriendens markiert. Diese philosophischen Kategoriensysteme stehen immer im Wechselspiel mit den alles entscheidenden Top-level Ontologien der Informatik und gelangen erst über diese in ihre disziplinäre Sphäre. Das Kategoriensystem ist dabei primär so zu gestalten, dass es mit dem faktisch Seiendem wie den objektivierten Erkenntnissen der Erfahrungswissenschaften korrespondiert. Tatsächlich hat eine rationale Ontologie mit Augustynek/Jadacki (1993: 9) ihren Fokus primär auf die *reale* Welt zu richten. Natürlich ist dann auf Basis der Metaphysik zunächst zu klären, was *Realität* überhaupt ist. Insofern ist damit eine TLO-Referenz nachgeordneten Ontologien impliziert, die bspw. als Domänenontologien in diese Realitätssicht zu stellen sind. Anders ist eine sachgerechte Klassifizierung im transdisziplinären Sinne kaum zu bewerkstelligen.

Ohne eine solche TLO-Referenz bleibt ungeklärt, ob es um konkrete oder um abstrakte Entitäten gehen soll, z.B. um ein physikalisches Objekt oder um ein Informationsobjekt. Genauso unklar bliebe etwa die Differenzierung von Objekt und Prozess. Insbesondere kann auch die Allgemeine Systemtheorie keine geeignete Referenzbasis für PLM-Ontologien bilden. Das beginnt mit dem Holismus, der dieser Theorie zu eigen ist: Chandra/Kamrani (2003) wie Baxter et al. (2009) grenzen PLM-Systeme als das zusammenhängende Ganze im Sinne des Holismus als gesonderte Klasse ab. Im Gegensatz zu anderen Klassen existiert sie aber real nicht; vielmehr konstituieren sich PLM-Systeme erst über die Relationen und das komplexe Zusammenspiel der einzelnen Systemelemente. Sowohl in Bezug auf die konzeptuelle Modellierung als auch auf ontologiebasierte PLM-Systeme im Kontext von Heavyweight-Ontologien ist ein solcher Holismus irreführend und damit inakzeptabel. Das gilt insbesondere dann, wenn PLM-Ontologien in erster Linie auf dem Fundament einer realistischen Ontologie stehen müssen. So stellt auch das Ontology Definition Metamodel (ODM) der OMG (2009a) mit Blick auf die Ziele von Top-level Ontologien darauf ab, dass *komplexe Objekte* als eine Aggregation ihrer Teile aufzufassen sind. Ein solcher Holismus, der insbesondere aus der Verwendung unreflektierter linguistischer Ontologien resultiert, widerspricht damit auch solchen Quasi-Standards und damit zugleich den Anforderungen, die an eine Enterprise Ontology bzw. PLM-Kernontologie für Zwecke der Enterprise Integration zu stellen sind.

Bunge (1979a) hat die vielfältigen Mängel der Systemtheorie als ontologischer Bezugsbasis umfassend herausgearbeitet. In *A World of Systems* plädiert zwar auch Bunge (1979a) für eine umfassende Systemsicht, stellt der Systemtheorie und ihrem Holismus aber gerade

seinen auf die Aggregation von Teilen zielenden emergentistischen Systemismus gegenüber, der als integraler Teil von Bunges Ontologie in Pkt. 5.3 näher erörtert wird. Dort wird auch deutlich, dass es sich bei dieser wie bei anderen Ontologien, etwa der in Pkt. 4.2 erörterten Whiteheadschen Ontologie, explizit um *Systemontologien* handelt. Wesentlich ist hier vor allem die Tatsache, dass die Allgemeine Systemtheorie keine der ontologischen Fragestellungen auch nur annähernd beantwortet; vielmehr setzt sie, wie auch Bunge (1979a: 3) bemängelt, im Gegensatz zur klassischen Ontologie ihre Konzepte einfach voraus. Es bleibt jedoch gerade mit Blick auf die Lebenszyklusbetrachtung von PLM-Systemen genau zu klären, welche Objekte sich wie verändern, weil ansonsten umfassendere Probleme bei der PLC-Steuerung resultieren, die ihre Stabilität gefährden. Demnach kommt man bei einer PLM-Ontologie nicht umhin, zwischen endurantistischen und perdurantistischen Ontologien zu differenzieren. Ihre Wahl ist genau zu begründen, was in Pkt. 6.2.5 näher zu behandeln ist.

Der Allgemeinen Systemtheorie sind solche grundlegenden Debatten in ihrer Eigenart als Technologie genauso wie den meisten Verfechtern linguistischer Ontologien gänzlich fremd. Sie sind aber zu führen, da ohne ihre umfassende Klärung PLM-Systeme mit ihren kritischen Prozessen weder hinreichend stabil noch flexibel konzipierbar sind. Wenn die Allgemeine Systemtheorie ihre Konzepte einfach als gegeben voraussetzt, lassen sich ihre Objekte weder in hinreichend differenzierter noch in tatsächlich einheitlicher Weise behandeln. Das läuft den semantischen Funktionen aller IoX-Systeme zuwider; nicht zuletzt wird damit ihre Inferenzqualität maßgeblich konterkariert. Analoges ist mit Blick auf andere Metatheorien zu konstatieren, wie sie bspw. durch Borst et al. (1997) als "*ontological super theories*" ins Spiel gebracht werden. Zu diesen zählen sie neben der Systemtheorie auch eine universal verstandene Mereologie,¹¹⁵⁵ Topologie sowie die mathematische Graphentheorie. Insgesamt läuft die ontologische Debatte der Informatik damit auf die alles entscheidende Kontroverse um die Top-level Ontologie hinaus. Mit ihr ist diese Debatte im klassischen Sinne zu führen, d.h. ausgehend von der Ontologie als *metaphysica generalis*.

Für U-PLM-Systeme, deren kritische Prozesse unter dem Einsatz realitätsbezogener Heavyweight-Ontologien gesteuert werden, müssen die Klassen realitätsgerecht abgegrenzt, die Kategorien einwandfrei und exakt definiert, und alles mit Blick auf Axiome und Einschränkungen umfassend begründet werden. Das ist natürlich nicht auf Basis simplifizierender Ansätze wie der Allgemeinen Systemtheorie möglich, die mit ihren abstrakten Begrifflichkeiten eher falsche Schlüsse zur Konsequenz hat. Linguistische Ontologien, die von der klassischen existenzbezogenen Ontologie resp. Metaphysik bewusst zu abstrahieren suchen, führen zu einer analogen Problematik. Man kommt nicht umhin, die philosophisch fundierten Top-level Ontologien zu bemühen, die gerade in der Beantwortung aller fundamentalen Fragen ihre Zwecksetzung besitzen. Gilt es IoX-adäquate TLO-Theoriean-

¹¹⁵⁵ Mit *universaler* Mereologie ist hier gemeint, dass diese nicht im Zeichen ganzer ontologischer Systeme steht. Die ontologischen Systeme von Bunge, Whitehead und anderen weisen ihre *jeweils eigene* Mereologie auf.

wärter zu identifizieren, sind im Zuge der TLO-EO-Verkopplung die PPR-Klassen im Zuge der EO-Spezifizierung als integrativer Kernontologie (CO) zu definieren und abzugrenzen. Dabei ist auch hier die Verhältnisbestimmung der Klassen erforderlich; es ist insbesondere zu klären, in welchem Verhältnis Ereignisse und Objekte stehen.

Indem das PPRLT-Framework im Whiteheadschen Sinne in systemisch-evolutionärer Weise zu verstehen ist, erstrecken sich U-PLM-Zyklen nicht nur auf Produktlebenszyklen, sondern genauso auf Prozesslebenszyklen und Ressourcenlebenszyklen. Dabei beziehen sich letztere als generische Klasse auf alles, was im PLM-Kontext als *Ressource* einzustufen ist (Anlagen, Software, Wissen usw.). Vor diesem Hintergrund sind *Ressourcen* im PPRLT-Framework grundsätzlich als *Assets* bzw. als Aktiva zu verstehen. Insofern geht es insgesamt um das lebenszyklusorientierte Management der Aktiva; bei Maschinen und Anlagen erfährt somit das *Enterprise Asset Management* (EAM) bzw. *Asset Lifecycle Management* (ALM) Relevanz. Für Betrieb und Wartung etwa von *Engineering Assets* sind bereits ontologische Modelle entwickelt worden.¹¹⁵⁶ Insbesondere die TLO-EO-Verkopplung stellt die gemeinsame Sicht auf Produkt-, Prozess- und Ressourcenlebenszyklen sicher, über die sich erst die PLM-Integration realisieren lässt.¹¹⁵⁷ Im Zusammenspiel mit EM-, EI- und EE-Aspekten lassen sich entsprechende Bemühungen auf den gesamten *Enterprise Life Cycle* (ELC) ausdehnen.¹¹⁵⁸

2.6 Smart Factory Holonic Manufacturing Systems (HMS) als CPPS-Beispielfall

»Recent emphasis on enterprise integration [...] requires shared ontologies that can support applications across all areas of a business, including engineering, manufacturing, accounting, and sales.«

— John F. Sowa (2000: 53)

Jedes IoX-System ist mindestens insofern ein AI-basiertes Produktionssystem, als es im IoX-Hyperspace um die Bereitstellung von *Services* geht. Diese können vielfältiger Art sein, und sich bspw. auf die Infrastruktur, etwa auf Payments in IoT-Kontexten beziehen. In aller Regel geht es bei solchen *Services* um den parallelen Vollzug von realen *Services* und SOA-basierten *Web Services*. Diese Parallelität besteht bspw. bei der Predictive Maintenance. Neben der Bereitstellung von *Services* kann es auch um Informationsproduktion gehen, die sich im Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz vollzieht. Die diffizilsten AI-Produktionsszenarien sind indessen solche, in denen es neben diese Fällen primär um die Produktion physischer Güter geht. Diese vollzieht sich nicht nur selbst auf Grundlage Cyber-physischer Produktionssysteme (CPPS), sondern sie bringt im 4DP-Sinne zunehmend auch Güter hervor, die ihrerseits wiederum als Cyber-physische Systeme (CPS) einzustufen sind. Neben der 4DP-Produktion bildet etwa die Fertigung vollautonomer Roboterfahrzeuge vom SAE Level 5 auf Basis konventioneller Fertigungs-

¹¹⁵⁶ Vgl. etwa Koukias et al. (2013).

¹¹⁵⁷ Vgl. hierzu auch Batres/Aoyama/Naka (2002).

¹¹⁵⁸ Vgl. hierzu auch Batres/Naka/Lu (1999).

verfahren dazu ein Beispiel. Wenn es um das Gesamtverständnis der AI-Forschung geht, dann sollte nicht am einzelnen isolierten Roboter angesetzt werden. Vielmehr zeigt das *U-PLM-Referenzszenario* das Erfordernis auf, vernetzt zu denken. Denn tatsächlich sind AI-Technologien allein in ihrem interdependenten Zusammenspiel entlang des *Product-Service Lifecycle Systems* (PSLS) verstehbar und sachgerecht entwickelbar.

Wesentlich ist der Systemgedanke, wobei dieser mindestens drei entscheidende Facetten aufweist, die in ihrer Interdependenz nur im Systemismus bzw. der cyber-physischen Relationenontologie Whiteheads verstehbar sind: *Cyber-physischer Systeme* (CPS) mit dem informatorischen Prinzip kausaler Wirksamkeit, indem der einzelne Agent mit seiner *lokalen* Intelligenz steht, *Multiagentensysteme* (MAS) mit ihrer *regionalen* Intelligenz (Schwarmintelligenz), und *Complex Adaptive Systems* (CAS), die im Leibniz-Whiteheadschen Sinne auf eine *globale* Intelligenz hinauslaufen. Dabei ist letztere methodologisch im Popperschen Sinne zu verstehen. Entscheidend ist also, dass der metaphysische Realismus zugelassen und damit eine objektive Realität vorausgesetzt wird. Zwar ist ein solcher "Gottesstandpunkt" weder für begrenzt rationale menschliche Agenten noch für superintelligente maschinelle Agenten erreichbar. Doch entscheidend ist, dass er fiktiv, im Sinne immer besserer Annäherungen für die Gesamtheit aller Agenten höherentwickelbar ist. Dass es eine solche Höherentwicklung gibt, zeigen vor allem die mit den Wissenschaften direkt verwobenen Technologien: Erst der Leibniz-Whiteheadsche Grundstoff der Information hat im Zusammenspiel mit den Wissenschaften faktisch jene Kybernetik und Schaltalgebra eröffnet, die Voraussetzung der heute möglichen Gestaltbarkeit Cyber-physischer Systeme (CPS) sind. Indem diese kausale Bestandteile einer neuen, synthetischen Realität bilden, lässt sich keinesfalls abstreiten, dass es solch objektives Wissen. Genauso wenig lässt sich abstreiten, dass es eine solche Höherentwicklung im objektiven Wissen ungeachtet der durch Popper (1962: 233) selbst betonten Möglichkeit von Rückschlägen gibt. Dieser Aspekt ist elementar, weil er durch weite Teile der Informatik anders gesehen wird, indem sie gerade explizit vom metaphysischen Realismus absieht bzw. nach Möglichkeit die Metaphysik als Ganzes außen vorlassen will. Darin aber besteht gerade ihr grundlegender Fehler, während die ersten beiden AI-Generationen implizit bzw. explizit auf einem metaphysischen Fundament stehen, was auch gar nicht anders möglich ist. Ohne dass die Frage des metaphysischen Realismus geklärt ist, lässt sich auch nicht der "*general world view*" klären, indem dieser bei seiner Geltung bzw. Nichtgeltung auf völlig unterschiedliche metaphysische Dispositionen hinausläuft. Vor allem hängt die Frage, ob sich das Inkommensurabilitätsproblem beheben lässt, entscheidend davon ab. Im Extrem des radikalen Konstruktivismus wäre das Inkommensurabilitätsproblem nicht zu lösen, indem objektive cyber-physische Wahrheiten nicht akzeptiert werden. Diese werden jedoch bei der technologischen Gestaltung *Cyber-physischer Systeme* (CPS) mindestens implizit, und mit der CPS-Interaktion letztlich notwendig, vorausgesetzt.

Wird bei Geltung des metaphysischen Realismus in Systemen gedacht, kommt notwendig der Aspekt globaler Intelligenz ins Spiel und mit diesem auch das elementare Ontologiemoment. Die zweite AI-Generation beschäftigt sich zwar mit neuronalen Netzen, die ebenfalls komplexe Systeme bilden. Es geht bei ihr selbst um die "*embodied-embedded*" Variante der Kognitionswissenschaft. Doch es geht bei ihr letztlich immer um den einzelnen Agenten; ggf. noch um die intersubjektive Perspektive der Schwarmintelligenz. Um ein echtes Leibnizches Automatenuniversum geht es jedoch bei ihr im Allgemeinen nicht. Ein solches Automatenuniversum ist insofern ein AI-basiertes Produktionssystem, als Automaten alle oben genannten Aspekte erbringen. Es entspricht letztlich dem PPR-Framework, indem es um den PSS-Aspekt, um Prozesse und um Ressourcen geht. Das Leibniz-Whiteheadsche Automatenuniversum ist also auf Basis Cyber-physischer Systeme (CPS) als Produktionssysteme zu verstehen, die wiederum komplexe Systeme bilden. Mit einzelnen Agenten sind zudem die neuronalen Netze als komplexe Systeme zu berücksichtigen. Dann jedoch besitzen nicht nur Ontologien einen völlig anderen Stellenwert als noch bei der zweiten AI-Generation. Vielmehr ist damit zusammenhängend auch ein anderes Integrations- und Anwendungsszenario zu berücksichtigen, nämlich eines, das tatsächlich die ganze Bandbreite von AI-Anwendungen abdeckt. Insofern ist beim *U-PLM-Referenzszenario* die Produktions- bzw. Fertigungsphase besonders hervorzuheben, was unter Einbezug physisch realisierter Produkte auf die speziellen Aspekte der *Smart Factory* hinausläuft. Die Sichtweisen und Methoden der AI-Forschung müssen natürlich universal sein; d.h. sie müssen auch in der Lage sein, dieses breite AI-Szenario insgesamt in seiner ganzen Breite zu erfassen. Das jedoch ist weder auf der Metaphysik der ersten, noch jener der zweiten AI-Generation möglich.

Die für die Smart Factory richtige metaphysische Grundlage muss mit Blick auf ihre Cyber-physische Produktionssysteme (CPPS) an sich die Cyber-Physik eröffnen; sie muss die dem CPS-Aspekt die Systemperspektive im Sinne komplexer Systeme und Emergenz eröffnen. Sie hat den Grundstoff der Information im Sinne kausaler Wirksamkeit vorauszusetzen und ist dabei im ED-SOA-Kontext ereigniszentrisch bzw. als exklusivistischer Vierdimensionalismus zu verstehen. Ihre Ontologie ist *metaphysica generalis*, womit für ihre Semantik »metaphysics constrains semantics« gilt. In diesem Sinne ist Ontologie als Weltmodell zu verstehen, das immer auf ein fundamentales Weltmodell, nämlich die *Top-level Ontologie* als oberster Referenzebene der Informatik weist. In ihr besteht das Scharnier von der metaphysischen Ontologie als Cyber-Physik zur *Knowledge Ontology*. Mithin besteht der metaphysische Realismus und objektive Wissen in ihr der eigentliche Gewährsträger jener globalen Intelligenz, die für alle Cyber-physischen Systeme, insbesondere auch jene der *Smart Factory*, ungeachtet der wesentlichen dezentralistischen MAS-Steuerungsparadigmen und lokaler bzw. regionaler Intelligenz unabdingbar sind: Es gibt kein Cyber-physisches System (CPS) ohne Cyber-Physik, und diese ist sowohl in wissenschaftlicher wie gerade auch in technologischer bzw. praktischer Gestaltungshinsicht

unabwendbar mit dem Gedanken objektiven Wissens verknüpft. Dieser hängt wiederum mit dem Ratio-Empirismus der Metaphysik wie dem methodologischen Falsifikationsprinzip zusammen, womit deutlich wird, welche zentrale Bedeutung die *Meta-Ontologie* bzw. die *Top-level Ontologie* als konkrete Referenzebene der Informatik für diese besitzt.

Diese alles entscheidende Stellung der *Meta-Ontologie* bzw. der *Top-level Ontologie* zeigt, dass diese Sichtweise mit dem linguistischen bzw. deskriptiven Ontologieverständnis der ersten AI-Generation wenig zu tun hat. Sie relativiert auch vollständig die Perspektive der zweiten AI-Generation, bei der Ontologien teilweise gar nicht vorkommen bzw. der primäre Fokus in neuronalen Netzen gesehen wird. Daraus folgt, dass das sachgerechte AI-Verständnis der Smart Factory – wie auch aller anderen AI-Szenarien – nur im Zeichen der dritten AI-Generation stehen kann. D.h. auf dem Fundament der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Entsprechend ist Superintelligenz nicht wie bei Bostrom und anderen als philosophischer Sachverhalt zu sehen. An die Stelle bloßer Visionen und Mutmaßungen sollten – und können auch – vielmehr ganz konkrete Kontexte der Informatik, insbesondere der AI-Disziplin treten. Das *U-PLM-Referenzszenario*, in dem die *Smart Factory* mit der Fertigungsphase lediglich ein Baustein von vielen markiert, ist alles gegeben, was es zu einer konkreten Diskussion bedarf. Auch hierbei muss man dann hinunter in den Maschinenraum der Informatik, indem alle Komponenten in den einigenden Kontext der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) zu stellen sind. Was *Superintelligenz* ist, und was nicht, ist bereits an diesem einen Baustein der *Smart Factory* erörterbar. D.h. schon dieser eine Baustein bildet für sich ein hinreichend anspruchsvolles AI-Szenario, anhand dessen die Superintelligenz im Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz bei einzelnen Agenten konkret erörterbar und bestimmbar ist. Das gilt nicht zuletzt aus dem Grunde, indem superintelligente Roboter nicht nur bei der *Smart Factory* in ein übergreifendes System eingebunden sind. Aus Haftungsgründen wie aus Gründen der nachhaltigen Erreichung bestimmter globaler Ziele wird für alle superintelligente Roboter immer diese systemische Verbindung und damit das Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz entscheidend sein. Richtig ist Superintelligenz im Sinne der Generierung und Exploitation von Wissen nur in dieser Konstellation zu verstehen, und deshalb hat die eigentliche AI-Forschung im Sinne der dritten AI-Generation genau hier anzusetzen.¹¹⁵⁹

Der IoX-Hyperspace besitzt feste Strukturen, die einmal in Bezug auf die *Top-level Ontologie* (TLO) in der Cyber-Physik und einem entsprechenden Realitätsverständnis zu sehen sind, und einmal in Bezug auf die *Enterprise Ontology* (EO) im IoT-basierten Wech-

¹¹⁵⁹ Dennoch gibt es davon eine Ausnahme, die allerdings in einem gesonderten Bereich zu berücksichtigen ist. Das ist jene, in der mit diesen beiden vorausgesetzten Gründen, d.h. mit Recht und Ordnung bewusst komplett gebrochen wird. Diese destruktive Komponente von Superintelligenz wird genauso wie andere Sicherheitsaspekte einen wichtigen Gegenstand der Cyber Security bilden müssen. Denn ihr Auftreten ist ebenso wahrscheinlich, wie es im Ganzen absehbar ist, dass das ganze *Computing* im Sinne McCarthys (1963a: 66) auf *Superintelligenz* hinausläuft: Alle Potentiale, die im *Computing* möglich und für spezifische Zwecke nutzbar sind, werden im wettbewerblichen militärisch-industriellen Komplex faktisch auch erschlossen werden. Es stellt sich auch hier dann lediglich die Frage, wer erster und wer letzter ist.

selspiel von Dingen (Produkten) bzw. Services, Prozessen und Ressourcen. Dabei beziehen sich diese nicht allein auf die IoT-Sphäre, sondern sind etwa auch vor dem Hintergrund der in Pkt. 3.2.3 näher umrissenen IoT/IoIT-IoP-Kopplung des *Social Manufacturing* zu sehen. Alle fünf IoX-Subsysteme, also IoD, IoS, IoT, IoA und IoP sind unmittelbar interdependent. Entsprechend ist mit Pkt. 2.4 auch die *TLO-EO-Verkopplung* für die *Smart Factory* in vielfältiger Weise von Belang. Das gilt etwa mit ihren CPPS in Bezug auf den CPSS/SEA-Aspekt als solchen oder in Bezug auf PLM-relevante Ontologieaspekte, indem die *Smart Factory* nicht nur als PLM-Phase aufzufassen ist, sondern mit ihrem Losgröße-1-Szenario in komplexeren Strukturen wesensnotwendig auf dem PLM-basierten Variantenmanagement aufbaut. Insofern bilden PLM-Systeme auch die produktdatenbezogene bzw. PSS-basierte Integrationsplattform der *Smart Factory*. Demnach ist auch das PPR-Schema für die *Smart Factory* von fundamentalem Belang.¹¹⁶⁰ Letztlich ist der ganze Gedanke der *Smart Factory* dezidiert ein ontologischer ist, womit die *TLO-EO-Verkopplung* entsprechend essentiell ist. Das gilt gleich doppelt, nämlich zum einen in Bezug auf ihre Entwicklungsgeschichte, wenn ihr eigentlicher Ursprung in Suda (1989, 1990) *Future Factory* zu sehen ist, und zum anderen damit direkt verbunden in konzeptioneller Hinsicht, indem jenseits alternativer Ansätze die Zukunft der *Smart Factory* auf MAS/CAS-Basis an den durch Suda (1989, 1990) ins Spiel gebrachten *Holonic Manufacturing Systems* (HMS) festmacht. Zwar werden Kernontologien im Fertigungsbereich nicht immer explizit als PLM-CO verstanden, doch sind sie insofern als solche zu erachten, indem sie letztlich immer auf das PPR-Framework hinauslaufen, das in erster Linie produktzentrisch ist. Anders gewendet handelt es sich um mehr als um bloße *Manufacturing Ontologies*, die nicht als Kern-, sondern als Domänenontologien zu verorten sind. Insofern alle im Folgenden behandelten Ontologieansätze einen domänenübergreifenden, produkt- bzw. PPR-zentrischen Fokus besitzen, wird bei ihnen jeweils von einer "PLM-CO" gesprochen.

Es gibt eine Reihe fertigungsorientierter Kernontologien, von denen hier vier herausgegriffen werden, die den Stand sowie die Probleme der Ontologieforschung im Bereich der *Smart Factory* greifbar machen. Das sind (i) AVILUS, (ii) MASON, (iii) die *Manufacturing Core Concepts Ontology* (MCCO), sowie schließlich (iv) ADACOR. Ad (i) AVILUS ist nicht als echte Kernontologie zu verstehen, sondern als Framework; als solches nutzt es Fragmente der SUMO-TLO.¹¹⁶¹ Dabei steht außer Frage, dass dieser Ansatz insofern verfehlt ist, als es sich bei SUMO um eine linguistische TLO-Konzeption handelt, die als CPSS-inadäquat gelten muss. Es handelt sich um einen 3D-Ansatz, der etwa mit Blick auf die Sensorik nicht auf einem adäquaten Physikmodell aufbaut. Es sollte gerade bei der *Smart Factory* mit ihren CPPS genau geprüft werden, ob der im Rahmen der TLO-Referenz bemühte TLO-Ansatz tatsächlich CPSS-adäquat ist. Ad (ii) ist bei MASON positiv herauszustellen, dass der Ansatz wesentlich auf den Grundlagen von Martin/D'Acunto

¹¹⁶⁰ Vgl. etwa Martinez Lastra/Delamer (2009).

¹¹⁶¹ Vgl. hierzu Schreiber/Zimmermann (2011).

(2003) aufbaut, bei denen es sich letztlich um nichts anderes handelt als um eine spezifische Variante des PPR-Frameworks.¹¹⁶² Allerdings ist MASON genauso defekt wie AVILUS, indem auch hier auf einer linguistischen Ontologiekonzeption aufgebaut wird, die dabei in Form der Gruberschen Variante nicht schlechter hätte gewählt werden können. Zudem ist MASON lediglich in OWL implementiert, was zuweilen für den Fertigungsbe- reich formallogisch nicht ausreichend ist. Ad (iii) bringt die auf der *Knowledge Frame Language* (KFL) basierende *Manufacturing Core Concepts Ontology* (MCCO) als *Core Ontology* (CO) der *Loughborough Manufacturing Reference Ontology* (MRO) diverse TLO-Ansätze ins Spiel.¹¹⁶³ Schließlich basiert sie jedoch auf dem Highfleet *Integrated Ontology Development Environment* (IODE) und damit auf der Highfleet *Upper Level Ontology* (ULO),¹¹⁶⁴ die mit Verweis auf Pkt. 6.2.9 mit ihren Lizenzrechten spezielle Nutzungskosten impliziert. Die MCCO steht im Zeichen des *Semantic Manufacturing Interoperability Framework* (SMIF).¹¹⁶⁵ Ungeachtet des ursprünglichen Rückgriffs der *Manufacturing System Engineering Ontology* (MSE) auf OWL, wie er noch bei Lin/Harding (2007) bzw. Chungoora/Young (2008b) erfolgt, wird später auf die auf *Common Logic* (CL) basierende KFL von Highfleet gewechselt,¹¹⁶⁶ weil diese expressiver bzw. explikativer als die auf *Description Logic* (DL) basierende OWL ist.¹¹⁶⁷ Auf CL-Basis wird etwa die Nutzung von PSL möglich, auf der die MCCO auch aufsetzt.¹¹⁶⁸ Denn die CL-Basis ermöglicht die Definition komplexer Beziehungen wie etwa die Position in einer Prozess-Sequenz, während OWL allein die Definition binärer Beziehungen zulässt.¹¹⁶⁹ Im Gegensatz zu AVILUS lässt sich die MCCO in prinzipieller Hinsicht als identisch erachten mit der *PLM Core Ontology* (PLM-CO). Indessen ist die MCCO im Unterschied zu MASON und ADACOR nicht agentenbasiert, was mit der für CPPS unabdingbaren CAS/MAS-Adäquanz als problematisch zu werten ist. Denn Produktionssysteme der *Smart Factory* (CPPS) folgen im Allgemeinen agentenbasierten Ansätzen.¹¹⁷⁰ In der Tat lässt sich nicht zuletzt die durch Hastilow/Young (2012) angedachte *Manufacturing Intelligence* in der *Smart Factory* in ihrem eigentlichen Potential erst auf MAS-Basis erschließen. Ad (iv) ADACOR kann demgegenüber schließlich gegenwärtig als modernste wie zukunfts- offene PLM-CO gewertet werden.¹¹⁷¹ Das heißt indessen nicht, dass dieser Ansatz frei von Defekten wäre bzw. tatsächlich auf den sachgerechten ontologischen Fundamenten aufbaut. Das ist, mit Verweis auf den siebten Teil, tatsächlich nicht der Fall, indem ADACOR

¹¹⁶² Vgl. Lemaignan et al. (2006).

¹¹⁶³ Vgl. Usman et al. (2010, 2011, 2013) sowie Chungoora/Young (2011b).

¹¹⁶⁴ Verschiedentlich, etwa bei Chungoora (2010), ist auch von der *Ontology Works ULO* die Rede, indem Highfleet Inc. zuvor als *Ontology Works Inc.* firmierte, vgl. auch Chungoora/Young (2011b: 4705).

¹¹⁶⁵ Vgl. Chungoora/Young (2011a).

¹¹⁶⁶ Andere, etwa W. Long (2008, 2010), lassen *MES-Ontologien* auf OWL basieren.

¹¹⁶⁷ Vgl. Anjum et al. (2013: 6539), Hastilow (2013: 61) sowie Usman et al. (2013: 6555, 6561).

¹¹⁶⁸ Vgl. etwa Chungoora/Young (2011b).

¹¹⁶⁹ Vgl. auch Hastilow (2013: 61).

¹¹⁷⁰ Vgl. etwa Kannengiesser/Müller (2013).

¹¹⁷¹ Vgl. hierzu Leitão et al. (2003, 2005), Leitão/Restivo (2005, 2006), Borgo/Leitão (2007), Barbosa/Leitão (2010), Dias et al. (2015) sowie Leitão/Barbosa (2016).

auf der DOLCE-TLO bzw. DUL basiert. Zwar handelt es sich mit Blick auf die W3C *SSN Sensor Ontology* um einen in der Sache gängigen TLO-Theorieanwarter, jedoch scheint weite Unklarheit bzgl. dessen tatsächlichen CPSS-Adäquanz zu bestehen. Das gilt umso mehr, wenn auf dieser Basis eine ontologische Fundierung *Holonischer Fertigungssysteme* (HMS) versucht wird. Grundlegend positiv ist zu werten, dass ADACOR wie MASON als moderne Fertigungsontologien MAS-basierte Ansätze verkörpern. Das gilt analog für HMS-Referenzarchitekturen wie PROSA oder HCBA; auch sie stellen MAS-basierte Konzepte dar.¹¹⁷² Dabei decken sich die Holonklassen von ADACOR weitgehend mit PROSA als HMS-Referenzarchitektur.¹¹⁷³ Insgesamt betrachtet bauen also *Holonische Fertigungssysteme* (HMS) in konzeptioneller Hinsicht auf *Holonischen Multiagentensystemen* (HMAS) auf.¹¹⁷⁴ Somit ist jedes HMS als HMAS ein MAS und somit ein CAS,¹¹⁷⁵ wie es MAS-Methodologien für HMS, etwa ANEMONA, unterstreichen.¹¹⁷⁶ Indem sie ein neues Steuerungsparadigma bilden, ist es konsequent, auch MES als *holonische MES* zu konzipieren.¹¹⁷⁷ Mit Weichhart et al. (2002) kann noch weiter gegangen werden, indem sie die Holone im *Holonischen Enterprise* in den Kontext des Servicegedankens stellen, wie er im Zuge der *Service-Oriented Architecture* (SOA) verpflichtend ist.

Während Ursprung wie Zukunft der *Smart Factory* in den seit langem erforschten HMS zu sehen sind,¹¹⁷⁸ spielen sie in vielen Modellfabriken praktisch noch keine Rolle. Das liegt daran, dass die ontologischen Grundlagen der *Smart Factory* noch nicht jene Reife besitzen, um solche HMS CPS-adäquat voll und ganz umzusetzen. Wollte man dies jenseits linguistischer Ansätze wie MASON tun, müsste neben der CPS-Adäquanz der Ontologie letztlich die damit verbundene *TLO-EO-Verkopplung* realisiert sein. Dazu ist jedoch die Ontologiekonzeption von MASON falsch gewählt. Insofern steckt auch die *Smart Factory* ontologisch und damit insgesamt noch in den Anfängen. Das gilt auch dann, wenn mit ADACOR dieser Ansatz in Modellumgebungen unter praktischen Gesichtspunkten erprobt wird. Um den HMS-Ansatz richtiggehend zukunftsfähig zu machen, ist eine Reihe von Aspekten zu korrigieren, die mit seinem metaphysischen Fundament zu tun haben. Dabei läuft die Lösung dieser Probleme letztlich auch in diesem Fall auf die in Pkt. 4.2 behandelte *Klasse-4-Metaphysik* hinaus: Der Begriff "Holon" geht auf Koestler (1967) zurück, der diesen im philosophisch-systemtheoretischen Kontext entwickelt; fünf Jahre später wird er durch Laszlo (1972a) aufgegriffen und im Rekurs auf diesen schließlich durch

¹¹⁷² Vgl. zu PROSA Van Brussel et al. (1998) sowie Valckenaers/Van Brussel (2005); vgl. zu HCBA Chirn/McFarlane (2000).

¹¹⁷³ Das gilt in Bezug auf das *Product Holon* (PH), *Task Holon* (TH) sowie das *Operational Holon* (OH) bei ADACOR. Demgegenüber findet sich das *Supervisor Holon* (SH), das bei ADACOR auf Koordination und globale Optimierung zielt, nicht in der PROSA-Architektur, vgl. Leitão/Restivo (2006).

¹¹⁷⁴ Vgl. etwa Fischer/Schillo/Siekman (2003) sowie Borangiu et al. (2012).

¹¹⁷⁵ Vgl. etwa Giret/Botti/Valero (2005).

¹¹⁷⁶ Vgl. Botti/Giret (2008), Giret/Salido (2013), Giret/Botti (2015) sowie Giret/Trentesaux (2016).

¹¹⁷⁷ Vgl. Valckenaers/Van Brussel (2005) sowie Jarvis et al. (2008).

¹¹⁷⁸ Vgl. dazu Deen (1993), Van Brussel (1994), Van Leeuwen/Norrie (1997), Valckenaers et al. (1998), Van Brussel et al. (1998), Fletcher et al. (2003), McFarlane/Bussmann (2003) und K. Iwamura et al. (2005).

Suda (1989, 1990) auf die *Future Factory* übertragen. Zehn Jahre später generalisieren Gerber/Siekmann/Vierke (1999) den Holon-Aspekt in seiner für MAS-Zwecke relevanten Weise. Ähnliche Ansätze finden sich unter der Bezeichnung *Multi-Agent Collaboration* (MAC).¹¹⁷⁹ Koestlers (1967: 102 f.) *Holarchie* meint dabei eine Hierarchie von Holonen;¹¹⁸⁰ mit Koestler (1969b) geht es dabei um eine *Self-regulating Open Hierarchic Order* (SOHO). Entsprechend stellt sich das "Holon" als *Teil-Ganzes-Beziehung* dar:

»Sub-wholes on any level of the hierarchy are referred to as *holons*. [...] More generally, the term 'holon' may be applied to any stable biological or social sub-whole which displays rule-governed behaviour and/or structural Gestalt-constancy.«^{1181, 1182}

Indessen besitzt die Abkehr vom hierarchischen CIM-Steuerungsparadigma und seine Ersetzung durch das heterarchische oder das beide Momente inkorporierende holonische Steuerungsparadigma der *Smart Factory* nicht allein in Sudas Vision der holonischen *Future Factory* ihren Ursprung.¹¹⁸³ Vielmehr hat sie eine umfassendere Vorgeschichte, die in AI-Hinsicht mit der *Distributed Artificial Intelligence* (DAI) beginnt,¹¹⁸⁴ bei der AI-Technologien mit Sensornetzen verknüpft werden. In Fabrikationshinsicht haben HMS hingegen ihre Vorläufer in drei weiteren Traditionen: Dazu zählen (i) die Weiterentwicklung des Bionic Manufacturing und der fraktalen Fabrik zum holonischen Produktionssystem;¹¹⁸⁵ (ii) die Weiterentwicklung des *Flexible Manufacturing System* (FMS) zum *Holonistic Manufacturing System* (HMS);^{1186, 1187} sowie (iii) das im Jahre 1989 begonnene und durch das japanische MITI geförderte internationale Forschungsprogramm zu *Intelligent Manufacturing Systems* (IMS), das unter Führung von H. Yoshikawa (Tokyo University) teilweise auch als Yoshikawa-Programm bezeichnet wird.¹¹⁸⁸ Vor diesem Hintergrund wird das HMS-Konzept in den 1990er Jahren umfassend entwickelt, und bildet etwa mit ADACOR die Bezugsbasis für Fertigungsontologien.¹¹⁸⁹ Indem ADACOR wie auch andere PLM-Kernontologien bzw. fundamentale Fertigungsontologien wiederum nicht ohne eine TLO-Referenz auskommen, wird deutlich, dass letztlich keine TLO-Explication im Zeichen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* möglich ist, ohne die sehr weitreichenden HMS-Aspekte der *Smart Factory* mit einzubeziehen. Dabei steht außer Frage, dass Holone, Subholone usf. bei MAS-Architekturen weitreichende ontologische Konsequenzen mit sich bringen, die für die Frage der CPSS- bzw. IoX-Adäquanz sowohl der *Top-level Ontologie* als im Zeichen der TLO-EO-Verkopplung auch der *Enterprise Ontology* (EO) von zentra-

¹¹⁷⁹ Vgl. etwa Wilsker (1996) sowie Golpayegani (2015).

¹¹⁸⁰ Vgl. dazu exemplarisch im HMS-Kontext Weichhart et al. (2002).

¹¹⁸¹ Koestler (1967: 341).

¹¹⁸² Mit Koestlers Term "*Sub-whole*" sind zwei Aspekte der einen Entität gemeint: sie ist ein *Ganzes* gegenüber ihren Teilen und gleichzeitig ein *Teil* des größeren (bzw. hierarchisch übergeordneten) Ganzen, vgl. Koestler (1967: 41). Insofern ist ein Holon ein *Teil-Ganzes* bzw. ein "*Sub-whole*".

¹¹⁸³ Der *holonische* Typ ist alternativ zum hierarchischen und heterarchischen, vgl. Van Brussel et al. (1999).

¹¹⁸⁴ Vgl. hierzu R. Davis (1980) sowie Nilsson (1981); dieser Terminus geht auf Sacerdoti (1978) zurück.

¹¹⁸⁵ Vgl. hierzu Tharumarajah (2003).

¹¹⁸⁶ Vgl. dazu Brennan/Norrie (2003) sowie ergänzend Leitão/Restivo (2008).

¹¹⁸⁷ Oztemel (2010) sieht in *HMS* die letzte Stufe intelligenter Fertigungssysteme.

¹¹⁸⁸ Vgl. G.P. Corning (1997) sowie Deen (2003).

¹¹⁸⁹ Vgl. Leitão (2004, 2009b), Barbosa/Leitão (2010) sowie Dias et al. (2015).

ler Relevanz sind. Wenn eine universale *Ontologie komplexer IoX-Systeme* gerade auch die *Smart Factory* ontologisch begründen können muss, besteht eine wesentliche Konsequenz darin, dass jeder CPS-, CPPS-, CPSS- bzw. IoX-adäquate TLO-Theorieanwärter eine MAS-Konzeption in sich verkörpern muss. Diese läuft mit der für Cyber-physische Systeme (CPS) zwingend vorauszusetzenden objektiven physischen Realität geradewegs auf eine Mehrweltenontologie hinaus, wie sie mit Pkt. 3.5 in *CYPO FOX* gegeben ist. Das gilt entsprechend auch für den ganzen Bereich *Robotics and Automation (R&A)*, indem auch hier etwa mit der *IEEE Ontology for Robotics and Automation (ORA)* eine TLO-Referenz gängig ist.¹¹⁹⁰ Wenn deutlich wird, dass letztlich keiner der TLO-Theorieanwärter dieser zentralen Anforderung gerecht wird, müssen die weiteren Forschungsanstrengungen mit Pkt. 8.4 auf einen CPST-adäquaten TLO-Neuentwurf hinauslaufen.

Mit Blick auf das ontologische *IoX-Totalmodell*, das in CPS-Kontexten immer im Sinne der integrierten metaphysischen Wissensontologie zu verstehen ist, wird bereits auf den ersten Blick offensichtlich, dass in Koesters (1967) "Holonen" nicht die richtige Fundierung der AI-Disziplin bestehen kann. Sowohl holonische Multiagentensysteme (HMAS) im Allgemeinen als auch holonische Fertigungssysteme (HMS) im Speziellen bauen dabei fundamental auf Koesters (1967) "Holonen" auf, ohne dass diese Basis jemals in sachgerechter Weise hinterfragt worden wäre. Koesters "Holonen" entsprechen nicht mehr als der populärwissenschaftlichen Sichtweise eines Wissenschaftsautors. Das ist eine andere, vereinfachende Perspektive als jene, die Bertalanffy als Wissenschaftler oder Whitehead als mathematischer Physiker bzw. Cyber-Metaphysiker besitzen. Letztlich basieren auch solche Konzepte auf *metaphysischen ad hoc Annahmen*, auch wenn diese von umfassenderen Werken hergeleitet werden: Tatsächlich beruft sich Koester (1967: 61; 1969b: 192) explizit auf die *Allgemeine Systemtheorie* Bertalanffys, und diese stützt sich wiederum genauso explizit auf die Leibniz-Whiteheadsche Metaphysik. Genauer lässt sich sagen, dass Koester (1967) die Allgemeine Systemtheorie Bertalanffys in partieller Kombination mit der Kybernetik Wiensers wie im expliziten Rekurs auf den Whitehead-Schüler P. Weiss, auf L.L. Whyte sowie H.A. Simons (1962) *Architecture of Complexity* in der Weise weiterentwickelt, dass an die Stelle des Holismus mit den "Holonen" jener Systemismus tritt, der genauso wie alles vorgenannte ursprünglich bei Whitehead zu finden ist. Selbst Koesters hierarchisches Strukturmoment findet sich bereits bei Whitehead (1929a) wie später auch bei Bunge. Allerdings sind solche Hierarchien bei Whitehead im Zuge der Herausbildung von Ordnungsmustern nicht in Koesters technisch-präskriptivem Sinne als vielmehr in einem universalen organismisch-heterarchischen Sinne gemeint, wie es den CAS/MAS-Erfordernissen tatsächlich gerecht wird.

Allen genannten Aspekten ist jeweils gemein, dass sie Teilaspekte aus der Whiteheadschen Metaphysik herausgreifen und konzeptionell ausformen. Indessen sollte die Informatik nicht auf solchen Stückwerkstechnologien aufsetzen, um die es sich ungeachtet ihrer

¹¹⁹⁰ Vgl. etwa Prestes et al. (2014), Fiorini et al. (2015) sowie Jorge et al. (2015).

jeweiligen universalen Perspektive handelt. Denn sie fokussieren damit nur Teilaspekte eines großen Ganzen und übersehen dabei andere wichtige, etwa das metaphysische Kategoriensystem. Damit aber sind sie zur Realisierung einer im Sinne Kuhnscher Normalwissenschaft vereinheitlichten Disziplin gänzlich ungeeignet. Wie wenig der Ursprung der Allgemeinen Systemtheorie in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik verstanden ist, zeigt sich bei Koestler (1969a: 2). Denn er liegt zwar in seiner Kritik von Atomismus, Reduktionismus wie der mechanistischen Weltauffassung richtig, nicht aber mit seiner daran anschließenden Feststellung: »But up to now, no coherent alternative world-view is in sight«. Denn damit zeigt sich, dass ihm offensichtlich die organismische Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) entgangen ist. Dabei ist es gerade diese, die seinen eigenen wie Bertalanffys "world-view" in fundamentaler Hinsicht begründet. Genauso irrt auch Laszlo (1972a) mit seiner *Systems Philosophy*, die wiederum auf Koestlers "Holonen" aufsetzt, wenn Laszlo (1972a: 291 ff.) an diese wiederum explizit mit einer für ihn noch ausstehenden "systems metaphysics" anschließen will. Auch er kann Whiteheads (1929a) Metaphysik nicht verstanden haben, wenn mit Poser (2005) der eigentliche Ursprung der Komplexitätsforschung gerade in der Komplexitätsmetaphysik Whiteheads (1929a) zu verorten ist. Wenn Laszlo (1972a) explizit auf Koestlers "Holonen" aufsetzt, schließt sich der Kreis. Denn es wird bzgl. Koestlers (1967) "Holonen" auch von dritter Seite konstatiert,¹¹⁹¹ dass diese zweifelsohne in Whiteheadscher Tradition stehen.¹¹⁹² Für die AI-Forschung sind diese Feststellungen wesentlich, indem sich damit die Umrisse ihrer eigentlichen metaphysischen Basis akzentuieren, die nicht jene ihrer ersten bzw. zweiten Generation sein können. Sie kann jedoch genauso wenig in solchen Konzepten liegen, die weder im Ganzen durchdacht sind noch alle wesentlichen Aspekte kohärent abdecken. Vor allem aber können diese das metaphysische Original qualitativ nicht annähernd erreichen. Das liegt nicht zuletzt darin begründet, dass letzterem neben dem metaphysischen Logizismus auch der Ratio-Empirismus inhärent ist, was eine direkte Durchgängigkeit zu den Struktur- und Erfahrungswissenschaften garantiert.

Der Umstand, dass weder Koestlers (1967) Holarchien noch Laszlos (1972a) *Systems Philosophy* es mit Whiteheads Prozessmetaphysik aufnehmen können und im Gegensatz zu dieser den durch McCarthy (1995) postulierten "*general world view*" für die AI-Disziplin wie für die Informatik insgesamt nicht begründen können, hat verschiedene Gründe. Diese lassen sich auf folgende elf Argumente verdichten: (i) weder bei Koestler (1967) noch bei Laszlo (1972a) handelt es sich um einen *Ratio-Empirismus* und damit um eine techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik, die zugleich Digitalmetaphysik ist. Damit fehlt (ii) die Durchgängigkeit zu den Erfahrungswissenschaften mitsamt einer empiristischen Universalsynthese und genauso (iii) die Kategorialanalyse, die im Wesentlichen die rationalistische Abstraktion im *Ratio-Empirismus* verkörpert, indem diese (iv) im Einklang mit dem

¹¹⁹¹ Koestler (1967: 200) bezieht sich auch explizit auf Whitehead.

¹¹⁹² Vgl. etwa Sayeed (1990); vgl. ferner Hollick (2006).

Strukturalismus bzw. der mathematischen Logik erfolgt. Beides fehlt bei Koestler (1967), während Bertalanffys eigene Defizite die Wesentlichkeit dieser Position unterstreichen: Die fehlende Kategorialanalyse wird entsprechend in Bezug auf die *Allgemeine Systemtheorie*, die die eigentliche Basis für Koestlers (1967) "Holonen" stellt, in Pkt. 6.1.3 kritisiert. Vor dem Hintergrund dieser Kritik und der mit der absenten Kategorialanalyse fehlenden Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis wird (v) ersichtlich, dass weder die Wesentlichkeit der Ereigniskategorie als elementarer AI-Kategorie erkennbar ist noch sich ihre Verhältnisbestimmung zu anderen Kategorien vollziehen lässt. Zwar differenziert Koestler etwa *physical/mental events* bzw. *public/private events*, doch kann die AI-Disziplin schon allein deshalb nicht auf ihnen aufbauen, weil das Verhältnis zwischen metaphysischen und semantischen Kategorien nicht behandelt wird. Entsprechend spielen Ereignisse als semantische Kategorie bei Koestler (1967) keine Rolle.¹¹⁹³ Genauso unklar bleibt die Behandlung von Perzeption bzw. Sensorik; wenngleich Koestler ein "sensory-motor system" thematisiert,¹¹⁹⁴ und es gelte, dass »all our perceptions are coloured by imagination«,¹¹⁹⁵ fehlt jene Systematik, die in der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik angelegt ist. Das liegt wiederum daran, dass Koestler diese Momente auf Basis seiner "perceptual holons" behandelt,¹¹⁹⁶ jedoch das "Holon" als bloße *Teil-Ganzes-Beziehung* nicht die Güte des eigentlichen Originals besitzt, das über Wiener und Bertalanffy in den Leibniz-Whiteheadschen *Automaten* gesehen werden muss.¹¹⁹⁷ Gerade mit Blick auf die Perzeption und Kognition sollte es im darauf aufbauenden Sinne J. von Neumanns gelten, zwischen distinkten Automatenklassen zu differenzieren. Das impliziert wiederum bei den oberen Automatenklassen eine erforderliche Differenzierung von Agentenklassen, wobei sich grob zwischen menschlichen und maschinellen kognitiven Agenten differenzieren lässt.

Koestlers (1967) technische Weltsicht ist eine kybernetisch-systemtheoretische, der das für die AI-Disziplin gerade entscheidende Moment jedoch fehlt, nämlich gerade diese echte Agentenperspektive.¹¹⁹⁸ Auch wenn Koestlers (1967) *The Ghost in the Machine* gerade auf die Überwindung des metaphysischen Cartesischen Dualismus zielt,¹¹⁹⁹ hätte Koestler auf Leibniz bzw. Whitehead rekurrieren müssen, indem dieser auch nur metaphysisch überwindbar ist. Während bei Whitehead die *Subjekt-Superjekte* die Agenten repräsentieren, übernehmen diese Rolle bei Koestler (1967) die Holonen selbst: Bei einem *Ho-*

¹¹⁹³ Koestler (1967) verbleibt mit seinen "coded signals" vielmehr auf der *syntaktischen* Ebene.

¹¹⁹⁴ Vgl. Koestler (1967: 77 ff., 96 ff.).

¹¹⁹⁵ Vgl. Koestler (1967: 103), Hvh. im Orig.

¹¹⁹⁶ Vgl. Koestler (1967: 82).

¹¹⁹⁷ Es ist für solche populärwissenschaftlichen Interpretationen typisch, dass ihre eigentlichen Grundlagen, auf denen sie stehen, namentlich die Leibniz-Whiteheadsche Metaphysik, mehr oder weniger unerwähnt bleiben. Leibniz und Whitehead werden bei Koestler nur je ein Mal in einem zusammenhangslosen Kontext erwähnt und nicht einmal zitiert.

¹¹⁹⁸ Koestler (1967: 334 f.) bezieht sich zwar auf Saunders' "chemical agents", doch gehen diese mit AI-Agenten nicht konform. Für die AI-Disziplin ist die Differenzierung perceptiver und kognitiver Automatenklassen im Leibniz-Whiteheadschen Sinne weitaus geeigneter, womit der Agentengedanke eine höhere Intelligenz im Sinne des Kantischen Agenten voraussetzt. Alles andere wäre für die AI-Disziplin vor dem Hintergrund ihrer zentralen *Belief Systems* bzw. Agentenwelten (Thinking Space) fehlleitend.

¹¹⁹⁹ Vgl. hierzu Koestler (1967: 204 f.).

lon handelt es sich wie bei einem *Agenten* um eine intelligente Entität, die zur Interaktion mit seiner Umwelt fähig ist und dabei Entscheidungen zur spezifischen Problemlösung trifft.¹²⁰⁰ Bei Koestler (1967) ist auch im universalen Sinne von "belief-systems" wie von "collectively shared belief-systems" die Rede.¹²⁰¹ Dennoch sind Holone nicht mit Agenten identisch,¹²⁰² was (vi) ebenfalls gegen die Grundlegung des AI- bzw. MAS-Gedankens auf Basis von Koestlers Holonen spricht, wie er jedoch im HMAS-Sinne in der AI-Disziplin heute im Kontext der *Smart Factory* gegeben ist. Das gilt etwa insofern, als sie zur gleichen Zeit die Rolle von Teil und Ganzem einnehmen; entsprechend wird bei Koestler (1967: 265 f.) auch ein "Group Mind" als *Holon* aufgefasst,¹²⁰³ womit kaum eine sachgerechte Abgrenzung möglich wird. Das hängt wiederum damit zusammen, dass die metaphysischen Kategorien fehlen, womit sich auch in semantischer Hinsicht keine TLO-Kategorien anschließen lassen. Indem jedoch die dritte AI-Generation im Kontext der Cyber-Physik auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hinausläuft, mit der die *Top-level Ontologie* mitsamt von TLO-Kategorien bzw. einer TLO-basierte Semantik zwingend wird, lassen sich weder holonische Multiagentensysteme (HMAS) wie holonische Fertigungssysteme (HMS) im Ganzen tatsächlich auf Basis von Koestlers (1967) "Holonen" begründen.

Analog dazu ist (vii) keine *integrierte metaphysische Wissensontologie* möglich, wie sie die AI-Ontologie jedoch gerade benötigt. Damit ist (viii) zu bemängeln, dass das systemtheoretische Holonenmodell auch für wissenschaftliche AI-Zwecke im Sinne der *Semantic E-Sciences* unbrauchbar ist, wenn ihm einerseits der techno-wissenschaftliche Unterbau, andererseits die eigentliche globale Intelligenz im deduktiven Sinne fehlt. Insgesamt betrachtet handelt es sich auch (ix) nicht um revisionäre Metaphysik. Eine durchgängige Ontologiekonzeption ist damit verbaut. Von "Ontologie" ist bei Koestler (1967) auch gar keine Rede, während HMS gerade auf fundamentale *Manufacturing Ontologies* hinauslaufen, wie es etwa mit ADACOR deutlich wird. ADACOR basiert mit DOLCE jedoch auf linguistischen Kategorien und repräsentiert damit weder die für die CPSS-Adäquanz erforderliche *integrierte metaphysische Wissensontologie* noch überhaupt eine revisionäre Metaphysik. DOLCE als TLO-Basis ist dabei insofern nicht zu rechtfertigen, als CPPS-Agenten dabei im Sinne von Computern als *Reality Machines* (x) "in der Welt" sind; sie sind kausal "real", während der Realismus bei Koestler (1967) gar nicht als solcher thematisiert wird. Das liegt wiederum gerade daran, dass es sich bei Koestler (1967) im Ganzen nicht um Metaphysik handelt. Viele AI-Forscher haben dies bislang für einen Vorteil gehalten; tatsächlich aber ist das ein ganz entscheidender Nachteil. Denn die Informatik kommt gerade nicht um eine klare Position zum metaphysischen Realismus herum. Die Devise "*AI is metaphysics*" stellt sich nicht zuletzt vor der Realitätsfrage; solange unklar

¹²⁰⁰ Vgl. Koestler (1967: 55, 96 f.).

¹²⁰¹ Vgl. Koestler (1967: 266).

¹²⁰² Vgl. hierzu Marík/Pechoucek (2001), Marík et al. (2002) sowie Giret/Botti (2004).

¹²⁰³ Konkret geht es dabei um das "*social holon*"; dieses umfasst zugleich Individuen, Familien, Stämme oder Völker, vgl. Koestler (1967: 341).

ist, was in der AI-Disziplin "Realität" ist, bleibt alles unklar. Dabei ist vor allem darzulegen, was genau eine cyber-physische Realität ausmacht und wie Cyber-physische Systeme (CPS) in ihr genau, etwa kausal, eingebettet sind. Bei Koestler (1967) bleibt dies wie bei Bertalanffy unklar. In AI-Szenarien wird dies deshalb zum Verhängnis, indem in HMS- und anderen AI-Kontexten insbesondere die kausalen Wechselwirkungen zwischen physischer Welt und Cyberwelten eine metaphysische Basis einfordern, die Koestler (1967) nicht liefern kann. In dieser fundamentalen Hinsicht sind seine "Holonen" (xi) somit als CPSS-inadäquat zu werten. Koestlers holonisches "Ontologieverständnis" ist in Wirklichkeit keines – allenfalls in jenem unzureichenden Sinne, in dem Laszlo (1972b: 5) selbst den Holismus als "Ontologie" erachtet. Aber das ist natürlich keine Ontologie, wie sie sachgerecht als *metaphysica generalis* zu fassen ist. Vielmehr handelt es sich um nicht mehr als um Heuristiken zur Strukturierung der Welt, die jedoch keine universalontologische Funktion besitzen können. CPS, CPPS, CEP, CAS, MAS bilden wie der HMAS- bzw. HMS-Ansatz für sich genommen Stückwerktechnologien. Zu diesem Ergebnis kommt auch Calabrese (2011) in seiner konstruktiven Kritik holonischer Systeme:

»[A] major breakthrough in holonic applications may come from the adoption of a suitable model capable of handling different Holonic Systems properties such as self-organization, self-similarity, capability of handling hierarchically-nested granularity levels and even selfdescription [...] within a single computational model.«¹²⁰⁴

Dabei weist auch Calabrese (2011) letztlich auf nichts anderes als auf die Tatsache, dass alles *Computing* ein *Ontological Computing* ist, und das kann im Leibnizschen Sinne allein Ontologie in der durch Wolff (1730) auf Leibnizscher Basis abgegrenzten *metaphysica generalis* bedeuten. Es gilt somit auch im Fall Koestlers das durch Whitehead aktualisierte Leibnizprogramm, das auch als das eigentliche Ursprungsparadigma zu werten ist. Tatsächlich benötigen holonische Systeme in Entsprechung des erforderlichen ontologischen *IoX-Totalmodells* eines metaphysischen Rahmens. Allein die Digitalmetaphysik versteht alle für Computer als *Reality Machines* erforderlichen Aspekte zusammenzubringen. Denn nur von dieser ausgehend lässt sich unter Maßgabe einer wissenschaftsadäquaten Realitätsrepräsentation die kategoriale Struktur der Welt mit der kategorialen Struktur der Wissensrepräsentation über die *Top-level Ontologie* verkoppeln. Entsprechend besteht dieser Rahmen auf Leibniz aufbauend in der Whiteheadschen Prozessmetaphysik; nur sie kann den Weg zu einem CPSS-adäquaten ontologischen Fundament eröffnen. Die Informatik benötigt diese einheitliche metaphysische Basis, um das gesamte AI-Paradigma selbststeuernder zellulärer Automaten aus einem Guss entwickeln zu können. Ein fundamentales Kategoriensystem ist dabei nicht nur im Zeichen der CM-Ontologie mit Blick auf die konzeptuelle Modellierung entscheidend, sondern vor allem im Hinblick auf die sachgerechte Auffassung von *Ontologie* als *integrierter metaphysischer Wissensontologie*. Somit gilt, dass die für HMS vorauszusetzende Enterprise Architecture (EA) auf prozessmetaphysischer Basis zu errichten ist. Mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 stellen erste EA-Frameworks

¹²⁰⁴ Calabrese (2011: 45).

bereits auf 4D-Prozessontologien ab, sind aber indessen keinesfalls zu Ende gedacht. Werden sämtliche EA-Aspekte systematisch auf prozessmetaphysischer Basis entwickelt, läuft der EA-Ansatz auf die SEA-Aspekte von CYPO FOX hinaus. Indem in IoX-Umgebungen vielzählige CPS (W1) einer synthetischen Realität mit genauso vielzähligen MAS (W4) verkoppelt sind,¹²⁰⁵ sind beide Sphären einheitlich als *Complex Adaptive Systems* (CAS) zu adressieren. Dabei lassen sich ihrerseits ein physischer W1- und ein virtueller W4-Teil differenzieren. Indem U-PLM-Systeme variantenbedingt die *Smart Factory* fundieren, wird deutlich, dass eine IoX-adäquate TLO-Konzeption neben der CPSS-Adäquanz genauso die MAS-Adäquanz notwendig voraussetzt.

Dass *Ontologie* im IMKO-Sinne als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu sehen ist, folgt unmittelbar aus der CPS-Logik. Als kognitive Systeme implizieren CPS immer eine situations- bzw. kontextbezogene Perspektive. Weltenbezogene, insbesondere reale Situationen bzw. Kontexte, die im Sinne der metaphysischen Ontologie primär ereigniszentriert zu verstehen sind, münden dann in SAW-/CAW-Ontologien, die als Wissensontologien unmittelbar auf die metaphysische Ontologie im Sinne der fundamentalen Weltstrukturen Bezug nehmen. Mit A.K. Dey (2001) lässt sich *Kontext* dabei verstehen als »any information that can be used to characterise the situation of an entity«,¹²⁰⁶ was mit Whiteheads Prozessmetaphysik konform geht, in der Objekte in Ereignissen situiert sind. Demnach gilt mit A.K. Dey (2001): »A system is context-aware if it uses context to provide relevant information and/or services to the user, where relevancy depends on the user's task«. ¹²⁰⁷ Bei diesen Entitäten handelt es sich in CPS- bzw. CPPS-Kontexten sowohl primär um *realweltliche* als sekundär auch um *cyberweltliche* Objekte und Ereignisse. Vor allem müssen sich diese realweltlichen und cyberweltlichen Objekte und Ereignisse miteinander in Bezug setzen lassen, was eine CPSS-adäquate *Top-level Ontologie* voraussetzt. Die situations- bzw. kontextbezogene Perspektive ist für die *Smart Factory* mindestens elementar, indem die Intelligenz der Fabrik zuvorderst in ihrer autonomen Adaption auf das Eintreten bestimmter Situationen in bestimmten Kontexten begründet liegt. Zuweilen wird das ganze Verständnis der *Smart Factory* an ihrem CAW-Moment festgemacht, wenn diese definiert wird »as a factory that is contextaware and assists people and machines in execution of their tasks by using context«. ¹²⁰⁸ Indem die Sensorik hier eine zentrale Rolle spielt, ist evident, dass die Situationserkennung auf eine *Sensor Fusion* hinausläuft,¹²⁰⁹ die bei komplexen CPS bzw. CPPS eine *Multisensor Data Fusion* (MSDF) impliziert.¹²¹⁰ Wirkliche Intelligenz lässt sich auch in dieser Sache erst auf Ontologiebasis realisieren,

¹²⁰⁵ Bei den sozialen Interaktionswelten (W4) sind nicht nur *kollaborative*, sondern genauso *kompetitive* Ansätze zu berücksichtigen, vgl. hierzu etwa 't Hoen et al. (2006).

¹²⁰⁶ Vgl. A.K. Dey (2001: 5), ohne Hvh. des Orig.

¹²⁰⁷ Vgl. A.K. Dey (2001: 5), ohne Hvh. des Orig.

¹²⁰⁸ Vgl. M. Wieland et al. (2010: 379); vgl. ähnlich Lucke et al. (2008: 116).

¹²⁰⁹ Vgl. Lucke et al. (2008: 117).

¹²¹⁰ Vgl. hierzu Engle et al. (2013).

womit die bereits erwähnte höhere Daten- bzw. Informationsfusion (HLIF) eine TLO-Referenz genauso wie das globale Intelligenzmoment erforderlich macht.

Entsprechend konstatieren Legat/Seitz et al. (2014: 3448) im Kontext der *Smart Factory*: »To support the alignment of ontology modules, a common modeling paradigm is extremely helpful, which may e.g. be provided via a common top-level ontology«. Mehr noch: die *Top-level Ontologie* ist dabei nicht nur außerordentlich nützlich, sondern sie wird bei integrierten SEA-Architekturen komplexer IoX-Systeme auch zwingend, weil ansonsten bei hochautomatisierten Systemen Semantikfehler nicht zu vermeiden sein werden.¹²¹¹ Dabei werden diese bei kritischen cyber-physischen Prozessen mit ihren Konsequenzen in der physischen Realität kaum akzeptiert werden. Einfache Ontologien reichen entgegen L.F. Lin et al. (2011) oder Yao et al. (2013) bei komplexen Produktionssystemen nicht aus.¹²¹² Nicht umsonst steht bei *Manufacturing Ontologies* für *Smart Factories* wie ADACOR,¹²¹³ die *Manufacturing Core Concepts Ontology* (MCCO),¹²¹⁴ wie auch bei einer Reihe weniger bekannter Ansätze außer Frage, dass im Zeichen der Heavyweight-Ontologie die *TLO-Referenz* zwingend ist. Anders gewendet: ohne die TLO-Referenz und damit ohne die *Top-level Ontologie* ist die *Smart Factory* in ihrem ontologiebasierten Intelligenzkern nicht fachgerecht realisierbar. Indem die globale Intelligenz auch hier im Zeichen der *Enterprise Ontology* (EO) steht, ist die eigentliche Idee der Smart Factory im CPSS/SEA-Zeichen auch erst im Zuge einer echten *TLO-EO-Verkopplung* realisiert, wie sie der Idee von CYPO CEOX entspricht.

2.7 CYPO CEOX: Defizite und Defekte bestehender TLO/EO-Ansätze

»[O]ur work has revealed the need for a substantial improvement in enterprise ontologies to bring them up to 'industrial strength'.«

— Chris Partridge/Milena Stefanova (2003b: 109)

Mit diesem zweiten Teil wird deutlich, dass im ED-SOA-basierten *Real-Time Enterprise* (RTE) die globale Intelligenz komplexer IoX-Systeme besteht, die als einer ihrer Kernaspekte zu werten ist. Denn IoX-Strukturen haben weniger das einzelne *"Thing"* oder den einzelnen *"Service"* im Fokus als vielmehr die Orchestrierung des ganzen Integrationsszenarios. Das bezieht sich wesentlich auf alle drei Dimensionen des in Pkt. 2.5 erörterten PPR-Frameworks, das bei IoX-Systemen prinzipiell in der PPRLT-Variante auszulegen ist. Indem komplexe IoX-Systeme *Cyber-physische Systeme* (CPS) verkörpern, steht außer Frage, dass auch die drei PPR-Dimensionen in diesem cyber-physischen Sinne auszulegen sind. Damit steht nicht nur die zentrale integrative Funktion der *Enterprise Ontology* (EO) außer Frage, sondern auch der Umstand, dass sie mit ihrer CPSS-Adäquanz bzw. ihrem

¹²¹¹ Vgl. hierzu auch Anjum et al. (2012, 2013).

¹²¹² Yao et al. (2013: 3254, 3257) weisen zumindest auf *Heavyweight-Ontologien* hin.

¹²¹³ Vgl. etwa Borgo/Leitão (2007).

¹²¹⁴ Vgl. Usman et al. (2010, 2011, 2013), Chungoora (2010), Chungoora/Young (2011b) sowie Anjum et al. (2012, 2013).

PPRLT-Framework im Zeichen einer genuinen *TLO-EO-Verkopplung* systematisch aus der *Top-level Ontologie* (TLO) heraus zu entwickeln ist. Ohne eine kombinierte CPSS/SEA- bzw. MAS/CAS-Adäquanz kann kein Ontologieansatz den Anforderungen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* und schließlich jenen der Ontologie der Informatik insgesamt gerecht werden. Das gilt gerade auch für die Konzeption der *Enterprise Ontology* (EO) als integrativer *Core Ontology* (CO), die in ihrer strikten TLO-Referenz als *Heavyweight-Ontologie* auszulegen ist.

Wird vor diesem Hintergrund eine Evaluierung aller bisher entwickelten Ontologiekonzeptionen vollzogen, werden die fundamentalen Defizite und Defekte aller bestehenden TLO/EO-Ansätze offensichtlich. Dabei geht es an dieser Stelle allein um die Kritik der unmittelbaren EO-Sachverhalte, indem sich jene der TLO-Sachverhalte in ihrer grundlegenden Natur über alle fünf noch folgenden Hauptteile dieser Abhandlung erstrecken. Letztere besitzen im Zeichen der notwendigen *TLO-EO-Verkopplung* dabei für die Kritik der EO-Ansätze indirekte Relevanz. Die fundamentalen Defizite und Defekte der EO-Theorieanwärter beginnen damit, dass ältere EO-Ansätze wie die *Edinburgh Enterprise Ontology* (EEO),¹²¹⁵ die auch als *AIAI Enterprise Ontology* bzw. von ihren Begründern einfach als *"The Enterprise Ontology"* (TEO) bezeichnet wird,¹²¹⁶ einfache linguistische "Common Sense" Ansätze darstellen. Das ist genauso bei der TOVE-EO der Fall,¹²¹⁷ die explizit ein *"Common Sense Enterprise Model"* verkörpert.¹²¹⁸ Kern der EEO ist also weder eine *Theorie der Unternehmung*, wie sie sich in einer eingeschränkten Accounting-Variante bei der REA-EO findet.¹²¹⁹ Noch ist es ein technisches EA-Framework, wie es die SUPER-EO auszeichnet. Vielmehr ist der Zugang prinzipiell ein linguistischer, indem es gilt: »The central purpose of the Enterprise Ontology is to achieve effective sharing of meaning«. ¹²²⁰ Damit ist auch hier das Inkommensurabilitätsproblem angelegt, indem dieses Verständnis von Ontologie direkt auf Mikas (2007) *"ontologies are us"* hinausläuft. Es gilt damit gerade kein Vorrang einer transdisziplinären Kern-Semantik.

Im Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz muss der RTE-Konnex der gleichen Metaphysik entsprechen wie der einfache lokale Agent im Sinne des Subjekt-Superjekts. D.h. der RTE-Konnex ist genau physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt. Im Sinne von Haeckels (1995, 1999) *Sense-and-Respond Model* müssen auch die Adaptionsprinzipien in einem einheitlichen Schema stehen, wenn lokale,

¹²¹⁵ Vgl. hierzu etwa Grüninger (2003: 528 ff.); vgl. ergänzend O'Leary (2010).

¹²¹⁶ Diese Bezeichnung geht auf das *Artificial Intelligence Applications Institute* (AIAI) der *University of Edinburgh* zurück.

¹²¹⁷ Das TOVE-Projekt zielt darauf ein ontologisches Rahmenwerk für *Enterprise Integration* (EI) zu entwickeln, das auf *Enterprise Modeling* (EM) basiert bzw. darauf zugeschnitten ist, vgl. Grüninger/Fox (1996), Fox/Grüninger (1998) sowie Grüninger/Atefi/Fox (2000). Allerdings sind die TOVE-Ontologien allenfalls sehr bedingt mit dem PPR-Framework kongruent; vgl. darüber hinaus die Fundamentalkritik bei Partridge/Stefanova (2003b).

¹²¹⁸ Vgl. hierzu etwa M.S. Fox (1992) sowie Grüninger/Fox (1995).

¹²¹⁹ Insofern verwundert es nicht, wenn auch dieser EO-Ansatz bei Partridge/Stefanova (2003a, 2003b) entsprechend fundamental kritisiert wird.

¹²²⁰ Vgl. Uschold/King et al. (1998: 39).

regionale und globale Intelligenz im Wechselspiel stehen. Insofern ist der ganze RTE-Konnex ebenfalls im Zeichen der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik zu entwickeln. Das läuft auf ein evolutionäres, adaptives EO-Verständnis hinaus, dessen AI-Kernsemantik aus der revisionären Metaphysik stammt. Ereignisse und Objekte stehen also im Whiteheadschen 4D-Perdurantismus. Der ganze RTE-Konnex ist im Whiteheadschen organismischem Sinne als Lebenszyklus zu denken, was mit dem U-PLM-Referenzszenario unmittelbar korrespondiert. Indem die Ontologie über die *metaphysica generalis* offen ist zu den Erfahrungswissenschaften, lässt sich ebenso auf Jenners (1998) "*Dissipative Enterprises*" aufbauen. Insofern muss für ein sachgerecht konzipiertes EO-Modell auch die *TLO-EO-Verkopplung* gelten. Demgegenüber ist dies bei der EEO nicht der Fall. Sie besitzt keine TLO-Referenz auf einen echten TLO-Theorieanwärter, sondern verfügt über eine eigene, rudimentäre linguistische *Meta-Ontologie*, auf der sämtliche formale Definitionen basieren.¹²²¹ Ihr grundlegendstes Konzept besteht entsprechend in der *Entität*,¹²²² die jedoch alltagssprachlich und nicht etwa im Zeichen cyber-physischer Kategorien gedacht wird. Linguistische EO-Ansätze wie TOVE und EEO können bereits aus dem Grunde keine ernstzunehmenden EO-Theorieanwärter darstellen, da sie weder den Anforderungen der Heavyweight-Ontologie noch jenen von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* entsprechen. Auch einige andere EO-Ansätze, etwa die e^3 -value ontology, verstehen sich explizit als *Lightweight-Ontologie*, womit sie allesamt für die integrativen EO-Funktionen fundamental defekt sind. Denn auf einer solchen Basis ist ein sicheres logisches Schließen sowie eine interoperable Robustheit im Sinne der *Heavyweight-Ontologie* bei organisations- und industrieübergreifenden kritischen Prozessen komplexer IoX-Systeme nicht realisierbar.

Allein auf Basis von *Heavyweight-Ontologien* kann die konzeptuelle Modellierung gleichzeitig auf eine spezifizierte Top-level Ontologie referenzieren als auch in Interaktion mit einer AI-orientierten Enterprise Ontology stehen. Mit der REA-Ontologie wird bereits deutlich, dass gerade auch bei EO-Ansätzen in der Ereigniskategorie die Kernkategorie bestehen muss. Allerdings berücksichtigt die REA-Ontologie keine cyber-physischen IoX-Prozesse, wie sie etwa im Rahmen des *Realtime IoX-Monitoring* erforderlich sind. Genauso wenig können solche tradierten Ansätze die notwendige Kombination von technologischen und wissenschaftlichen Ontologien bewerkstelligen. Die umfassend zu gewährleistende TLO-Referenz ist bei den bestehenden EO-Ansätzen entweder gar nicht, oder aber bei der REA-EO bzw. der SUPER-EO nur bedingt gegeben. Sowohl REA als auch SUPER gehen dabei allein insofern in die richtige Richtung, indem sie die Relevanz solcher übergeordneten Ontologien anerkennen und dabei auch bereits explizit zu Prozessontologien tendieren. Allerdings stellen sie dabei keine *emergentistischen Vier-Welten-Ontologien* dar, die für das CPSS/SEA- bzw. CAS/MAS-basierte *Smart Web* samt Adressie-

¹²²¹ Vgl. Uschold/King et al. (1998).

¹²²² Vgl. Uschold/King et al. (1998: 42).

rung verschiedenster Ontologietypen bzw. –arten erforderlich sind. Unter SEI-Gesichtspunkten stellt SUPER den fortschrittlichsten EO-Ansatz dar; allerdings sticht dieser nur relativ zu den anderen diesbezüglich inferioren Ansätzen heraus. Denn auch bei SUPER bestehen eine Reihe von Defiziten und Defekten, die nicht zuletzt der spezifischen TLO-Referenz dieses EO-Ansatzes geschuldet sind. Mit Blick auf komplexe IoX-Systeme muss vor allem auf die nicht erfüllte CPSS-Adäquanz verwiesen werden.

Eine integrierte, weitgehend automatisierte Steuerung des gesamten Produktlebenszyklus ist nur dann möglich, wenn eine phasenübergreifende PLM Core Ontologie existiert, auf die sich die spezifischen Domänenontologien beziehen können. Eine solche PLM Core Ontologie (PLM-CO) bildet den Kern interoperabler U-PLM-Systeme und ist als Heavyweight-Ontologie zu entwickeln. In diesem Punkt besteht in der Forschung auch weitgehende Einigkeit, und es sind zu einem solchen Konzept auch bereits erste Entwürfe vorgelegt worden,¹²²³ die jedoch gerade im Hinblick auf die Top-level Kategorien und auf eine systematische Ontologieentwicklung als inferior zu werten sind. Um eine tatsächliche Interoperabilität kritischer Prozesse in offenen und evolvierenden Umgebungen garantieren zu können, muss die PLM Core Ontologie bzw. die Enterprise Ontology auf *eine* IoX-adäquate Top-level Ontologie referenzieren.¹²²⁴ Alle oben genannten EO-Ansätze stehen im Zeichen spezifischer technologischer Zwecksetzungen und sind damit in langfristiger Betrachtung ungeeignet, um allen Belangen einer Enterprise Ontology gerecht zu werden. Damit aber können sie kaum die Grundlage für komplexe ontologische Integrationsszenarien bilden. Weder können U-PLM-Systeme in ihrer Eigenschaft als Integrationsplattform auf ihnen aufbauen, noch können die bestehenden EO-Ansätze die Kernontologie der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bilden. Dazu sollten sie aber in der Lage sein, wenn sie ein allgemeingültiges EO-Konzept darstellen wollten. Die Entwicklung eines universal verwendbaren EO-Konzepts kommt nicht umhin, den gesamten durch C. Palmer et al. (2014) im Kontext der Smart Factory geforderten *Product-Service Lifecycle System* (PSLS) im Sinne einer PSS-bezogenen Integrationsplattform systematisch zu steuern und um relevante Prozesse in den indirekten Bereichen zu ergänzen.

Wie in der TLO-Debatte steht auch in der EO-Debatte ein universaler Integrator in Frage; d.h. es geht um die Frage eines EO-Theorieanwärters, der insofern tatsächlich universal ist, als er sich auf jedes ontologische Anwendungs- und Integrationsszenario der Informatik beziehen lassen muss. Insofern ist auch hier vom komplexesten wie diffizilsten Fall semantischer Systemintegration auszugehen, der wiederum in *Closed-loop U-PLM-Systemen* gegeben ist. Auch hier geht es um Computer als *Reality Machines*, die eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption einfordern. Mit dieser CPSS-Adäquanz wird es unumgänglich, das in Pkt. 2.5 behandelte PPR-Schema als 4D-basiertes PPRLT-Schema zugrunde zu legen. Es geht damit um Aspekte, die für konventionelle CM- wie AI-Ansätze

¹²²³ Vgl. etwa Usman et al. (2010, 2011).

¹²²⁴ Vgl. Borgo/Leitão (2007).

fremd sind, nämlich dass Objekte bzw. Ereignisse raumzeitlich zu modellieren bzw. formalisieren sind. Dieses Erfordernis wird anhand von U-PLM-Systemen im Zeichen ihrer Lebenszyklusorientierung besonders offensichtlich, ist jedoch allgemein für jede CPSS-adäquate Ontologie vorauszusetzen. Gerade auch die *Enterprise Ontology* muss im Zeichen einer integrierten Ontologiekonzeption stehen, die CM- und AI-Ontologien auf eine einheitliche Basis zu bringen versteht. CM-Ontologien erfordern letztlich einer *realistischen* Top-level Ontologie, weil sich die konzeptuelle Modellierung zumeist auf realistische Diskursuniversen (UoD) bezieht, wobei *mögliche Welten* mit zu berücksichtigen sind.

Eine integrierte Ontologiekonzeption kann, will sie allgemeingültig sein, insgesamt auch nur auf eine Top-level Ontologie hinauslaufen, die vom Grundsatz her eine *realistische* Top-level Ontologie verkörpert. Systematisch baut jedoch kein einziger EO-Theorieanwärter auf einem solch realistischen TLO-Ansatz auf. Noch gibt es überhaupt eine sachgerechte *TLO-EO-Verkopplung*, wie sie im Zeichen exakt geteilter Kategorien sowie dezidiert geteilter meta-ontologischer Dispositionen zu verstehen ist. Was bisher lediglich praktiziert wird ist eine EO-Evaluierung auf TLO-Basis, was jedoch etwas anderes ist. Selbst hierbei werden indes die eigentlich wesentlichen Fragestellungen übersehen.¹²²⁵ Insofern ist nachvollziehbar, dass im Fall der REA-EO für diesen Zweck auch die verschiedensten TLO-Ansätze bemüht werden. Das stiftet allerdings eher Verwirrung als dass es tatsächlichen Aufschluss bringt. Es geht dabei auch gar nicht um eine komparative Analyse, sondern vielmehr um disparate Sichtweisen verschiedener EO-Forscher. Tatsächlich kann zu einer EO-Evaluierung nur genau ein TLO-Ansatz bemüht werden, der erweisenmaßen die Realitätsauffassung wie die universalen Anforderungen der Informatik repräsentiert. Wenn diese Praxis beim erweiterten REA-Modell von Geerts/McCarthy (2002) mit der Referenz auf die Sowa-TLO beginnt, ist diese in keiner Weise verstanden. Denn dann hätte für Geerts/McCarthy (2002) bereits selbst offenbar sein müssen, was Lampe (2002: 17) später kritisch bzgl. der REA-EO konstatiert, nämlich: »1. inconsistent and confusing terminology, 2. erroneous ontological analyses and discussion, and 3. inadequate and incomplete application to REAC components«. O'Leary (2000) kommt zu einer ähnlich kritischen Einschätzung, wenn er feststellt:

»Unfortunately, REA is underspecified as an ontology. There is no 'gold standard' REA specification down to the database attribute level. Consequently, REA provides only general guidance, and the resulting ontology depends heavily on the material being used to describe the processes – in this case, the value chain discussion. Accordingly, the ontology would require additional material as its basis.«¹²²⁶

Diese Defekte resultieren unmittelbar aus der fehlenden *TLO-EO-Verkopplung*, indem sich ontologische Defekte, etwa hinsichtlich der Eindeutigkeit (Ontological Clarity) oder ontologischer Inkonsistenzen, wie sie speziell gerade auch in Bezug auf die REA-EO konstatiert werden, allein auf Basis einer systematischen TLO-Referenz vermeiden lassen.

¹²²⁵ Borch/Stefansen (2004) gelangen etwa zur Erkenntnis, dass eine rigorose Unterscheidung zwischen Instanzen und Typen notwendig ist, was natürlich selbstverständlich ist.

¹²²⁶ O'Leary (2000: 75).

Ungeachtet der Tatsache, dass O'Leary (2000) wie Lampe (2002) mit ihren REA-Kritiken genauso richtig liegen wie etwa Ceusters/Smith (2007), adressieren sie nicht den grundsätzlichen Mangel der REA-EO. Dieser lässt sich nämlich erst im IoX-Kontext richtiggehend identifizieren, wenn es um das *Real World Internet* (RWI), um *Cyber-physische Systeme* (CPS) sowie um die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) geht. Dann wird deutlich, dass die REA-Kategorien CPSS/SEA-inadäquat sind und dass die REA-EO den eigentlichen integrativen EO-Anforderungen in keiner Weise gerecht wird. Das liegt wiederum an der falschen bzw. fehlenden ontologischen bzw. metaphysischen Grundlegung der REA-EO, die in allgemeiner Hinsicht den Gegenstand des dritten resp. vierten Teils bildet. Vor diesem Hintergrund hängen die maßgeblichen Defizite und Defekte der REA-EO, die als ISO/IEC 15944-4 standardisiert wurde und unter den EO-Ansätzen bislang die größte Popularität besitzt, unmittelbar mit dem Aspekt der cyber-physischen TLO-Fundierung sowie mit dem Umstand zusammen, dass dieser EO-Theorieanwärtler nicht auf Basis eines universalen *Requirements Engineering* entwickelt worden ist. Damit verbunden hängen die fundamentalen Defekte der REA-EO mit fünf nicht korrigierbaren elementaren Entwicklungsfehlern zusammen, nämlich (i) das Aufsetzen auf einem defekten Ontologieverständnis, (ii) die Einlösung des EO-Anspruchs auf Basis einer der EO-Kernontologie nachgeordneten Domänenontologie, (iii) die damit unmittelbar zusammenhängende EO-Fehlkonzeption auf perspektivischer Basis von *Accounting Information Systems* (AIS) bzw. "*book-keeping artifacts*", (iv) die damit zusammenhängende domänenspezifische Fehlkonzeption ihrer drei fundamentalen EO-Kategorien, sowie (v) ein mit ERP-Systemen statt *U-PLM-Systemen* falsch gewähltes EO-Referenzszenario.

Dass es diese fünf zentralen Momente unmöglich machen, die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf der EO-Ebene auf dem REA-Ansatz aufsetzen zu lassen, sei kurz näher erörtert, indem daran die fundamentalen Defizite und Defekte bestehender TLO/EO-Ansätze weiter offensichtlich wird. Ad (i) baut die REA-EO auf dem Ontologieverständnis von Genesereth/Nilsson (1987) bzw. Gruber (1993) auf,¹²²⁷ das allerdings mit Verweis auf den folgenden dritten Teil in keiner Weise haltbar ist. Die REA-Entwickler können die Ontologiefrage allein schon deshalb nicht umfassend reflektiert haben, indem sie das Ontologieverständnis Grubers propagieren gleichzeitig aber eine ontologische Evaluierung auf Basis der Sowa-TLO vollziehen. Beide Ontologieverständnisse sind indessen inkompatibel.¹²²⁸ Genauer betrachtet ist auch die REA-EO mit dem Gruberschen Ontologieverständnis inkompatibel,¹²²⁹ was die REA-Entwickler ebenso übersehen haben. Die funda-

¹²²⁷ Vgl. Geerts/McCarthy (1999, 2000, 2002).

¹²²⁸ Hier ist allein schon auf den Umstand abzustellen, dass die Grubersche Ontologiekonzeption den deskriptiv-linguistischen OE-Ansatzpunkt verkörpert, während die Sowa-TLO letztlich den revisionär-metaphysischen propagiert, für den metaphysische *Top-level Kategorien* konstitutiv sind.

¹²²⁹ Das gilt mindestens in zwei Hinsichten: erstens sind für den REA-Ansatz *Ereignisse* zentral, während die Grubersche Ontologiekonzeption eine solche eigenständige Kategorie gar nicht kennt. Denn diese ist im linguistischen Sinne objektzentriert. Zweitens kann die ontologische Repräsentation bei der REA-Ontologie nicht – wie bei Gruber – auf einfachem Konsens beruhen; vielmehr hängt die Wahrheitsfrage ele-

mentalen Defekte der REA-EO gehen unmittelbar darauf zurück, indem auf der Grundlage von Gruber der entscheidende Aspekt der *Universalontologie* genauso wie die damit zusammenhängende zentrale TLO-Rolle völlig unklar bleibt. Wie oben erwähnt, spielen TLO-Ansätze bei der REA-EO allein für Zwecke der nachträglichen Evaluierung eine Rolle, also dann, wenn es um die Prüfung der ontologischen Vollständigkeit sowie der ontologischen Eindeutigkeit bzw. Klarheit geht. Demgegenüber gründet ihre Entwicklung in keiner Weise auf einer systematisch vollzogenen TLO-Referenz, wie sie die TLO-Referenz im *Ontology Engineering* (OE) im Zuge *TLO-EO-Verkopplung* eigentlich unmittelbar impliziert. In Verbindung mit dem unter (v) behandelten *U-PLM-Systemen* als Referenzszenario ist die REA-Ontologiefundierung auch insofern defekt, als ontologisch gestützte PLM-zentrische Produktentwicklungsprozesse etwa bei *Engineering Ontologies* die Kombinierbarkeit praktischer Ontologien mit technologischen und wissenschaftlichen Ontologien zulassen können muss.¹²³⁰ Das ist jedoch auf Basis von Genesereth/Nilsson (1987) bzw. Gruber (1993, 1995) in keiner Weise einzulösen. Genauso wenig ist die REA-EO auf solche Integrationsbelange ausgelegt, die jedoch im Zeichen gegenwärtiger Anforderungen an die *Enterprise Integration* (EI) selbstverständlich sein müssen. Den CPPS-Anforderungen der Smart Factory in der BOL-Fertigungsphase wie insgesamt den CPS-Belangen von Computern als *Reality Machines* können linguistische Lightweight-Ontologien im Sinne Grubers (1993, 1995) erst recht nicht genügen. Wie das U-PLM-Referenzszenario verdeutlicht, gehören in komplexen IoX-Systemen allerdings all diese Bereiche mit zur *Smart Enterprise Architecture* (SEA), womit sie entsprechend auch EO-Gegenstand sein müssen. Indem in der *Enterprise Ontology* (EO) als integrativer Kernontologie (CO) der elementare SEA-Integrator zu sehen ist, muss sie auch auf einem adäquaten Ontologieverständnis aufbauen, das diese Integrationsfunktion überhaupt zulässt. Dabei steht außer Zweifel, dass sich der Streit um das richtige Ontologieverständnis nicht ohne die Klärung der Metaphysikfrage im vierten Teil klären lässt. Dass dies nicht vollzogen wird hat zur Folge, dass dieser Streit auf Basis inferiorer Ontologiekonzepte weiter anhängig ist.

Ad (ii) wird für die REA-EO zwar mit Geerts/McCarthy (1999, 2000, 2002) dezidiert der Anspruch einer *Enterprise Ontology* (EO) artikuliert,¹²³¹ der allerdings nicht eingelöst wird. Denn die REA-EO ist mit Verweis auf die Ontologieklassifikation in Pkt. 3.3.1 nicht als SEA/SOA-bezogene integrative *Kernontologie* (CO) konzipiert, sondern ihre Entwicklung steht faktisch im Zeichen einer dieser nachgeordneten *Domänenontologie*.^{1232, 1233}

mentar an der *Accounting Theory*, die im Zeichen *objektiven Wissens* ein methodologisches Vorgehen erfordert, das auf Gruberscher Basis nicht einzulösen ist.

¹²³⁰ Vgl. exemplarisch für die Luft- und Raumfahrtindustrie Sanya/Shehab (2015).

¹²³¹ Das REA-Framework ist bei W. McCarthy (1982) auf ERM-Basis zunächst als konzeptuelles Modell (CM), also als *Enterprise Model* (EM) konzipiert, vgl. hierzu auch Gailly/Poels (2007a, 2010) sowie Poels (2011). Auf dieser Grundlage erfährt die REA-EO jedoch einen formalen Akzent, indem es mit Geerts/McCarthy (1999, 2000, 2002) um die AI/KR-Frage geht.

¹²³² Vgl. Geerts/McCarthy (2002) sowie Laurier/Poels (2008); vgl. auch Geerts (2016).

Als ISO/IEC 15944 Standard wird die REA-EO auch nicht als integrative *Enterprise Ontology*, sondern vielmehr als "*Accounting and economic ontology*" geführt. Demgegenüber besteht die Funktion der *Kernontologie* für einen EO-Ansatz mit Blick auf die *Smart Enterprise Integration* (SEI) darin, dass dieser tatsächlich sämtliche Domänen und sämtliche Ontologiearten bzw. -typen fachlich unter vielfältigsten Aspekten integrieren kann. Indem sich der Anspruch des REA-Frameworks auch etwa auf die Fundierung von Expertensystemen erstreckt,¹²³⁴ sind mit Methodenontologien weitere Ontologiearten zu integrieren. Analoges gilt in Prozesshinsicht für Aufgabenontologien. In Verbindung mit (i) kann die REA-EO diese Integrationsfunktion weder in Bezug auf die verschiedenen Ontologiearten noch auf die diversen Ontologietypen leisten.¹²³⁵

Ad (iii) liegt der Grund für die Fehlkonzeption als Domänenontologie weniger in dem Umstand, dass die Abgrenzung der Ontologiearten bei Guarino (1998),¹²³⁶ auf die Laurier/Poels (2008) explizit referenzieren, die integrative CO-Rolle mitsamt der einzulösenden *TLO-EO-Verkopplung* genauso wenig verkörpert wie das metaphysische Moment universalen Ontologie. Vielmehr ist die REA-EO in der Tat richtig als *Domänenontologie* einzuordnen, weil sie von Beginn an eng auf den Aspekt der Kosteninformationssysteme bzw. *Accounting Information Systems* (AIS) ausgelegt wird und hier auch ihre theoretische Grundlegung findet.¹²³⁷ Wenn die REA-EO auf grundlegenden Theorien bzw. allgemein akzeptierten Konzepten des Rechnungswesens aufbaut,¹²³⁸ ist damit andererseits impliziert, dass die REA-EO gerade keinen CPSS-adäquaten universalen Integrationsanspruch besitzen kann. Allerdings erfordert dies ein IoX-adäquater EO-Ansatz. In ihrer AIS-Zentrierung ist die REA-EO also tatsächlich von einem spezifischen Domänengesichtspunkt aus entwickelt worden; als solche ist sie eigentlich als "*accounting ontology*" gedacht. Wenn es bei der REA-EO ursprünglich allein um ein "*accounting universe of discourse*" geht,¹²³⁹ qualifiziert sie dies zur Domänenontologie (DO), nicht aber zur hierarchisch höheren integrativen Kernontologie (CO). Das hängt wiederum damit zusammen, dass AIS auf "*book-keeping artifacts*" gründen,¹²⁴⁰ und nicht etwa auf cyber-physischen Kategorien. Mit der AIS-Perspektive verkörpert das REA-Modell ein transaktionsorientiertes Modell, das sich um "*accounting transaction data*" zentriert.¹²⁴¹

¹²³³ Das ist auch bei den meisten anderen EO-Ansätzen der Fall, etwa bei DEMO, vgl. hierzu Albani/Dietz (2011: 47). Demgegenüber ist die SUPER-EO um einiges mehr auf die SEA/SOA-bezogenen integrativen Zwecke ausgelegt, während diese durch Albani/Dietz (2011) in anderer Hinsicht kritisiert wird.

¹²³⁴ Vgl. etwa Geerts/McCarthy (1997b).

¹²³⁵ Vgl. zu diesen *Ontologiearten und -typen* Pkt. 3.3.1.

¹²³⁶ Guarinos (1998) Systematik der Ontologiearten kennt keine integrativen *Kernontologien*, weil sie nicht konsequent im Zeichen der *Enterprise Integration* bzw. im integrativen SEA-Sinne steht.

¹²³⁷ Vgl. hierzu bereits W. McCarthy (1982).

¹²³⁸ Das REA-Framework gründet dabei insbesondere auf Mattessich (1964) und Ijiri (1967, 1975).

¹²³⁹ Vgl. Geerts/McCarthy (1992, 1999: 93); vgl. hierzu auch Geerts (2008).

¹²⁴⁰ Vgl. hierzu Geerts/McCarthy (1992); vgl. hierzu ergänzend R. Weber (1987).

¹²⁴¹ Vgl. Geerts/McCarthy (1992).

»The REA model defines accounting transactions in terms of resource, event, agent, stock-flow, and participation primitives and connects them based on the give-take principle expressed by the duality primitive«. ¹²⁴²

Ad (iv) folgt aus der REA-Konzeption als Domänenontologie unmittelbar auch eine domänenspezifische Auslegung der fundamentalen EO-Kategorien. Genau darin besteht jedoch ein folgenschwerer Fehler, der wiederum direkt mit der Missachtung des Gebots der *TLO-EO-Verkopplung* zusammenhängt. Die fundamentalen REA-Kategorien, das sind *Resources*, *Events* und *Agents*, stehen nämlich genauso wenig im Zeichen Cyber-physischer Systeme (CPS) wie in jenem von Multiagentensystemen (MAS). Sie entsprechen überhaupt nicht den universalen Anforderungen der Informatik, werden jedoch oftmals genau in dieser Weise fehlinterpretiert. Man meint also, die Events bzw. Agents und damit auch die Ressourcen, wären jene der Informatik. Doch liegt man damit falsch. Vielmehr handelt es sich um dezidierte AIS-Kategorien, also um solche, die ausschließlich "*book-keeping artifacts*" zum Gegenstand haben. Sie verkörpern demgegenüber in keiner Weise *universale* Kategorien, da die REA-EO insgesamt nicht auf einem universalontologischen Ansatz bzw. auf einer metaphysischen Basis gründet. Die AI-Kernsemantik stammt also nicht im Sinne der TLO-EO-Verkopplung aus der ratio-empirischen Metaphysik, sondern vielmehr aus der *Accounting Theory*. REA-Events sind also nicht etwa als universale, cyber-physische "Events" konzipiert, sondern es handelt sich vielmehr um "Accounting Events". Eine integrative Kernontologie ist jedoch mit solchen Kategorien nicht zu schaffen. Vielmehr ist die REA-EO insgesamt weder CPSS/SEA- noch MAS/CAS-adäquat, womit sie sich für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* genauso disqualifiziert wie die EO-Ansätze auf Basis von *Common Sense*.

Die REA-EO ist der oben erwähnten EEO bzw. TOVE-EO, die beide *Common Sense* EO-Modelle verkörpern, insofern weit überlegen, als sie eine in sich geschlossene EO-Basistheorie besitzt. Hagengruber (2004) ist darin zuzustimmen, dass in allen Fragen der EO-Konzeption Expertenwissen einem *Common Sense-Verständnis* unbedingt vorzuziehen ist. Das bedeutet entsprechend mit Pkt. 3.2.3, dass es um *objektives Wissen* im Sinne Poppers gehen muss, was die EO-Funktion als Referenzontologie unterstreicht. Ein *Enterprise Modeling* auf Basis von *Common Sense* ist gerade mit Blick auf die komplexen Integrationsfragen völlig fehl am Platze. Es wäre in der Tat abwegig, die *Smart Enterprise Integration* (SEI) auf der linguistischen Basis der Alltagssprache realisieren zu wollen, indem das Inkommensurabilitätsproblem mit Kuhn (1962) zugleich ein Inkompatibilitätsproblem und damit ein Integrationsproblem manifestiert. Eine EO-Basistheorie ist also unabdingbar, nur ist die REA-Basistheorie im Kontext einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption grundsätzlich falsch gewählt, da eine integrative EO-Konzeption nicht auf einer *Accounting Theory* aufsetzen kann, sondern diese allein einen nachgeordneten ökonomischen Aspekt darzustellen vermag. Der Umstand, dass bei der REA-EO Ereignisse auf "Accounting Events" bzw. "AIS Events" eingeschränkt werden, hängt unmittelbar mit der

¹²⁴² Vgl. Geerts (2008: 215).

REA-Basistheorie zusammen, nämlich mit Sorters (1969) "*Events*" *Approach to Basic Accounting Theory*, auf der mitsamt entsprechender Konkretisierungen bei O. Johnson (1970) die REA-EO im Zeichen des *Events Accounting* aufbaut.¹²⁴³ Vor diesem Hintergrund wäre es verfehlt, diesen Ansatz in Richtung der eigentlichen Erfordernisse der Informatik zu modifizieren. Vielmehr ist der EO-Kern von der Digitalmetaphysik ausgehend zu eröffnen.

Auf Basis der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wird indessen vor dem SEA/SEI-Hintergrund deutlich, dass die Informatik *EO-Events* bedarf. Es geht also um Ereignisse, die nicht auf "Accounting Events" eingeschränkt sind, sondern die eine *universale Ereignis-ontologie* eröffnen. Ausgehend von einer universalen Ereigniskategorie lassen sich dann spezielle Ereigniskategorien wie "Accounting Events" spezifizieren. Für IoX-Systeme sind zunächst einmal sensorbezogene EDA-, ECA- oder CEP-Events bzw. ED-SOA-Events oder ED-BPM-Events entscheidend. Die universale Ereigniskategorie ist notwendig eine CPSS-adäquate Ereigniskategorie, die sich allein auf Basis der *metaphysischen Theorie* der Informatik, namentlich der Cyber-Physik, begründen lässt. Die Ebene der Domänenontologie ist also nicht mit jener der TLO-Universalontologie zu verwechseln, wie sie in Abb. 3 unter Pkt. 3.3.1 illustriert sind. CPS-Events sind im Kontext eines einheitlichen Ontologieverständnisses wie einer integrierten Ontologiekonzeption im Sinne der Automatentheorie universal auf Basis einzelner Bits und damit im Zeichen elektrischer Signale zu verstehen, worauf ihre Semantik erst fußt. Während die TLO-Basistheorie in der metaphysischen Theorie besteht, ist es im Fall der EO-Basistheorie das PPR-Framework. Dabei ist dieses nicht im Sinne des transaktionsorientierten ERP-Paradigmas zu interpretieren, das im Allgemeinen einer endurantistischen bzw. objektzentrischen Perspektive folgt. Vielmehr ist das PPR-Framework im PPRLT-Sinne auf ereignis- bzw. prozessmetaphysischer Basis adäquat über das perdurantistische U-PLM-Paradigma zu begründen.

Ad (v) wird insgesamt deutlich, dass mit ERP-Systemen statt IoX-basierter *U-PLM-Systemen* auch das EO-Referenzszenario falsch gewählt ist. O'Leary (2004) sowie Fallon/Polovina (2013) untersuchen aus dem Grunde die Parallelen zwischen REA und SAP ERP, als beide Ansätze eine *Transaction-Oriented Architecture* (TOA) aufweisen. Diese bestimmt ausgehend vom *Relationenmodell* bei Codd (1970) zunächst das *Database Accounting* und später das relationale Datenbankmodell des ERP-Ansatzes.¹²⁴⁴ Der Umstand, dass das REA-Referenzszenario in transaktionsorientierten ERP-Systemen besteht, geht wiederum auf die historischen Ursprünge dieses Ansatzes zurück. Denn die REA-Konzeption wurde mit W. McCarthy (1982) zu einer Zeit entwickelt, in der allein ERP-Systeme im EM-Fokus standen, während es weder Top-level Ontologien, PLM- bzw. U-

¹²⁴³ Entsprechende Ideen finden sich bereits bei Schrader (1962); vgl. hierzu auch Schrader et al. (1981).

¹²⁴⁴ Bei Colantoni et al. (1971) findet sich bereits die Verknüpfung von *Database Accounting* und *Events Accounting*, wie sie später mit W. McCarthy (1982) für das REA-Modell konstituierend ist. Darüber hinaus hält analog zu Everest/Weber (1977) auch das *Relationenmodell* von Codd (1970) sowie das *Entity-Relationship Model* (ERM) von Chen (1976) Einzug in das REA-Framework. Vgl. zur Rezeption des *Relationalen Datenbankmodells* speziell W. McCarthy (1977); vgl. zur Rezeption des *Entity-Relationship Models* (ERM) W. McCarthy (1979, 1980).

PLM-Systeme noch überhaupt Internettechnologie gab. Auch wurde die REA-EO gewiss nicht mit der Absicht der *Smart Enterprise Integration* (SEI) entwickelt, sondern lediglich mit dem Ziel zur Schaffung eines integrierten Accounting-Modells. Das ist ein entscheidender Unterschied, wenn es um die Frage des EO-Zuschnitts zur Realisierung globaler RTE-Intelligenz geht. Das REA-Modell erhebt als EO-Ansatz zwar explizit einen Integrationsanspruch, kann diesen jedoch im CPS-Kontext moderner IT-Systeme nicht im Ansatz erfüllen.¹²⁴⁵ Bereits in diesen aufgezeigten Hinsichten sind die REA-Fundamente grundsätzlich in Frage zu stellen, während es eine solche fundamentale Kritik bisher kaum gibt. Mit anderen Worten herrscht nicht nur im Ganzen der Ontologiedebatte eine große Konfusion, sondern konkret auch in Bezug auf die TLO- wie EO-Ansätze. Bei letzteren hält man an einem grundsätzlich überholten Fundament fest, was unter Hinweis auf die nach wie vor relevante AIS-Perspektive legitimiert wird. Natürlich ist die ökonomische Perspektive relevant, nur ist sie weder primär noch lässt sie sich im konventionellen ERP-Referenzszenario fassen. Insofern kann die REA-Perspektive für die eigentliche EO-Architektur auch nicht wegweisend sein. Entsprechend versteht die REA-EO sowohl in Bezug auf cyberphysische IoX-Belange als auch speziell in Bezug auf lebenszyklusorientierte *Closed-loop U-PLM-Systeme* nicht zu überzeugen. Das liegt wiederum an allen fünf zentralen Momenten, vor allem aber an einer falsch gewählten EO-Basistheorie, die allein über die revisionäre Metaphysik entwickelbar ist.

Nur oberflächlich betrachtet geht die REA-EO mit dem IoX-Paradigma konform, was unter anderem auf drei wesentlichen Irrtümern basiert: Diese resultieren (i) daraus, dass *REA-Services* mit *Web Services* und *REA-Events* mit *SOA-Events* verwechselt bzw. gleichgesetzt werden. Das ist vor dem Hintergrund der REA-Transformation zum *Resource-Service-System* (RSS) bei Poels (2010a, 2010b) zu sehen. Das RSS in eine Verbindung mit SOA-basierten *Web Services* zu bringen, liegt mit der dort bemühten *Service-Dominant Logic* (SDL) nahe, indem deren Verbindung zum *Service-Oriented Computing* (SOC) regelmäßig hergestellt wird. Allerdings wird im Kontext von ED-SOA deutlich, dass die REA-Events nicht mit SOA-Events konform gehen. Vielmehr sind SOA-Events im EDA-Zeichen zu verstehen bzw. zu entwickeln. Gleiches gilt in Bezug auf die REA-Agenten, indem diese im Kern des Ansatzes nicht als maschinelle Agenten bzw. im Sinne der MAS-SOA-Interdependenz konzipiert werden. Vielmehr stellt W. McCarthy explizit auf den "Economic Agent" als "ISO Person" ab, und darunter fallen Individuen, Organisationen sowie öffentliche Verwaltungen – jedoch keine maschinellen Agenten. Analoges gilt in Bezug auf die REA-Ressourcen, indem diese in der Weise verstanden werden, dass sie unter Verfügungsgewalt des obigen "Economic Agent" stehen; es geht also in keiner Weise um CPS- bzw. IoX-Ressourcen im technischen Zusammenhang.

¹²⁴⁵ Vgl. zu diesem Integrationsanspruch exemplarisch Hessellund (2006); allgemein wird bei REA von einer *Enterprise Ontology* gesprochen, Geerts/McCarthy (2000) erheben diesen Anspruch explizit. Ebenso Gailly/Laurier/Poels (2008), O'Leary (2010), Sicilia/Mora (2010) oder Tegarden et al. (2013).

Damit verbunden entstehen solche Irrtümer (ii) auch im BPM-Kontext, wenn REA-Events in den BPM-Kontext gebracht werden. Das geschieht dadurch, dass ein Bezug zu den "Events" in EPC- bzw. BPMN-Prozessmodellen hergestellt wird, wie es in umfassender Weise vollzogen wird.¹²⁴⁶ Allerdings gehen REA-Events weder mit BPM-Events in universaler Hinsicht konform noch in spezieller AIS-Hinsicht. Zwar lassen sich REA-Transaktionen mit Prozessmodellen modellieren, doch ist der EO-BPM-Bezug im Zeichen von SEA-Frameworks genau umgekehrt zu denken. Denn die *Enterprise Ontology* repräsentiert die fundamentale Basis der Prozessintelligenz – und genau das kann die REA-EO in keiner Weise leisten. REA-bezogene Prozessmodelle sind darüber hinaus allein für transaktionsorientierte, d.h. ERP-bezogene Prozesse von Relevanz. Im Zuge der Ontologie komplexer IoX-Systeme handelt es sich jedoch dabei um einen untergeordneten, d.h. um einen primär nicht ausschlaggebenden Aspekt. Ein IoX-basiertes *Real-Time Enterprise* (RTE) hat in prozessualer Hinsicht an der BPM-PLM-Kopplung festzumachen, indem es nicht um die buchhalterische Abbildung realer Vorgänge geht, sondern vielmehr um die cyber-physische Steuerung der realen Vorgänge als solche. Das gilt bzgl. der BOL-Phase sowohl für die CPPS-basierte Smart Factory wie in der MOL-Phase etwa für reale, sensorbasierte Wartungsprozesse oder in der EOL-Phase für den ontologiegestützten Rückbau bzw. die Demontage. Ein IoX-basiertes BPM-Verständnis für Zwecke EO-basierter Prozessintelligenz ist entsprechend nicht auf Grundlage des ERP-Referenzszenarios, sondern vielmehr auf Basis des *U-PLM-Referenzszenarios* zu entwickeln.

Genauer betrachtet stellen U-PLM-Systeme als Integrationsplattform nicht nur den PLC-bezogenen Datenintegrator, sondern gleichermaßen den PLC-bezogenen *Prozessintegrator* dar. Das gilt für die Kopplung von IoT- und PLM-Plattformen bzgl. der MOL-Phase genauso wie für die BOL-Phase: es herrscht allgemeine Übereinstimmung darin, dass die *Smart Factory* Losgröße-1-Szenarien, also eine Variante pro Kunde, ermöglichen können muss; vereinzelt wird darin gar ihr konstituierendes Merkmal gesehen. Allerdings bleibt dabei regelmäßig unberücksichtigt, dass die *Smart Factory* damit die extremste Ausprägung des Variantenmanagements bedeutet, womit dieses erst recht unverzichtbar wird. Das Variantenmanagement wie auch das Konfigurationsmanagement bilden jedoch elementare Bestandteile von PLM-Systemen, die sich auch nicht in andere Systeme verlagern lassen. Daraus folgt, dass sich die Losgröße-1-Szenarien der *Smart Factory* unter Effektivitäts- wie Effizienzaspekten sachgerecht nur auf Basis von U-PLM-Systemen als Integrationsplattform realisieren lassen. Analoges gilt in Bezug auf integrative Strategien des Produktionssystems, etwa kombinierte Fertigungs- und Logistikstrategien, wenn diese PLC-übergreifend zu konzipieren sind.

Schließlich entstehen solche Irrtümer darüber hinaus (iii) im Bereich der *Digital Analytics*. Auch das ist naheliegend, wenn das gesamte AIS-Paradigma etwa mit R.S. Kaplan

¹²⁴⁶ Vgl. etwa Geerts/McCarthy (2005), Hunka/Hucka et al. (2009), Kasík/Hunka (2011), Boubaker et al. (2014, 2015) sowie Gailly/Geerts (2014); vgl. hierzu ferner bereits Geerts/McCarthy (1997b) sowie Sonnenberg/vom Brocke (2014).

(1984) oder Macintosh (1991, 1994) im Zeichen des US-amerikanischen *Management Accounting* zu sehen ist und damit eine direkte Affinität bzw. Relevanz für das Controlling besitzt. Diese besteht nicht nur für die Produktentwicklung, sondern auch für die Produktrealisation, wenn es mit R.S. Kaplan (1983, 1990) gerade auch um Kennzahlen zur Leistungsmessung (Performance Monitoring, Performance Measurement) im Produktionsbereich geht. Für die *Smart Factory* und vernetzte Maschinen ergeben sich gerade auf dieser Basis interessante RTE-Möglichkeiten globaler Intelligenz. Die REA-EO wird darüber hinaus auch für Aspekte wie die Produktionsplanung auf Stücklistenbasis (BOM) herangezogen.¹²⁴⁷ Sie wird ferner zur semantischen Fundierung des OLAP-Würfels als wesentlicher Methodik analytischer Informationssysteme bemüht.¹²⁴⁸ In dieser Richtung lässt sich auf REA-Basis mit Simulationsmodellen anschließen.¹²⁴⁹ Bezogen auf die Smart Factory ist die REA-EO auch auf die Analyse von RFID-Daten im Rahmen von BI-Anwendungen applizierbar.¹²⁵⁰ Allerdings nur, solange diese im Zusammenhang mit "*bookkeeping artifacts*" stehen. Das REA-Framework wurde darüber hinaus auch auf die Informationsanforderungen der durch Kaplan/Norton (1996) entwickelten *Balanced Scorecard* angepasst.¹²⁵¹ Diese zielt auf die Leistungsmessung auf unternehmerischer Gesamtebene, insbesondere mithilfe dezidierter Finanzkennzahlen.¹²⁵² Damit ist der Aspekt des *IoX-Monitoring* direkt adressiert, insbesondere in klassischer BAM-Hinsicht. Auch dieser fällt unter das Moment globaler Intelligenz, zumindest, wenn es um theoretisch fundierte Kennzahlen und damit letztlich um objektives Wissen geht. In ähnlicher Hinsicht ist die REA-Affinität zum betrieblichen Berichtswesen (Business Reporting) zu sehen, die diese auf Basis des XBRL Reporting Standards besitzt.

Es steht außer Frage, dass für PLM-basierte Produktentwicklungsprozesse komplexer Produkte Kosteninformationssysteme bzw. *Accounting Information Systems* (AIS) gerade in der BOL-Phase wesentlich sind. Denn Methoden wie die Zielkostenrechnung (*Target Costing*, TC) oder die Prozesskostenrechnung (*Activity Based Costing*, ABC) stehen in engster Verbindung zu Produktentwicklungsprozessen. Insofern wird auch das *Management Accounting* zur strategischen Steuerung unentbehrlich, also die Inhalte, die die REA-EO gerade abdeckt.¹²⁵³ Darüber hinaus wird mit Methoden wie dem *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) oder Initiativen wie dem *Environmental Management Accounting* (EMA) auch eine direkte Verbindung zwischen REA-Modell und der EOL-Phase offenbar.¹²⁵⁴ Mittlerweile wird die REA-EO im Sinne von Wertzyklen konzipiert, die die PLC-

¹²⁴⁷ Vgl. Hunka/Hucka et al. (2008a, 2008b, 2011); vgl. hierzu auch Vymetal et al. (2008, 2010).

¹²⁴⁸ Vgl. Schütz et al. (2013), vgl. hierzu auch bereits Hruby (2006).

¹²⁴⁹ Vgl. hierzu Church/Smith (2008) sowie Laurier/Poels (2009a).

¹²⁵⁰ Vgl. hierzu Borthick et al. (2008).

¹²⁵¹ Vgl. hierzu Church/Smith (2007).

¹²⁵² In dieser Hinsicht läuft die Kritik von Jussupova-Mariethoz/Probst (2007) an bestehenden Enterprise Ontologien ins Leere und mit ihrer Nichtberücksichtigung der REA-EO muss ihre Analyse mindestens als unvollständig gewertet werden.

¹²⁵³ Vgl. hierzu Weigand/Elsas (2012a).

¹²⁵⁴ Vgl. hierzu Weigand/Elsas (2012a, 2012c).

Phase des Recycling mit umschließen,¹²⁵⁵ was mit dem Closed-loop U-PLM-Gedanken korrespondiert. Allerdings ändert dies nichts an der Tatsache, dass es sich um nachgeordnete Aspekte handelt. Primär muss ein EO-Ansatz darauf zielen, die reale Koordination komplexer IoX-Systeme sowie reale Service- bzw. Produktlebenszyklen auf Basis des ED-SOA-Paradigmas im Kontext Cyber-physischer Systeme (CPS) zu steuern. Dazu ist aber die AIS-Perspektive allenfalls sekundär. Das REA-Modell besitzt entsprechend in Wirklichkeit keinen EO-Status, sondern lediglich DO-Status. Daran ändern auch Versuche wie jener von Church/Smith (2005) nichts, es im Sinne der Systemdynamik in ein dynamisches Modell zu konvertieren.

Jeder tatsächlich universale EO-Ansatz muss vor dem Hintergrund seiner integrativen Funktion dem *Closed-loop U-PLM-Referenzszenario* entsprechen können. Daraus resultiert das Erfordernis, dass jeder sachgerecht konzipierte EO-Ansatz entweder als unmittelbare Referenzbasis der *PLM Core Ontology* (PLM-CO) fungieren können muss oder diese gar substituiert. Damit hat die *Enterprise Ontology* (EO) die *PLM Core Ontology* (PLM-CO) vollumfänglich zu absorbieren; ansonsten ist sie defizitär bzw. inferior. Diese elementare Forderung lässt sich dahingehend begründen, dass jeder ernstzunehmende EO-Ansatz als Referenzontologie universal auf jeden Kontext applizierbar sein muss. Wie unter Pkt. 2.6 dargelegt, handelt es sich bei allen IoX-Systemen um AI-basierte Produktionssysteme, die als *Product-Service Lifecycle Systems* (PSLS) zu verstehen ist. Indem der EO-Ansatz den SEA-Kern stellt, weil die eigentliche, insbesondere die globale Intelligenz maßgeblich auf Ontologien basiert, muss er sämtlichen SEI-Szenarien gerecht werden. Um bei den Standardbeispielen zu bleiben, umfassen diese genauso das Erdbebenfrühwarnsystem im *Internet of Geophysical Things* (IoGT) wie die *Smart Factory*, und diese selbst in einer vertikal umfassend integrierten Variante, womit es auf PPR-Basis um die ontologische Erschließung des gesamten Portfolios an Prozessen bzw. Workflows geht. Entsprechend ist für den EO-Konnex ein Produkt- bzw. Servicezyklus konstituierend, der im PSS-Sinne als PSLS zu konzipieren ist. Da es vor dem Hintergrund einer tatsächlich universalen EO-Konzeption unmöglich ist, dieser Forderung nicht zu entsprechen, lässt sich unmittelbar mit zwei weiteren Forderungen anschließen: U-PLM-adäquat ist eine EO-Konzeption unter zukunfts-offenen Gesichtspunkten erstens nur dann, wenn sie mit Pkt. 2.5.2 einerseits auf dem *PPRLT 4D-Lifecycle Framework* aufbaut und wenn sie andererseits auf der genauso konsequent zu fordernden *TLO-EO-Verkopplung* gründet. Zweitens verlangt die U-PLM-Adäquanz, dass sie tatsächlich sämtliche Phasen inkorporiert und diese systematisch integriert. Das ist deshalb erforderlich, weil für den PLM-Ansatz gerade die integrative Verzahnung sämtlicher PLC-Phasen konstituierend ist. Die im ersten Teil definierten BOL-, MOL- und EOL-Phasen bilden entsprechend den EO-Gegenstand, wobei diese im Sinne der BPM-PLM-Kombination als *Hauptprozesse* zu verstehen sind, die weiter in *Teilprozesse* und einzelne *Ereignisse* und *Aufgaben bzw. Funktionen* zerlegbar sind.

¹²⁵⁵ Vgl. Weigand/Elsas (2012c).

Mit der BOL-Phasengruppe hat jede universale EO-Konzeption für RTE-Umgebungen insbesondere allen wesentlichen Anforderungen der *Smart Factory* zu entsprechen. Dann geht es um M2M-interoperable, vernetzte Maschinen (*Smart Machining*), für die wiederum die erörterten CPS- bzw. CPPS-Aspekte zentral sind.¹²⁵⁶ Die zu produzierenden Artefakte sind richtig akzentuiert, wenn sie als PEID-Technologien in *Smart Environments* verstanden werden.¹²⁵⁷ Insofern geht es insgesamt wie universal im Zeichen komplexer IoX-Systeme um *Pervasive (Ubiquitous) Computing Environments, Radio Frequency Identification (RFID)* oder etwa um *elektronische Produktcodes (EPC)*.¹²⁵⁸ Wenn die IoT-Vision der IPSO-Allianz (IP for Smart Objects) darauf zielt, *intelligente Objekte* (Smart Objects) auf Basis des TCP/IP-Protokolls weltweit miteinander zu vernetzen,¹²⁵⁹ dann muss ein zukunftsöffener EO-Ansatz damit umgehen können. Analog gilt dies für andere technologische Komponenten, die die physische Welt mit der digitalen verbinden, etwa für *Near Field Communications (NFC)* oder *Wireless Sensor and Actuator Networks (WSAN)*. Mit Blick auf dieses cyber-physische Wechselspiel sind gerade solche EO-Ansätze entsprechend kritisch zu reflektieren, deren Konzeption nicht auf einem dezidierten IoX-Zuschnitt und der Frage der CPSS-Adäquanz gründet. Das betrifft gerade den REA-Ansatz als verbreitetsten EO-Theorieanwärter, indem dessen Kern ursprünglich auf Accounting-Belange zugeschnitten ist. Insofern hat der *RFID Event Processing Agent (REA)* auch nicht direkt etwas mit der REA-EO zu tun,¹²⁶⁰ während ihre sachgerechte Kombination natürlich weitaus mehr als eine im Zuge der TLO-EO-Verkopplung zu realisierende cyber-physische Agentenkonzeption verlangt.

BOL-relevante Ontologien betreffen mitunter den Planungskontext, der die Kombination der Produkt-, Prozess- und Ressourcendimension zwingend voraussetzt. Damit kann dieser in SPLM-Systemen allein auf dem PPR-Framework und entsprechenden PPR-Ontologien gründen. Darüber hinaus besitzen BOL-Ontologien unmittelbare Relevanz für intelligente Produktionsprozesse, indem diese anfänglich mindestens auf eine einfache M2M-Semantik, später jedoch auf umfassende Fertigungsontologien hinauslaufen. CPPS-Strukturen zeichnen sich nicht nur selbst durch intelligente Objekte sowie *Smart Sensors* mitsamt einer *Sensor Ontology* aus, sondern es geht in der Fertigung selbst insofern um intelligente Produkte, als diese ein semantisches Produktgedächtnis besitzen. CPPS bilden vor diesem Hintergrund *agentenbasierte Systeme* und damit *komplexe adaptive Systeme (CAS)*, wie sie etwa mit Poole/Mackworth (2010) in der AI-Disziplin etabliert sind. Dabei bauen CPPS als agentenbasierte Systeme maßgeblich auf der Kombination von Ontologien und der RFID-Technologie im Sinne *intelligenter Objekte* (Smart Objects) auf.¹²⁶¹

¹²⁵⁶ Vgl. etwa Borgia (2014).

¹²⁵⁷ Vgl. hierzu etwa Zühlke (2008, 2010), R.-S. Chen/Tu (2009), Américo/António (2011), J. Davis et al. (2012), European Union (2012), Hentz et al. (2013) sowie McFarlane/Giannikas et al. (2013a, 2013b).

¹²⁵⁸ Vgl. etwa Atzori et al. (2010), Miorandi et al. (2012) sowie Gubbi et al. (2013).

¹²⁵⁹ Vgl. hierzu Dunkels/Vasseur (2008) sowie Vasseur/Dunkels (2010).

¹²⁶⁰ Vgl. hierzu etwa R.-S. Chen/Tu (2009).

¹²⁶¹ Vgl. hierzu auch Grüninger/Shapiro et al. (2010).

Für die BOL-Phasengruppe sind eine ganze Reihe PLM-bezogener Domänenontologien entwickelt worden, die entsprechend einer integrativen EO-Referenz bedürfen. Hierzu gehören etwa Ontologien, die auf die Phasen des *Requirements Engineering* abstellen,¹²⁶² Ontologien für das *Systems Engineering*,¹²⁶³ Ontologien, die sich auf die *virtuelle Produktentwicklung* oder auf das *Concurrent Engineering* beziehen,¹²⁶⁴ Ontologien für die *Produktionsphase*,¹²⁶⁵ Ontologien für die gesamte *Supply Chain*,¹²⁶⁶ und schließlich Ontologien für *Distributionskonzepte*, die sich in Abhängigkeit von den Strategien des Produktionssystems (kombinierte Fertigungs- und Logistikstrategien) höchst unterschiedlich darstellen können: Hierzu gehören etwa *Assemble to Order* (ATO), *Build to Forecast* (BTF), *Build to Order* (BTO) [*Make to Order* (MTO)], *Build to Stock* (BTS) [*Make to Stock* (MTS)], *Configure to Order* (CTO), *Engineer to Order* (ETO) sowie *Pick to Order* (PTO).¹²⁶⁷ Insbesondere mit Blick auf die CTO-Strategie offenbart sich in Produktionskonzepten der *Smart Factory* darüber hinaus die erforderliche Integration von klassischem PLM-Konzept und Digital Commerce Prozessen.

Das Produktionskonzept der *Smart Factory* zielt auf die Ermöglichung von Losgröße-1-Produktion auf IoX-Basis vernetzter Maschinen bei durchgängig digitalen *Smart Web* Prozessen. Somit ist ein Kunden-Frontend unabdingbar, um eine umfängliche *Customization* zu ermöglichen.¹²⁶⁸ Damit werden gerade auch im Industriesektor entsprechende ontologiebasierte E-Commerce-Systeme erforderlich.¹²⁶⁹ Wenn dabei das Ziel konsistenter Daten wie *einheitliche Produktkataloge* naheliegt, ist wiederum eine integrierte Ontologiekonzeption zugrunde zu legen. Dabei können die Produktkataloge im industriellen Fertigungssektor nur auf Grundlage von SPLM-Systemen für das *Semantic E-Commerce* generiert werden. Produktkonfiguratoren erlauben eine individualisierte Produktspezifikation, indem sie die Selektion von Komponenten und Eigenschaften unter der Restriktion gültiger Merkmalskombinationen ermöglichen. Ihnen kommt in industriellen Szenarien je nach Fertigungs- und Logistikstrategie unterschiedliche Bedeutung zu. Sie können etwa im Rahmen des *Configure to Order* (CTO) das Frontend komplexer Produktkonfigurationssysteme bilden.¹²⁷⁰ Demgegenüber werden im Zuge des Konfigurationsmanagements mithilfe von

¹²⁶² Vgl. etwa Moon et al. (2005).

¹²⁶³ Vgl. etwa Chourabi et al. (2010) oder van Ruijven (2011, 2012).

¹²⁶⁴ Vgl. etwa K.-Y. Kim et al. (2006) oder Raza/Kirkham et al. (2011).

¹²⁶⁵ Vgl. etwa Borgo/Leitão (2007), Lin/Harding (2007), Young/Gunendran et al. (2007a, 2007b), Usman et al. (2011) sowie Chungoora et al. (2012, 2013a, 2013b); vgl. auch die *Manufacturing Foundation Ontology* (MFO) von Usman et al. (2010).

¹²⁶⁶ Vgl. hierzu etwa Fu/Yue/Li (2009) oder Grubic/Fan (2010).

¹²⁶⁷ Vgl. hierzu etwa Higgins et al. (1991) sowie McCutcheon et al. (1994).

¹²⁶⁸ Vgl. hierzu etwa Bateman/Cheng (2004).

¹²⁶⁹ Vgl. hierzu auch Breslin et al. (2010).

¹²⁷⁰ Neben der Wiederverwendung von Konfigurationswissen bietet der industrielle Einsatz ontologiegestützter Produktkonfiguratoren zahlreiche weitere Vorteile: Dazu gehören maßgeblich verkürzte Durchlaufzeiten, wesentlich verbesserte Qualität der Produktspezifikation, ein verringerter Ressourceneinsatz in der PLM-Phase der Produktspezifikation, optimierte Produkte, Verringerung von Routinearbeit, verbesserte Termin- resp. Liefertreue, bis hin zu einem verringerten Einarbeitungsaufwand neuer Mitarbeiter, vgl. Haug et al. (2010).

Ontologien bzw. Business Rules die zulässigen Kombinationen zur Produktkonfiguration in solchen Konfiguratoren festgelegt.¹²⁷¹ Die unmittelbar notwendige Kopplung zwischen Semantic E-Commerce, Produktkonfiguratoren und U-PLM-Systemen resultiert vor allem daraus, dass das Konfigurationsmanagement essentieller Bestandteil von PLM-Systemen resp. des industriellen Produktlebenszyklusmanagements ist. Produktkonfiguratoren bilden wie PLM-Systeme insgesamt Wissenssysteme (KS); indem das Konfigurationsmanagement eine maßgebliche PLM-Disziplin darstellt, müssen auch industrielle Produktkonfiguratoren als integraler Bestandteil von PLM-Systemen verstanden werden. Konkret bilden sie produktorientierte Expertensysteme (ES),¹²⁷² die unter die generische KS-Klasse fallen. Entsprechend wird auch bei Produktkonfiguratoren ein Rückgriff auf AI/KR-Ontologien erforderlich,¹²⁷³ wobei ihre Einbettung in PLM-Systeme nach einer integrierten Ontologiekonzeption verlangt, die für U-PLM-Systeme insgesamt Gültigkeit besitzen kann.

Closed-loop U-PLM-Systeme konfrontieren die Enterprise Ontology aber nicht nur mit BOL-Prozessen, sondern auch mit MOL- bzw. EOL-Prozessen. Insbesondere die MOL-Prozesse stellen dabei neue Anforderungen, die sich in den bisherigen EO-Konzeptionen kaum berücksichtigt zeigen. Denn gerade auch hier sind Cyber-physische Systeme (CPS) von Relevanz, etwa intelligente Produkte, die auf Basis von PEID-Technologien produktbezogene Daten der Nutzungsphase in den PLC einspeisen.^{1274, 1275} Das mündet im *Realtime IoX-Monitoring* und damit in globaler RTE-Intelligenz. Gerade hier spielt der EO-Kern eine wichtige Rolle, jedoch auch in den MOL-Phasen selbst: Eine EO-Relevanz besteht hier insofern, als diese Daten wesentlich sind für zentrale Prozesse, etwa TQM-Prozesse, Wartungs- bzw. Serviceprozesse usw. Gerade in MOL-Hinsicht hat jede EO-Konzeption somit auf IoX-Belange und entsprechend auf *Ubiquitous Computing* bzw. *Smart Environments* abzustellen. Konkret hat die Enterprise Ontology sämtliche PLC-Phasen, die jeweils nicht nur einen Hauptprozess, sondern auch eine PLM-bezogene Domänenontologie (PLM-DO) verkörpern, zu integrieren. In der MOL-Phasengruppe sind das in kundenbezogener Hinsicht der Kundendienst (Customer Service) bzw. After Sales Service, während es in produktbezogener Hinsicht etwa um Wartung und Optimierung (Maintenance & Optimization) bzw. das Ersatzteilgeschäft geht.

In der EOL-Phase muss die *Enterprise Ontology* schließlich in ihrem Bezug auf den PLC, der einem *Cradle to Cradle* (C2C) verpflichtet ist, ebenso die relevante PLM-DO integrieren können. Dabei steht etwa die *Bill of Sustainability* (BOS) im Fokus; entspre-

¹²⁷¹ Vgl. hierzu Soinin et al. (1998), Forza/Salvador (2002), Mohan/Ramesh (2003), Blecker et al. (2004), Salvador/Forza (2004), Hvam et al. (2006), D. Yang et al. (2008, 2009), Colace et al. (2009), Haug et al. (2010, 2012), Ardito et al. (2011), Dong/Yang/Su (2011), Trentin et al. (2011, 2012, 2013) sowie Calhau/Falbo (2012).

¹²⁷² Vgl. auch Haug et al. (2010).

¹²⁷³ Haug et al. (2012) beziehen sich dabei auf das *KR-Verständnis* von R. Davis et al. (1993).

¹²⁷⁴ Vgl. hierzu Kiritsis (2009), G. Meyer et al. (2009), Ranasinghe et al. (2011), Främling et al. (2013) sowie McFarlane/Giannikas et al. (2013a, 2013b).

¹²⁷⁵ Intelligente Produkte sind natürlich auch für andere PLM-Phasen von großer Relevanz, etwa in der Supply Chain, vgl. Trentesaux et al. (2013).

chend ermöglichen in der Produktentwicklung modularisierte Produkte ein umfängliches Recycling. Selbst für die Phase des Rückbaus resp. des Recyclings existieren erste Ontologieansätze.¹²⁷⁶ Indessen ist insgesamt festzustellen, dass keiner der bisherigen EO-Theorieanwärter auch nur annähernd eine integrative Funktion in Bezug auf sämtliche Phasen des Produktlebenszyklus aufweisen kann. Allerdings müsste genau darin der eigentliche Kern des EO-Ansatzes gesehen werden, indem sich dieser auf den PSS-Konnex beziehen muss. Vor diesem Hintergrund wird analog zum Spektrum der TLO-Theorieanwärter im Zuge der EO-Evaluierung deutlich, dass alle EO-Theorieanwärter maßgeblich defizitär bzw. defekt sind. Dabei ist ersichtlich, dass bei den meisten EO-Ansätzen zwar eine TLO-Referenz angedacht ist, diese jedoch letztlich nicht systematisch entwickelt wird. Darüber hinaus sind die EO-Ansätze an sich nicht unter IoX-Gesichtspunkten gefasst. Keiner der tradierten EO-Ansätze lässt sich als tatsächlich IoX-adäquat werten; in den meisten Fällen bestehen vielmehr große Differenzen. Entsprechend wird deutlich, dass nicht nur ein IoX-adäquater TLO-Neuentwurf, sondern im Zeichen der TLO-EO-Verkopplung genauso ein IoX-adäquater EO-Neuentwurf erforderlich wird. Dieser sollte an den im Folgenden nochmals zusammengefassten fünfzehn elementaren Kritikpunkten festmachen:

- (i.) Kein EO-Ansatz ist systematisch auf eine generelle Anwendbarkeit in allen AI-Szenarien konzipiert; ein systematisches wie universales *Requirements Engineering* wird analog zur TLO-Problematik auch hier nicht vollzogen.
- (ii.) Kein EO-Ansatz bezieht sich auf ein sachgerecht gewähltes EO-Referenzszenario. Dieses kann weder, wie bei REA, in *ERP-Systemen* liegen; noch kann es, wie bei DEMO, in einem *Strategic Supply Network Development* (SSND) bzw. in *SCM-Systemen* verankert sein.¹²⁷⁷ Vielmehr kann der EO-Kern allein im PPR-Framework bestehen, indem dieses ausgehend von *Product Service Systems* (PSS) die in IoX-Kontexten entscheidende Produkt- bzw. Servicedimension erst eröffnet und über diese die grundlegenden Prozesse und Ressourcen einbezieht. Insofern können die REA- bzw. DEMO-Szenarien allenfalls nachgeordnete Aspekte abbilden. Tatsächlich aber muss die globale RTE-Intelligenz im Wechselspiel mit der lokalen und regionalen Intelligenz im Mittelpunkt stehen. Es geht somit um den integrativen Koordinationsgedanken, wie ihn Haeckels *Sense-and-Respond Model* einfordert. Mit Blick auf diese Orchestrierung wird im Zuge der EO-Entwicklung etwa bei Poletaeva et al. (2014) bzw. bei der Konzeption einer SCOR-Logistikontologie bei Andreeva et al. (2015) zudem übersehen, dass diese nicht gleichzeitig auf der *endurantistischen* DEMO-EO und der *perdurantistischen* BORO-TLO gründen kann. Mit dem PPRLT-4D-Framework ist das EO-Referenzszenario vielmehr allein mit *U-PLM-Systemen*

¹²⁷⁶ Vgl. etwa Borst/Akkermans (1997).

¹²⁷⁷ Vgl. dazu Albani/Dietz (2009).

richtig gewählt. Das gilt nicht nur in Bezug auf die PPRLT-Spezifikation als solche, sondern damit zusammenhängend ebenso mit Blick auf den Lifecycle-Gedanken von C. Palmers et al. (2014) *Product-Service Lifecycle System* (PSLS). Entsprechend ist der mittlerweile in EA-Frameworks gängige Lifecycle-Gedanke im U-PLM-Kontext aufzuschließen. Denn für alle IoX-Systeme ist diese PSLS-Basis konstituierend.

- (iii.) Die EO-Ansätze werden nicht sachgerecht in ihrer Eigenschaft als *Kernontologie* konzipiert; die Kernontologie ist dabei als Heavyweight-Ontologie zu veranlassen, die sich durch eine strikte wie systematische TLO-Referenz auszeichnet. Mit dieser systematischen TLO-Referenz ist gemeint, dass ein EO-Ansatz von einem spezifischen TLO-Fundament ausgehend systematisch zu entwickeln ist und nicht erst nachträglich anhand verschiedener TLO-Ansätze auf seine innere Konsistenz zu evaluieren ist. Vielmehr läuft ein dauerhaft haltbarer EO-Ansatz darauf hinaus, dass dieser die universal anwendbaren TLO-Kategorien eines spezifischen TLO-Ansatzes in ihrer kategorialen Systematik *in sich trägt*, was deren konsistente meta-ontologische Fundierung einschließt. Insbesondere der populärste EO-Ansatz, die REA-EO, verkörpert als *Accounting Ontology* letztlich nicht mehr als eine Domänenontologie (DO), nicht jedoch eine integrative Kernontologie (CO). Dabei steht außer Frage, dass sich von den Gesichtspunkten einzelner DO-Ansätze keine ihr übergeordnete CO-Konzeption erschließen lässt. Vielmehr ist umgekehrt die *Accounting Ontology* etwa auch unter Aspekten wie dem *Life Cycle Costing* (LCC) von einer neuen CO-Basis zu entwickeln. Es ist unter CPS-Gesichtspunkten verfehlt, mit REA die primäre Ausrichtung des EO-Ansatzes auf einem AIS-Konzept zu begründen. Vielmehr haben mit dem *PPRLT 4D-Lifecycle Framework* die *cyber-physische Integration*, damit die Adaption, der MAS/CAS-Agentengedanke und schließlich das Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz im Vordergrund zu stehen. Demgegenüber stellt die AIS-Perspektive nicht mehr als *einen* für *spezifische* IoX-Szenarien relevanten Aspekt dar. Diese ist dann jedoch im Zeichen der Digital Analytics in das Ganze des IoX-Monitoring einzubetten, was bei dem REA-Ansatz indessen ebenso nicht gegeben ist. Entsprechend besteht das Erfordernis, die nachgeordnete AIS-Perspektive auf Basis des richtigen EO-Ansatzes neu zu entwickeln.
- (iv.) Mit partieller Ausnahme der BORO/CEO entspricht kein EO-Ansatz der Anforderung einer systematischen *TLO-EO-Verkopplung*, bei der die TLO- und EO-Konzeption tatsächlich aus einem Guss entwickelt ist. Bisherige EO-Ansätze weisen zwar mitunter eine TLO-Referenz auf; allerdings erfolgt diese wie im Fall der REA-EO wahlweise auf verschiedenste, sich wi-

dersprechende Ansätze. Demgegenüber handelt es sich im Fall der DEMO-EO mit der Bungeschen Ontologie um eine für TLO-EO-Zwecke ungeeignete Metaphysikbasis. Das ist genauso bei der BORO/CEO der Fall, indem diese im Zeichen der Analytischen Philosophie steht. Bei der EEO bzw. TOVE ist dies mit ihrer impliziten Referenz auf die deskriptive Metaphysik nicht besser. Insofern gründet keiner der bisherigen EO-Ansätze auf einer sachgerecht gewählten metaphysischen Ontologie. Vielmehr stehen die meisten EO-Theorieanwörter im Zeichen der linguistischen Ontologie; teilweise wird, wie im REA-Fall dabei auch explizit auf das defekte Ontologieverständnis Grubers (1993, 1995) rekurriert. EO-Ansätze sollten vor allem nicht wie TOVE oder die EEO auf einfachem *Common Sense* gründen, weil dies den CPS- bzw. CPPS-Anforderungen diametral entgegensteht. Anwendungen etwa in der *Smart Factory* verlangen vielmehr nach einer explikativen Ontologie, die realistisch konzipiert ist. Damit zusammenhängend sollte das *Ontology Engineering* (OE) nicht *bottom-up*, sondern immer *top-down* erfolgen. Damit führt es von der TLO als metaphysisch verankerter fundamentaler Ontologie über die EO als integrativer Kernontologie zu allen nachgeordneten Ontologien.¹²⁷⁸ Vor dem Hintergrund der *TLO-EO-Verkopplung* und der damit systematisch zu vollziehenden TLO-Referenz folgen grundsätzliche Implikationen für das EO-Engineering. Dieses hat damit allen in Pkt. 7.2 erörterten *fünfzig TLO-Requirements* zu entsprechen. Unter anderem gehört dazu die *4D-Ereigniszentrierung* oder die notwendig zu vollziehende *CM/AI-Integration*, die es gerade auch im Zuge der EO-Konzeption zu beachten gilt.

- (v.) Jenseits der defizitären REA-Ereignisse entspricht kein EO-Theorieanwörter der *de facto* erforderlichen *Pluralität der Ereigniskategorie*: Denn kommerzielle Ereignisse (business events) sind genauso zu berücksichtigen wie physische Ereignisse (physical events), IT-Ereignisse (software events) oder solche der Agentenwelt (mental events) usf. Dabei sind diese jeweils für sich umfassend auszudifferenzieren. Webzentrisch sind demgegenüber alle Ereignisse im Sinne physischer wie virtueller Sensoren im Zuge des *Complex Event Processing* (CEP) auf eine einheitliche Grundlage zu bringen. Dabei sind im Zeichen des SCEP zum einen semantische Anforderungen zu berücksichtigen, zum anderen ist das U-CEP-Paradigma im Sinne des ED-BPM in den IoT-BPM-Komplex zu inkorporieren.
- (vi.) Kein EO-Ansatz zielt systematisch auf die CPSS-Adäquanz, was allein über eine systematische *TLO-EO-Verkopplung* zu gewährleisten ist. Der CPST-Hyperspace ist für alle Diskursuniversen der Informatik konstituierend,

¹²⁷⁸ Vgl. dazu Abb. 3 unter Pkt. 3.3.1.

spielt jedoch in seiner Differenzierung der vier Welttypen bei allen bisherigen EO-Ansätzen keinerlei Rolle.

- (vii.) Kein EO-Ansatz ist tatsächlich einer umfassenden SEA-Adäquanz verpflichtet; die Bedeutung der SOA-Kompatibilität wird nur im Zuge der SUPER-EO erkannt. Eine Ausrichtung auf ED-SOA-Anforderungen ist regelmäßig nicht gegeben. EO-Ansätze sollten EA-Ontologien substituieren bzw. subsumieren; verbleibende spezielle EA-Ontologien müssen mindestens mit der integrativen Kernontologie kompatibel sein. Insofern sollte der *Enterprise Life Cycle* (ELC) für alle EA-Frameworks verbindlich sein, womit jede EA-Ontologie mit dem *PPRLT 4D-Lifecycle Framework* kompatibel ist.
- (viii.) Kein EO-Ansatz zielt systematisch auf die MAS-Adäquanz; kein EO-Ansatz ist sachgerecht auf agentenbasierte Systeme zugeschnitten; REA-Agenten sind als *ökonomische* Agenten konzipiert, nicht im SEA-Sinne als CPS-Agenten bzw. im Cyberspace als Softwareagenten.
- (ix.) Kein EO-Ansatz zielt systematisch auf die CAS-Adäquanz, die mit der CPSS/MAS-Adäquanz impliziert ist; kein EO-Ansatz ist tatsächlich auf Basis der *Theorie komplexer Systeme* konzipiert bzw. steht unter dem technologischen Paradigma der Komplexitätsforschung.
- (x.) Mit partieller Ausnahme der SUPER-EO weist kein EO-Ansatz eine von vornherein verankerte *Service Ontology* auf. Jede sachgerechte EO-Konzeption sollte insofern explizit auf der SOC-Basis stehen, als sie am Verhandeln (Negotiation) von MAS-Agenten festmachen muss. Dabei gehen MAS-Agenten formal zu regelnde Beziehungen ein, was in einer entsprechenden Verpflichtung (Commitment) der *Commitment-Based SOA* (CSOA) mündet.¹²⁷⁹ Agenten nehmen bei einem solchen *Commitment* als formale Parteien (ggf. Vertragsparteien) verschiedene Rollen ein: etwa die des Debtors und Kreditors, wobei diese Relation im Zeichen des *Pragmatic Web* in einem spezifischen institutionellen bzw. organisationalen Kontext steht, der als *Regelsystem* zu verstehen bzw. modellieren ist. Auch in diesem Sinne sind alle Transaktionen kontextbezogen. Alle EO-bezogenen Agenten sind somit auch nicht isoliert zu denken; im Gegensatz zur ersten und zweiten AI-Generation stehen sie mit der Maßgeblichkeit des CPST- bzw. IoX-Hyperspace in der dritten AI-Generation im Ganzen von ED-SOA-Infrastrukturen.
- (xi.) Mit Ausnahme der SUPER-EO weist kein EO-Theorieanwärter eine *universale Prozesstheorie* auf: *Produkte bzw. Services* (PSS) bilden das Output von Prozessen und basieren damit auf einer Sequenz von Ereignissen. Dabei beziehen sie im PPR-Sinne Ressourcen als Inputs mit ein; diese sind als Assets bzw. Aktiva zu sehen und implizieren mit ihrer organisationalen Zuord-

¹²⁷⁹ Vgl. M.P. Singh et al. (2009).

nung immer auch die Berücksichtigung der Organisationsdimension. Im Zeichen des *PPRLT 4D-Lifecycle Frameworks* ist entsprechend über die *Unified Services Theory* (UST) bei Sampson/Froehle (2006) hinauszugehen, indem eine *einheitliche Prozesstheorie* zu fordern ist. Indessen wird auch die SUPER-EO nicht den Erfordernissen des ED-BPM gerecht. Prozesse sind praktisch in der Art zu konzipieren, wie es gängige, wenn auch weiterzuentwickelnde Notationen – etwa BPMN – erfordern. Dabei hat die Durchgängigkeit digitaler Wertschöpfungsketten im Vordergrund zu stehen, die sich letztlich über die gesamte *Supply Chain* erstreckt. Zum anderen sind die Prozesse auf ED-SOA-Basis immer mit *Web Services* zu kombinieren. Insgesamt ist der ED-BPM-Aspekt zwingend in der EO-Konzeption zu verankern. Ferner ist die einheitliche Prozesstheorie um ein *Process Classification Framework* (PCF) zu ergänzen, das auf das XaaS-Paradigma verweist und auf dieses zugeschnitten ist.¹²⁸⁰

- (xii.) Kein EO-Ansatz macht darüber hinaus sachgerecht am *Value-Driven BPM* fest: kommerzielle und technische Services lassen sich allein dann verbinden, wenn im Sinne von Weigand et al. (2007b) zunächst eine *Value Object Analysis* vollzogen wird, auf deren Grundlage das Value Model in ein *Process Model* transformiert wird. Somit lassen sich schließlich auch die *Web Services* sachgerecht, d.h. *kontextbezogen*, definieren. Die EO muss damit über ein integriertes BMO-Modul verfügen, das auf den PSS-Aspekt von IoX-Systemen ausgelegt ist. Ein mächtiger EO-Ansatz muss sich dabei sowohl auf die *Goods-Dominant Logic* (GDL) wie auf die *Service-Dominant Logic* (SDL) beziehen können; der Schwerpunkt liegt in IoX-Kontexten mit der Pluralität von Services dabei auf letzterer. Mit dem SOC-Moment des IoX-Hyperspace sind zumindest diese in jedem IoX-System immer gegeben.
- (xiii.) Kein EO-Ansatz kann faktisch seiner integrativen Funktion entsprechen, indem das PPR- bzw. PPRLT-Framework bei keinem EO-Ansatz wirklich durchgängig realisiert ist. Als Kernontologie kommt es jedoch bei der EO-Konzeption gerade auf diese integrative Funktion an.
- (xiv.) Kein EO-Ansatz ist tatsächlich auf *Echtzeitprozesse* im *Sensing Enterprise* mit entsprechender *RTE-Fokussierung* ausgelegt. Vor dem Hintergrund des RTE-Gedankens ist ferner festzustellen, dass der EO-Gedanke zumeist nicht im allgemein koordinativen IT-Sinne der *Enterprise Architecture* (EA) gesehen wird,¹²⁸¹ sondern vielmehr primär einer ökonomischen Sichtweise entspricht. Das gilt insbesondere für die REA-EO als verbreitetsten EO-An-

¹²⁸⁰ Gängige Ansätze wie das APQC PCF sind nicht dezidiert auf das XaaS-Paradigma ausgelegt, während die PCF-XaaS-Kombination als elementar zu erachten ist; entsprechend ist hier eine Weiterentwicklung erforderlich (CEOX PCF).

¹²⁸¹ Bei der DEMO-EO sind dies mit der *Performance in Social Interaction* (PSI-Theorie) *soziale Systeme*.

satz. Richtig ist jedoch, den EO-Gedanken generell vor dem Hintergrund von Haeckels *Sense-and-Respond Model* zu entwickeln, was im Sinne von ED-SOA ein *Adaptive Enterprise Design* verlangt. Somit gilt der EO-Aspekt für jedes IoX-Szenario, indem mindestens immer Services, Prozesse und Ressourcen ontologisch im SEA-Sinne zu orchestrieren sind. Dabei laufen diese EO-Aspekte auf eine umgesetzte Vollautomatisierung hinaus; d.h. der EO-Gedanke steht nicht nur im Zeichen des konzeptuellen Modells (EM), sondern vielmehr primär im ontologischen Zeichen des semantischen Modells (EO). Das ist insbesondere bei der DEMO-EO völlig anders, indem hier der EO-Aspekt auf das EM-Moment fixiert ist. Dietz (2006a) bezeichnet also das *konzeptuelle Modell* im Sinne der *CM-Ontologie* als *Enterprise Ontology* (EO), während diese im integrativen Kontext von CYPO *CEOX* primär als *AI-Ontologie* zu erachten ist. Vor dem Hintergrund des damit verbundenen *Autonomic Computing* gilt das PPR-Framework für alle IoX-Szenarien universal. Gleichzeitig muss es jedoch jedem IoX-Szenario gerecht werden können, gerade auch dem diffizilsten, das mit der zusätzlichen Produktion physischer Güter in dem Einbezug von Fertigungssystemen der *Smart Factory* gegeben ist. Das gilt insbesondere dann, wenn die physischen Produkte ihrerseits im 4DP-Sinne adaptiv bzw. programmierbar sind und sie bereits im Engineering auf diese adaptive Nutzungsphase (MOL-Phasen) auszulegen sind. Insofern besteht das diffizilste IoX-Szenario im U-PLM-Referenzszenario, das in der Fertigungsphase die Fertigungssystemen der *Smart Factory* mit umschließt und diese in den Kontext aller anderen Phasen setzt. Die EO-Konzeption muss als integrative Kernontologie auch solch speziellen PSS- bzw. PLM-Ontologien gerecht werden, auch wenn diese selbst keinen zwingenden Bestandteil der EO-Konzeption bilden. Vielmehr liegt es nahe, die EO-Konzeption modular zu gestalten, und solche speziellen Anforderungen durch gesonderte Module zu absorbieren. Dennoch ist die EO-Konzeption gleichzeitig auf technische, ökonomische und kommerzielle Anforderungen bzw. Gesichtspunkte auszulegen.

- (xv.) Kein EO-Ansatz ist auf das *IoX-Monitoring* bzw. auf *Digital Analytics* ausgelegt, indem die EO-Konzeption im RTE-Sinne gerade auch für Zwecke der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) grundlegend sein muss. Auf der Grundlage von Multisensorsystemen ist vor dem Hintergrund von Haeckels *Sense-and-Respond Model* zu genau zu definieren, was in welcher Weise wo zu welchen Zeitpunkten gemessen wird, welche Services bzw. Prozesse solche Messdaten unter welchen Bedingungen auslösen, und vor welchem ontologischen Hintergrund diese interpretiert werden. Mit anderen Worten ist Haeckels *Sense-and-Respond Model* zu automatisieren, wobei

diese Automatisierung im Ganzen der globalen Intelligenz zu orchestrieren ist. Dabei übernimmt die EO-Kernontologie die integrative Funktion zur Realisierung des RTE-Gedankens. Indem sich solche Messungen bzw. die Sensorik genauso wie die Aktorik auf die realen Diskursuniversen bzw. kausal unmittelbar auf die reale Welt beziehen, ist dabei die TLO-EO-Verkopplung maßgeblich. Das wiederum gilt nur dann, wenn der TLO-Aspekt selbst richtig verstanden ist, d.h., wenn die TLO-Konzeption wiederum selbst auf eine revisionäre, techno-wissenschaftliche Metaphysik im Whiteheadschen Sinne verweist. Nur dann kann ein IoX-Monitoring im RTE-Sinne in allen denkbaren IoX-Szenarien sinnvoll sein. Auch in dieser Sache sollte der Fokus der Informatik ein universaler sein, der die unterschiedlichsten IoX-Szenarien, etwa das *Internet of Geophysical Things* (IoGT), das *Internet of Chemical Things* (IoCT), das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT), das *Internet of Medical Things* (IoMT) oder das *Internet of Industrial Things* (IoIT) berücksichtigt. Dabei muss dies wiederum gleichzeitig für wissenschaftliche, für technologische oder für praktische Zwecke in der konkreten Anwendung gelten können. Insofern ist die TLO-EO-Verkopplung dann auch unmittelbar für das IoX-Monitoring von Belang. Ferner muss dann der EO-Ansatz auf CPSS-adäquater Grundlage das *Realtime IoX-Monitoring* und *BAM* im Zeichen des U-CEP unterstützen können. Dieses muss sich an allen vier Weltypen des CPST-Hyperspace orientieren.

Mit dem Ziel der Überwindung der Defizite und Defekte, die mit diesen fünfzehn Kritikpunkten zum Ausdruck kommen, ist auf Basis der *Cyber-Physical Ontology* (CYPO) das Erfordernis zur Entwicklung einer neuen *Core Enterprise Ontology for XaaS* (CYPO CEOX) mit der Anforderung R39 unter Pkt. 7.2 impliziert.

2.8 Zwischenfazit: Zur CPSS/SEA-Fixierung der Top-level Ontologie

»Top-level ontologies are used to provide a theoretical underpinning for representation and modelling in information systems in ways designed to bring benefits in the form of more reliable applications, better quality data-creation, and also help in error-detection.«

— Simon K. Milton (2004: 85)

Mit diesem zweiten Teil wurde gemäß des in Pkt. 1.3 definierten TZ2 dargelegt, dass die Ontologie- bzw. Metaphysikproblematik sich keineswegs allein auf die *externe* Welt bezieht, sondern dass sie für die *internen* Welten der Informatik genauso maßgeblich ist. Das geht über die Differenzierung von cyber-physischen Welten deutlich hinaus: Mit den internen Welten sind vielmehr eine Reihe grundverschiedener Welten gemeint. Das sind neben den Agentenwelten vor allem auch solche technologischen Welten, die keine Diskursuniversen im empirischen Sinne, sondern vielmehr technische Universen bilden, wie sie etwa im Steuerungs- und Regelungszusammenhang des *Sense-and-Respond Model* bzw.

der darauf bezugnehmenden *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) stehen. Es geht dann um Funktionsontologien, die von SOA- über Sensor- bis zu CEP-Ontologien reichen, oder es geht um Aufgabenontologien, die im Prozess- bzw. Workflowzusammenhang stehen, oder etwa um Methodenontologien, die auf die Speicherung von Problemlösungsmethoden (PSMs) zielen. Dabei geht es um aktuelle Welten wie um mögliche Welten, die sich in dieser gleichzeitigen Adressierung allein über eine integrierte Ontologiekonzeption berücksichtigen lassen. Analoges gilt in Bezug auf ihre divergierenden Wahrmacher.

Die *Enterprise Architecture* (EA) behandelt beides, d.h. die externen wie die internen Welten und organisiert ihr Zusammenspiel im globalen Ganzen. Die externen Welten sind in CPS-Kontexten in Bezug auf die CPS-Schnittstellen von Relevanz, d.h. insbesondere in Bezug auf die Positionierung der Sensorik und Aktorik wie auch in Bezug auf die Bestimmung des kausalen Einzugsbereichs. Die internen Welten besitzen die verschiedensten Facetten; das beginnt mit der internen Repräsentation der externen Welten im Zuge der konzeptuellen Modellierung und endet im Maschinenraum der Informatik. Damit ist das *Information Processing* als solches gemeint, d.h. Algorithmen wie die Verarbeitung von Daten bzw. Informationen bis zur Generierung von Wissen, etwa im HLIF-Sinne. Damit sind die internen Welten gerade für das Moment der globalen Intelligenz entscheidend, wobei dieses ohne die Infrastruktur der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) unmöglich ist. Insgesamt ist damit der SEA-Konnex durch die Metaphysik der Informatik geprägt, wobei dies wiederum konkret über die TLO-Referenz zu vollziehen ist. Richtig erschlossen zeigt sich der SEA-Aspekt somit erst durch die Digitalmetaphysik als Cyber-Physik. Erst auf ihrer Basis lassen sich alle Aspekte in der richtigen ereigniszentrischen Weise fassen.

Gleichzeitig ist die Metaphysik für die Frage entscheidend, wie Diskursuniversen modelliert oder wie Semantikstrukturen verstanden werden. Das betrifft den folgenden dritten Teil mit Pkt. 3.2.2 (CM-Ontologie) sowie Pkt. 3.2.3 (AI-Ontologie), wobei ihre faktische Konvergenz erst über das in Pkt. 3.4 konkretisierte IMKO *OCF* gewährleistet ist. Das berührt dabei nicht allein die Domänenontologien, sondern erstreckt sich vielmehr auf das ganze *System von Ontologien*, wie es in Pkt. 3.3.1 behandelt bzw. mit Abb. 3 illustriert wird. Die intern bezogene Orchestrierung aller Ontologien übernimmt dabei im SEA-Zeichen die *Enterprise Ontology* (EO) als integrative Kernontologie (CO), während die *Top-level Ontologie* diese interne Dimension mit der *TLO-EO-Verkopplung* absorbiert und die universalen Kategorien wie die meta-ontologischen Dispositionen im Rekurs auf die Digitalmetaphysik als Cyber-Physik spezifiziert. Auf dieser Basis wird ein universales Ontologieverständnis wie eine integrative Ontologiekonzeption möglich, wie sie mit Pkt. 3.3, Pkt. 3.4 sowie Pkt. 3.5 erörtert werden. Der CPST- bzw. IoX-Hyperspace offenbart somit insgesamt, dass in der bisherigen AI-Debatte die mit Blick auf die Superintelligenz entscheidenden AI-Momente fehlen. Das betrifft die globale Intelligenz, die SEA-Aspekte sowie die SOC-Infrastruktur mitsamt ED-SOA und den MAS/CAS-Agenten, was jeweils im Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz zu verstehen ist.

Sowohl die erste wie die zweite AI-Generation sind an sich in keiner Weise auf den Gedanken der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) wie das *Realtime IoX-Monitoring* im Ganzen angelegt. Damit sind sie auch nicht auf das *Real-Time Enterprise* (RTE) bezogen, in dem die globale Intelligenz aller IoX-Systeme zu sehen ist; unabhängig von der Frage, ob dieses in einem wissenschaftlichen, technologischen oder praktischen Zusammenhang steht. Im Kontext der Daten von Multisensorsystemen, der RTBDA und dem Wissensaspekt globaler Intelligenz wird erst sachgerecht deutlich, in welchem Verhältnis Daten, Informationen und Wissen in der Informatik überhaupt stehen. Bislang werden sie zwar in der einen oder anderen Form zueinander abgegrenzt, aber selten bis gar nicht aus einem CPS-adäquaten Guss heraus entwickelt. Tatsächlich ist dies in qualifizierter Weise auch nur möglich, wenn es im CPS-Kontext des Automatenuniversums bzw. CPST-Hyperspace vollzogen wird. Daran sind die bisherigen Definitionen aber durchgängig nicht orientiert. Während der RTBDA-Aspekt in der ersten und zweiten AI-Generation für den Agenten ein Fremdkörper bleibt, ist er in der dritten AI-Generation im Zeichen globaler Intelligenz als Superintelligenz essentiell. Denn zu ihrer Realisierung sind zunächst einmal alle Teilbereiche der Informatik in interdependenten Weise zu fassen, was wiederum lediglich auf der Grundlage der Metaphysik der dritten AI-Generation, der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik als der eigentlichen *Metaphysik der Informatik*, gelingen kann.

Dass die CPSS/SEA-Aspekte Hand in Hand gehen, wurde anhand der CPPS der *Smart Factory* deutlich, für die das Physikmodell genauso zu beachten ist wie die Belange der *Enterprise Architecture*. Es steht außer Frage, dass es diese Bandbreite ist, die das Ontologieverständnis der Informatik abdecken muss. Allerdings wird weder der Ontologiebegriff noch die Ontologiekonzeption im Allgemeinen bisher in dieser angezeigten Breite behandelt. Dennoch wird ein Anspruch auf Allgemeingültigkeit gestellt, was offenbar kaum haltbar ist; zumal mit Verweis auf den siebten Teil ein systematisches wie universales *Requirements Engineering* in der bisherigen Ontologieforschung nicht einmal im Ansatz vollzogen wird. Kein TLO-Theorieanwärter und kein EO-Theorieanwärter stellt heute die Frage nach systematischer CPSS-Adäquanz als solcher, keiner nach systematischer SEA-Adäquanz als solcher und damit gewiss auch keiner nach einer gleichzeitigen CPSS/SEA-Adäquanz, die schließlich die MAS/CAS-Adäquanz impliziert. Kein EO-Theorieanwärter thematisiert das *Real-Time Enterprise* (RTE) als globale Intelligenz von IoX-Systemen; keiner ist am Produktlebenszyklus und schließlich an *U-PLM-Systemen* mitsamt dem PPRLT-Framework als Integrationskonzept orientiert. Kein TLO- und kein EO-Theorieanwärter erfüllen das Erfordernis einer systemischen *TLO-EO-Verkopplung*, was gleichzeitig einen grundlegenden Defekt für alle TLO- wie für alle EO-Theorieanwärter bedeutet. Indem die bisherigen TLO- bzw. EO-Ansätze offenbar durch maßgebliche Defizite und Defekte geprägt sind, wird das in Pkt. 1.5 erörterte *U-PLM-Referenzszenario* als Anhaltspunkt umso wichtiger, um den Diskurs CPS-genuiner Grundfragen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im folgenden dritten Teil in systematischer Weise führen zu können.

3. Diskurs genuiner Grundfragen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*

»[T]he most serious problems standing in the way of developing an adequate theory of computation are as much ontological as they are semantical. It is not that the semantic problems go away; they remain as challenging as ever. It is just that they are joined – on center stage, as it were – by even more demanding problems of ontology.«
— Brian Cantwell Smith (1996: 14)

Wenn es gilt, die Grundfragen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu reflektieren, stellt sich spätestens mit der globalen Intelligenzfunktion des *Real-Time Enterprise* (RTE) das Erfordernis nach einer Orientierung für diese Debatte. Das gilt umso mehr, als für die bisherige Ontologiedebatte letztlich zu konstatieren ist, dass sie im Ergebnis zu einem völlig konfusem Ontologieverständnis in der Disziplin geführt hat. Insofern bietet es sich an, die Ontologiediskussion etwas systematischer auf das in Pkt. 1.5 entwickelte Referenzszenario zu beziehen: Wie dort dargelegt, handelt es sich bei *Closed-loop U-PLM-Systemen* um *integrierte Prozess- und Wissenssysteme* zur intelligenten Steuerung von Service- bzw. Produktlebenszyklen. Werden die Grundfragen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf dieses Referenzszenario bezogen, wird deutlich, dass Ontologien für diese Systeme in gleich zweifacher grundsätzlicher Weise entscheidende Relevanz entfalten.¹²⁸² Dabei handelt es sich um Bereiche, die bisher kaum integriert betrachtet werden, obschon zunehmend das Erfordernis dazu gesehen wird:¹²⁸³ Während Ontologien bei *Prozesssystemen* insbesondere im Zusammenhang mit der *konzeptuellen Modellierung* (CM) eine entscheidende Rolle spielen, besteht ihre Bewandnis bei *Wissenssystemen* in der *Wissensrepräsentation* (KR), die die Grundlage für ontologiebasierte Informations- resp. Wissenssysteme (ODIS) bildet. Indem komplexe IoX-Systeme auf den Aspekt der Prozessintelligenz hinauslaufen, sind beide Ontologiesphären zwingend einer Synthese zuzuführen, was schließlich das Erfordernis einer Konvergenz der Ontologien impliziert.

Die Reflexion der Grundfragen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* lässt sich nicht führen, ohne dabei auf das allgemeine Ontologieverständnis der Informatik abzustellen. Denn in Anbetracht des Umstands, dass das *U-PLM-Referenzszenario* im SEA/SEI-Sinne nicht weniger als die PSS- bzw. PPR-zentrische Integrationsplattform des *Smart Enterprise* einschließlich der *Smart Factory* zum Gegenstand hat, sind damit im Zeichen eines CPSS/SEA- wie IoX-basierten *Ubiquitous Computing* letztlich im Grunde sämtliche ontologischen Aspekte der Informatik berührt. Mit dem komplexen Zusammenspiel unterschiedlichster Ontologien, Ontologietypen bzw. Ontologiearten und der Schlüsselstellung von *Closed-loop U-PLM-Systemen* in der *Smart Enterprise Integration*, bei der Ontologien in den vielfältigsten Einsatzkontexten Anwendung finden,¹²⁸⁴ muss das allgemeine Ontolo-

¹²⁸² Vgl. hierzu allgemein Fonseca (2007).

¹²⁸³ Vgl. etwa Wand/Weber (2002) oder Wieringa (2011).

¹²⁸⁴ Dabei sind nicht nur die komplexen Anwendungsszenarien der BOL-Phase, neben der Konstruktions- und Entwicklungsphase etwa umfassende CPS- bzw. IoX-Szenarien der *Smart Factory*, sondern mit dem Einsatz von PEID-Technologien zunehmend auch der Ontologieeinsatz in der MOL-Phase zu berücksichtigen. Damit geht es einerseits sowohl um Domänen- und Aufgabenontologien als auch um Top-level Ontologien, andererseits um Heavyweight- und Lightweight-Ontologien.

gieverständnis der Informatik mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* notwendig korrespondieren (et v.v.). Allerdings kann, wie in diesem dritten Teil deutlich wird, eine solche Korrespondenz insofern nicht realisiert werden, indem im heute gängigen Ontologieverständnis der Informatik grundlegendste Defekte gegeben sind. Für seine sachgerechte Diskussion ist die Tatsache entscheidend, dass im Kontext semantisch interoperabler Closed-loop U-PLM-Systeme konzeptuelle Modelle nicht mehr strikt von semantischen Modellen zur Wissensrepräsentation separierbar sind. Das gilt allein schon mit Blick auf die erwähnte zentrale Stellung der Prozessintelligenz, die einerseits auf der Interoperabilität weitgehend automatisierter Prozesse beruht, andererseits auf Grundlage einer integrierten *Enterprise Architecture* (EA) eine für CPSS- bzw. IoX-Zwecke geeignete Wissensrepräsentation voraussetzt, was auf eine *Smart Enterprise Architecture* (SEA) hinausläuft.

Als integrierte Prozess- und Wissenssysteme erfordern *Closed-loop U-PLM-Systeme* eine einheitliche ontologische Basis, die vor allem mit Blick auf die *Top-level Ontologie* unabdingbar ist. Denn bei ihrer integrierten Betrachtung kann es keine zwei sich mehr oder minder widersprechende Weltmodelle geben, wenn nicht nur generelle Interdependenz zwischen konzeptuellen und semantischen Modellen besteht, sondern sie sich damit zusammenhängend auf das gleiche Diskursuniversum (UoD) beziehen: Mit Blick auf das Ziel einer integrierenden *Enterprise Architecture*, ohne die U-PLM-Systeme weder ihrem strategischen Charakter noch ihrer zentralen Funktion als Integrationsplattform gerecht zu werden vermögen, zielt das Zugrundelegen *einer* Top-level Ontologie auf eine ontologische Verpflichtung, der gerade in Grundsatzfragen *ein* geteiltes Weltmodell zugrundeliegt. In der Klärung solcher meta-ontologischen Fragen, auf die die *Top-level Ontologie* zielt, besteht zweifelsohne die Grundvoraussetzung für eine allumfassende *Enterprise Integration* (EI) sämtlicher IoX-relevanter Informations- und Wissenssysteme: Sind diese Grundsatzfragen nicht zweifelsfrei geklärt, bleibt das Ziel einer umfassenden *Smart Enterprise Integration* (SEI), auf die Closed-loop U-PLM-Systeme ihrer Natur nach zielen, kaum realisierbar. Vielmehr besteht in der *Top-level Ontologie* gerade die Referenzebene, über die sich die Integration konzeptueller wie semantischer Modelle erst bewerkstelligen lässt.

Eine IoX-adäquate *Top-level Ontologie* hat sich somit in zweifacher Hinsicht zu bewähren, nämlich sowohl in Bezug auf die konzeptuellen Modelle als auch in Bezug auf die semantischen Modelle, wie sie U-PLM-Systemen und letztlich im Grunde allen Systemen bzw. Applikationen in prinzipiell interdependenten Weise zugrundeliegen. Vor diesem Hintergrund wird die Funktion, die Ontologien im Rahmen von U-PLM-Systemen im Referenzszenario spielen, erst dann richtig nachvollziehbar, wenn diese im Kontext des in Pkt. 2.5 ff. behandelten PPR-Frameworks erörtert wird: Insbesondere die zentrale Rolle, die *Top-level Ontologien* dabei einnehmen, wird erst dann hinreichend verständlich wenn bedacht wird, dass bei PLM-Systemen – im Gegensatz zu reinen PDM-Systemen – nicht bloß eine, zumeist auch noch lediglich physisch gedachte Produktklasse im Vordergrund

steht, sondern es vielmehr um zu synchronisierende *Produkt-Service-Systeme* (PSS),¹²⁸⁵ Prozesse und Ressourcen als zentrale Klassen der PLM-Kernontologie geht. Dabei ist ferner zu berücksichtigen, dass diese auf Ebene realer Modelle wie auf Ebene der Datenmodelle in einem komplexen wechselwirkenden Verhältnis stehen. Die in interoperablen PLM-Systemen zwingend integriert zu handhabende Produkt/Service-, Prozess- und Ressourcendimension stellt einen wesentlichen Komplexitätstreiber dar, weil die Entitäten resp. Objekte jeder Dimension in dynamischen Prozessen wechselseitig miteinander verkoppelt sind. Dabei führt die Tatsache, dass sich das PPR-Framework evolutionär neben der BOL-Phase auch auf die MOL- sowie EOL-Phase erstreckt, in diesem wechselseitigen Zusammenspiel zu einer nicht unerheblichen Komplexitätssteigerung.

Im Gegensatz zu PDM-Systemen stehen bei *Closed-loop U-PLM-Systemen* der Einbezug von intelligenten Produkten im Kontext von PEID-Technologien in der MOL-Phase, intelligente weitgehend automatisierte Prozesse resp. Workflows sowie intelligente Ressourcen im Sinne vernetzter Maschinen und Anlagen im Vordergrund. Daneben geht es bei PLM-Systemen auch um immaterielle Produkte und Services, die mit ihrer Immaterialität eine besondere kategoriale Berücksichtigung einfordern. Diese neueren Aspekte sind mit Blick auf ihr wechselseitiges Zusammenspiel im PPR-Framework ohne eine *Ontologie komplexer IoX-Systeme* kaum umsetzbar. Dabei wird insbesondere eine IoX-adäquate *Top-level Ontologie* entscheidend, weil nur diese in letzter Konsequenz – über eine adäquate Kernontologie hinausgehend – die drei PPR-Dimensionen über die drei grundlegenden PLC-Phasen tatsächlich in fundamentaler Hinsicht integrieren kann. Services bzw. Produkte, Prozesse und Ressourcen stehen *de facto* in der gleichen *ereigniszentrischen* Konstellation des CEP-Ansatzes, in der gleichen agentenbasierten MAS/CAS-Adaption und gründen in cyber-physischer Hinsicht selbstverständlich auch auf dem gleichen Physikmodell. Damit geht es nicht nur um integrative EO-Aspekte auf Ebene der Kernontologie (CO), sondern darüber hinaus um fundamentale Kategorien wie meta-ontologische Dispositionen, die für sämtliche konzeptuellen, logischen oder physikalischen Modelle, nämlich für die gesamte *Enterprise Architecture* (EA) Geltung besitzen. Dabei steht gänzlich außer Frage, dass ohne eine solche Integration stabile ontologiebasierte U-PLM-Systeme schlichtweg nicht realisierbar sind. Mit Blick auf den gesamten Lebenszyklus geht es beispielsweise um Veränderungen von Objekten in Raumzeit, die nicht ohne ein umfassend differenziertes Kategoriensystem und damit nicht ohne einen Rückgriff auf die *Top-level Ontologie* als Referenzebene ontologisch spezifizierbar sind.

Mit dem ersten und zweiten Teil ist bereits deutlich geworden, dass Ontologien für das SEA-basierte *Real-Time Enterprise* (RTE) eine fundamentale Funktion besitzen. Indem sich dieses in IoX-Kontexten auf *Cyber-physische Systeme* (CPS) bezieht, ist seine genuine Idee ohne Ontologien undenkbar. Das RTE repräsentiert die *globale Intelligenz* komplexer

¹²⁸⁵ Die PSS-Dimension schließt dabei komplexes *techno-wissenschaftliches Wissen* und damit ebensolche *Ontologien* zur Service- bzw. Produktentwicklung mit ein, vgl. exemplarisch S. Brandt et al. (2008).

IoX-Systeme gerade insofern, als diese in elementarer Weise auf AI-Ontologien basiert. Indem echte globale Intelligenz nicht ohne ein universales Weltmodell auskommen kann, steht insbesondere auch die elementare TLO-Funktion somit außer Frage. Demgegenüber besteht in dem in Pkt. 2.5 diskutierten PPR-Framework in inhaltlicher Hinsicht das Integrationskonzept komplexer IoX-Systeme, womit die *TLO-EO-Verkopplung* insgesamt auf die Forderung nach einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität hinausläuft. In der Tat kann eine *Smart Enterprise Architecture* (SEA) nicht nur allein dann sämtliche ontologische Potentiale ausschöpfen, wenn der Ontologiebegriff ein einheitlicher ist. Vielmehr ist darin die Voraussetzung jeder vollumfänglichen semantischen Interoperabilität schlechthin zu sehen. Also ist auch genau mit diesem Aspekt in diesem dritten Teil in dezidiert Weise zu beginnen, was dann jedoch – mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 bzw. Pkt. 3.4 – unvermeidlich einen umfassenderen Diskurs erfordert. Das gilt speziell insofern, als die zu fordernde *Konvergenz der Ontologien* auf Basis der bisherigen sehr speziellen Ontologieverständnisse nicht zu realisieren ist. Eine solche Konvergenz wird erst auf Basis einer *integrierten Ontologiekonzeption* möglich, wie sie in Pkt. 3.5 mit CYPO umrissen wird.

Wenn Mealy (1967) den Ontologiebegriff bzw. Ontologiedanken aus der Philosophie in die Informatik übernimmt, setzt die Diskussion aber auch einen gemeinsamen Startpunkt voraus. Mit anderen Worten können nicht linguistisch orientierte Informatiker gewissermaßen verspätet in die Ontologiediskussion einsteigen, ohne die sehr ausdifferenzierte Basis philosophischer Ontologie an sich zu kennen, auf der Mealy (1967), Minsky (1968c) oder McCarthy/Hayes (1969) aufsetzen. Insofern ist mit Pkt. 3.1 zunächst auf diese Ausgangssituation philosophischer Ontologie einzugehen, indem das Problem disparater Ontologieverständnisse gewiss nicht allein Sache der Informatik ist, sondern genauso eines der elementaren Probleme der Philosophie selbst markiert. Dennoch verschärft sich die Problematik mit der Ontologie der Informatik insofern, als der Ontologiebegriff nicht mehr allein in den klassischen *kategorialen* Zusammenhängen mündet, sondern ihre Rolle darüber hinaus im *wissenschaftlichen, technologischen* wie *praktischen* Kontext steht. Ferner ist sie damit zusammenhängend auch direkt *technisch*, indem etwa Funktionsontologien unmittelbar mit der technischen Infrastruktur verwoben sind. Die Rolle, die Ontologien nunmehr insgesamt spielen, ist somit eine ungleich ausdifferenziertere, was die Debatte um einen universalen Ontologiebegriff bzw. ein allgemeines Ontologieverständnis weitaus schwerer macht. Insofern es auch diese gänzlich disparaten Rollen der Ontologie in die kontroverse Debatte zu inkorporieren gilt, ist mit Pkt. 3.2 auch dieser Aspekt zu erörtern.

Ferner ist der Ontologiedanke abhängig von der Auffassung der AI-Disziplin, die wiederum im Sinne McCarthys (1963a: 66) als eigentlicher Kern der Informatik zu sehen ist. Unterschiede bestehen hier in jeder Hinsicht, allen voran in metaphysischer, und damit in epistemologischer wie methodologischer. Vor allem gibt es völlig konträre Auffassungen zur Frage, was überhaupt unter "Intelligenz" zu verstehen ist, wobei diese Frage mit unterschiedlichen Verständnissen von Perzeption, Kognition und ihrem Zusammenspiel

wiederum metaphysisch bedingt ist. Somit ist die ganze AI-Frage wiederum metaphysisch. Indem diese Auffassungen wesentlich auseinanderklaffen, erweist es sich als sinnvoll, strikt zwischen der ersten, der zweiten sowie der dritten AI-Generation zu differenzieren, wie sie hier abgegrenzt worden sind. Für die erste AI-Generation ist der Gedanke der *Repräsentation* zentral, auf dessen Basis ein Agent operiert. Diese Repräsentation verkörperte in den ersten Jahren der AI-Forschung noch eine einfache *symbolische* Repräsentation, die eine *Repräsentation von Information*, nicht von Wissen darstellte. Mit dem Einsatz semantischer Netze und später mit Ontologien handelt es sich um eine *semantische* Repräsentation, die eine *Wissensrepräsentation* (KR) ermöglicht. Dabei geht es bis heute, d.h. auf Basis von ANI- bzw. AGI-Intelligenz um *Common Sense Knowledge*. Die zweite AI-Generation wurde mit H.L. Dreyfus (1972) vorausgedacht, zeigt sich jedoch nicht zuletzt durch die Überlegungen von Brooks (1991b) *Intelligence Without Representation* bzw. Brooks' (1991c) *Intelligence Without Reason* gekennzeichnet. Allerdings machen die Überlegungen von Brooks (1989, 1990, 1991b) am Moment der *Perzeption* fest, nicht an jenem der *Kognition*. Das läuft jedoch auf ein anderes Intelligenzverständnis hinaus: Es geht bei ihm zwar um die Wiedererkennung visueller Muster, wie sie gerade auch die Intelligenz von Tieren auszeichnet. Mit Schopenhauer (1813) lässt sich höheren Tieren damit durchaus auch *Verstand* im Sinne der Fähigkeit zum anschaulichen Erkennen zukommen. Allerdings nicht *Vernunft* bzw. der *Ratio* als Fähigkeit zum abstrakten, diskursiven Erkennen.¹²⁸⁶ Vernunft bzw. Ratio ist also typisch dem Menschen als *animal rationale* vorbehalten, oder aber rationalen maschinellen Agenten. Wenn für Hayes/Ford (1993b) als Vertreter der ersten AI-Generation das AI-Ziel in einem »artificial human-level thinker« besteht, dann muss es in der AI-Disziplin natürlich nicht nur um *Verstand*, sondern gerade auch um *Vernunft* gehen. Dann ist die Intelligenzfrage zweifellos auch an die Rationalität zu koppeln, wie es S.J. Russell (2016), der ebenfalls der ersten AI-Generation zuzurechnen ist, nochmals betont. Der Kantische Agent ist in der Tat ein *Agent der Vernunft*, auch wenn dieser im Sinne H.A. Simons nur begrenzt rational ist. Insofern der Heideggersche Agent bei H.L. Dreyfus (1972) zweifellos ein Kantischer Agent ist, greift die Position von Brooks – wie es H.L. Dreyfus (2007) selbst bemerkt – offenbar viel zu kurz.

V.C. Müllers (2007) Frage – *Is There a Future for AI Without Representation?* – ist in ihrem Rekurs auf Brooks (1991b, 1991c) entsprechend konsequent gestellt. Denn bei V.C. Müller (2007) geht es um *Kognition* im Ganzen der Kognitionswissenschaften, allerdings läuft dies in Richtung der unglücklichen Differenzierung von "old AI" vs. "new AI", wobei letztere auf einer ebenso neuen »different cognitive science« steht.¹²⁸⁷ Diese hat mit dem orthodoxen »view of cognition as central 'control' of an agent that follows a structure of sense-model-plan-act; that rationally 'selects' an action, typically given some utility

¹²⁸⁶ Vgl. Schopenhauer (1813), insbes. §34.

¹²⁸⁷ Vgl. V.C. Müller (2016: 2).

function« nicht viel gemein.¹²⁸⁸ Vielmehr handelt es sich um eine "*embodied-embedded*" Variante der Kognitionswissenschaft.¹²⁸⁹ Allerdings übersieht V.C. Müller (2016) damit, dass Vernunft und Rationalität nicht allein handlungsbezogen sind, sondern damit zusammenhängend, dass es auf ein Abwägen von Argumenten und logischen Schlüssen ankommt, wenn es um *reflexive Intelligenz* im Sinne G.H. Meads (1934) geht. Zwar steht auch für V.C. Müller (2014: 219) außer Frage, dass es im Computing eine physikalische, eine syntaktische und eine semantische Ebene gibt, doch geht es in seiner "new AI" wie im Superintelligenzverständnis bei V.C. Müller/Bostrom (2016) weder um Semantik noch um Ontologie. Mit V.C. Müller (2009) wird deutlich, dass zur Semantikfrage des Computing eine verabsolutierte Position eingenommen wird, ohne dass das Computing bzw. die AI-Frage als solche hinreichend reflektiert wird. Das korrespondierende AI-Verständnis findet sich etwa bei V.C. Müller (2012); es geht um autonome kognitive Systeme in realen Welten, doch ist die Sichtweise hier viel zu abstrakt bzw. rein theoretisch. Denn die AI-Fragen bei V.C. Müller (2012) werden weder im Kontext des CPST- bzw. IoX-Hyperspace diskutiert noch geht es überhaupt um das Internet bzw. Smart Web. Es sind eher AI-Gedankenspiele, wenn es bei V.C. Müller (2007) um "Zombies" und anderes geht, was wiederum in Verbindung steht mit den ethischen und sozialen AI-Fragen, mit denen er sich beschäftigt. Allerdings wird mit seinem Gegensatz von "old AI" vs. "new AI" suggeriert, dass es sich um konträre Positionen handele, die nicht auf einer philosophischen Ebene von Gedankenexperimenten zu verorten ist, sondern in den praktischen Sphären der Informatik. Um einen solchen Gegensatz tatsächlich konstatieren zu können, müsste man allerdings tatsächlich auf der faktischen Ebene im Verbund der theoretischen wie praktischen Informatik argumentieren. Das ist bei V.C. Müller jedoch nicht der Fall, und es wäre gewiss aufschlussreicher gewesen, all die bei ihm philosophisch-abstrakt behandelten Fragen im Kontext eines nachweislich aussagekräftigen wie praktisch relevanten Referenzszenarios zu behandeln, wie es hier mit *U-PLM-Systemen* im IoX-Hyperspace vollzogen wird.

Alle AI-Fragen sind in der dritten AI-Generation völlig anders anzugehen, nämlich systematisch auf dem Fundament der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Natürlich ist der Gedanke des *Computing* an sich bereits metaphysisch bedingt, ganz gleich, wie man dieses sieht. Das gilt für das Moment der Logik bzw. die Logikkalküle, für jenes der Information, für Information Processing, genauso wie für das Voraussetzen neuronaler Netze. Das gilt insbesondere dann, wenn auch bei V.C. Müller (2012) das Computing ein "*Reality Computing*" ist. Insofern ist es metaphysisch, und im Sinne der metaphysica generalis handelt es sich dann um ein *Ontological Computing*, bei dem die Semantik letztlich mit den Realitätsstrukturen korrespondieren muss.¹²⁹⁰ Das gilt nicht zuletzt insofern Cyber-

¹²⁸⁸ Ibid.

¹²⁸⁹ Vgl. zu den Varianten auch M. Wheeler (2005b: 6 ff.).

¹²⁹⁰ Entsprechend schließt *Ontological Computing* im Leibniz-Whiteheadschen Sinne alle Varianten des Computing ein, was insbesondere auch in Bezug auf das *Cognitive Computing* wesentlich ist. Erstes ist also nicht auf eine symbolische Repräsentation fixiert, die indessen im expliziten Sinne elementar ist.

physische Systeme (CPS) auf dieser Basis unmittelbar technologisch-kausal gestaltbar sind. Tatsächlich liegt die Lösung zur Klärung aller Aspekte der AI-Debatte in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Es ist richtig, dass man diese nicht einfach normativ bzw. präskriptiv setzen kann, deshalb wird diese Position hier auch eingehend begründet. Umgekehrt gilt jedoch, dass es genauso umfassend darzulegen wäre, warum diese metaphysische Voraussetzung ggf. nicht gelten können sollte. Warum also die Digitalmetaphysik für die Informatik obsolet sei bzw. weshalb in einer ganz anderen als in der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik die sachgerechte Metaphysik der Informatik bestünde. Kritisch betrachtet sind beide Gegenargumente weder erbringbar noch haltbar, wenn der ganze Zusammenhang gesehen wird. Vielmehr eröffnet die Whiteheadsche Prozessmetaphysik in der Tradition Leibnizens gerade erst jene Perspektiven, die für ein sachgerechtes AI-Verständnis unabdingbar sind. Die Frage der Semantik lässt sich nämlich erst dann in reeller Weise fassen, wenn die AI-Szenarien hinreichend differenziert werden. Doch gerade auch daran ermangelt es in der gegenwärtigen AI-Diskussion: Es ist etwa erforderlich, zwischen Automaten- bzw. Agentenklassen zu differenzieren, zwischen der ANI-, AGI-, und ASI-Intelligenz, zwischen wissenschaftlichen, technologischen und praktischen AI-Problemen, sowie mit allem zusammenhängend zwischen verschiedenen intellektuellen Primärfaktoren, woraus wiederum ein multiples Intelligenzverständnis folgt.

Bereits die Diskrepanz zwischen der ersten und zweiten AI-Generation zeigt, dass es völlig unterschiedliche Verständnisse von "Intelligenz" gibt. Denn in der ersten AI-Generation ist sie explizit auf die Vernunft bzw. Rationalität und damit auf *menschliche* Intelligenz bezogen, während zumindest in der Strömung von Brooks die Intelligenz im Verstandesinne und auf Perzeptionsebene gesehen wird, es also bei der Adaption der Robotik in erster Linie um *tierische* Intelligenz geht. Genauso stellen sich diese Unterschiede in der Semantikfrage dar, indem es in der "*embodied-embedded*" Variante der Kognitionswissenschaft als kognitiver AI-Auffassung der zweiten AI-Generation in keiner Weise elementar um Semantik geht, während das *Cognitive Computing*, wie es nicht zuletzt ausgehend von Sowa (1991g) *Semantic Interpreter* etwa durch Kelly/Hamm (2013) bzw. IBM (2015a) verfochten wird, voller Semantik ist. Denn dies ist allein schon in Bezug auf ANI-Intelligenz bei Maschinenlernen unabdingbar. Offensichtlich gibt es also auch aktuell sehr unterschiedliche Verständnisse davon, was genau unter *Cognitive Computing* zu verstehen ist. Die dritte AI-Generation stellt auch in dieser Sache wiederum die Symbiose her. Denn sie behauptet weder, dass Intelligenz auf die einzigartige menschliche Fähigkeit des abstrakt-reflexiven Denkens zu reduzieren ist, noch dass Intelligenz im Ganzen richtig im Verstandesinne erschlossen ist. Vielmehr werden diese jeweils verabsolutierten Standpunkte eines spezifischen Intelligenzverständnisses auf den Kopf gestellt, indem es mit den Psychologen Thurstone (1938) und H. Gardner (1983) nicht nur *eine* Art der Intelligenz gibt, sondern vielmehr mehrere: Es gilt die Theorie der multiplen Intelligenzen, wobei die einzelnen Intelligenzen bei jedem Individuum verschieden entwickelt sind. Bei H. Gardner

(1983) findet sich bereits der eine oder andere Hinweis auf Whitehead, und für die AI-Disziplin muss es auch gelten, die Theorie der multiplen Intelligenzen im Zeichen der Digitalmetaphysik auf einzelne Automaten- und Agentenklassen zu beziehen. Wesentlich wird damit das konkrete Leibniz-Whiteheadsche Perzeptions- und Kognitionsverständnis.¹²⁹¹ Auf diesem, und keinem anderen, sollte die Informatik mit ihrem cyber-physischen "*Reality Computing*" aufbauen. Dabei ist die Perzeption im Sinne des Informationsmoments für alle Automatenklassen universal, wobei mit Pkt. 4.2 zwischen zwei distinkten Modi der Perzeption zu unterscheiden ist. Für alle Automatenklassen gilt in der Denktradition Leibnizens mit Whitehead, dass sie perceptiv sind, nämlich wahrnehmend im Modus kausaler Wirksamkeit (*causal efficacy*). Demgegenüber steuern höhere Automatenklassen kognitiver Agenten im Modus vermittelnder Unmittelbarkeit die Perzeption willentlich, klar bzw. genau (*presentational immediacy*). Beide Modi sind dabei Teile des Moments des Erfassens (*prehension*), das wiederum in der Metaphysik der Erfahrung für alle Automaten gilt.

Die Differenzierung der sieben intellektuellen Primärfaktoren bei Thurstone (1938) korrespondiert dabei unmittelbar mit den Ausführungen bei Whitehead (1929a, 1929b, 1929c, 1938). Denn Thurstones Primärfaktor *Reasoning*, also das schlussfolgernde Denken, ist im Sinne unserer reflexiven Intelligenz gewiss nur höheren Automatenklassen, namentlich kognitiven Agenten möglich. Hingegen ist etwa *Perceptual Speed*, also die Auffassungsgeschwindigkeit als weiterer Primärfaktor ein Kriterium für alle Plazentatiere. Diese Korrespondenz gilt auch dann, wenn die Perzeption bei Leibniz und Whitehead über die Theorie der multiplen Intelligenzen bei Thurstone (1938) bzw. H. Gardner (1983) weit hinausgeht, indem sie vor dem Hintergrund des Prinzips kausaler Wirksamkeit universal vorausgesetzt wird. Die Theorie der multiplen Intelligenzen bei Thurstone (1938) und H. Gardner (1983) ist jedoch für die AI-Disziplin deshalb so wesentlich, weil sie zeigt, dass weder die Intelligenzauffassung der ersten, noch der zweiten AI-Generation in die richtige Richtung geht. Natürlich muss die AI-Disziplin etwa Thurstones Primärfaktor des *Reasoning* berücksichtigen, weil es bei bestimmten AI-Szenarien genau darum geht. Bei anderen hingegen ggf. nicht. Es ist also ein Intelligenzverständnis erforderlich, das die gesamte Bandbreite an AI-Szenarien abdeckt. Das geht auch hier nur dann, wenn weder verabsolutierend gedacht wird noch zu einseitig, wie es nicht nur den AI-Aspekt als solchen, sondern genauso die Ontologiearchitektur oder die Agentenkonzeption betrifft.

¹²⁹¹ Im Zeichen eines universalen Perzeptions- und Kognitionsverständnisses meint *Perzeption* vor dem Hintergrund des Automatenuniversums lediglich kausales Wahrnehmen, das bei bestimmten Automatenklassen ein sensorisches (sinnliches) Wahrnehmen bilden kann. Das bezieht entsprechend den biologischen bzw. medizinischen Perzeptionsbegriff im Sinne der Aufnahme von Reizen durch Sinneszellen bzw. Sinnesorgane mit ein. Bei kognitiven Agenten ist dieses Wahrnehmen, das an sich keinerlei Reflexion besitzt, dann die erste Stufe auf dem Weg zur Erkenntnis. *Kognition* ist die Fähigkeit, Information durch Wahrnehmung reflexiv zu verarbeiten. Informationen lassen sich dabei aus verschiedenen Quellen assimilieren bzw. fusionieren und in Wissen umwandeln. Dieser Prozess wird je nach intellektueller Mächtigkeit des Agenten (bzw. der Agentenarchitektur) begleitet durch andere kognitive Prozesse, etwa Lernen, logisches Schlussfolgern, Interpretation und Bewertung von Situationen, Entscheidungsprozeduren, reflexives Denken oder den Einbezug externer Ontologien usf.

Die *Theorie der multiplen Intelligenzen* ist für die AI-Disziplin wesentlich, weil mit ihr ersichtlich wird, dass strikt zwischen verschiedenen Automaten- bzw. Agentenklassen zu differenzieren ist, und dass es auf dieser Grundlage nicht zwingend um die eine AI-Technologie, sondern eher um das Wechselspiel multipler AI-Technologien geht. Umgekehrt macht sie es für die AI-Disziplin allerdings umso schwerer, zu einem *einheitlichen Intelligenzverständnis* zu kommen. Seine Relevanz besteht zum einen darin, dass alle intelligenten Automaten Entitäten des einen Leibnizschen Automatenuniversums bzw. desselben Metaphysiksystems sind. Zum anderen erfordert der integrative Zusammenhalt der AI-Disziplin insofern eine *methodologische Einheit*, als es ansonsten ihre metaphysische Einheit in Frage stehen würde. Ein solch vereinheitlichtes Intelligenzverständnis über alle Automatenklassen hinweg kann mit Mainzer (2016c: 240) allein als »an ability to solve problems« gesehen werden. Darin kann das einzige universale Intelligenzverständnis gesehen werden, das mit der *Theorie der multiplen Intelligenzen* bei Thurstone (1938) bzw. H. Gardner (1983) konform geht. Zugleich ist es kongruent mit dem Umstand, dass jeder Automat mit der Prozessmetaphysik Whiteheads in prozessualen *Event Streams* steht.

Auch in der Berücksichtigung des durch Thurstone (1938) eröffneten Spektrums intellektueller Primärfaktoren muss Feyerabends (1975) "*anything goes*" gelten. Natürlich sind die AI-Probleme etwa beim *Internet of Vehicles* (IoV) gänzlich anders gelagert als bei der Einheit der Erkenntnis als Superintelligenz im Leibnizschen Sinne. Die Digitalisierung und allen voran ihr AI-Kern betrifft sämtliche Industriesektoren und Lebensbereiche. Die Digitalmetaphysik muss sich jedoch auf sämtliche AI-Szenarien beziehen lassen. Entsprechend relativiert sich auch das Urteil über den Stellenwert der Semantik. Hier gilt: es gibt im Sinne von Brooks AI-Szenarien, bei denen weder die Wissensrepräsentation noch die Semantik eine Rolle spielt. Es gibt jedoch andererseits genauso AI-Szenarien, in denen sie elementar ist, was bereits bei der maschinellen Übersetzung etwa im Sinne von Sowa (1991g) *Semantic Interpreter* beginnt. Es gibt gleichermaßen AI-Szenarien, in denen es gar nicht um Wissen geht, solche, die im Sinne des *Deep Learning* auf implizites Wissen bezogen sind, und solche, bei denen explizites Wissen im Fokus steht. Diese verschiedenen AI-Szenarien treten genauso im parallel laufenden Wechselspiel auf, wie es für lokale, regionale und globale Intelligenz im U-PLM-Referenzszenario generell zu konstatieren ist. Im IoX-Hyperspace finden sich also die verschiedensten AI-Szenarien, die jedoch im Ganzen betrachtet kausal interdependent sein können. Daher sind sie auch nur in einem Guss zu lösen, was wiederum der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik als Grundlegung bedarf. Entsprechend ist das Computing nicht nur an sich ein *Ontological Computing* im Zeichen der *metaphysica generalis*, sondern mit diesem folgt die AI-Kernsemantik aus der ratio-empirischen Metaphysik der Erfahrung. Wie dargelegt, sind insofern *Objective Knowledge* resp. *Scientific Ontologies* möglich und vor allem auch vorauszusetzen, wenn es um eine automatisierte cyber-physische MAS-Interaktion etwa im IoV-Szenario gibt.

Etwas anders akzentuiert ist diese Voraussetzung bei dem Betreiben der *exakte Semantic E-Sciences*, indem hier gewiss Petries (2007) *No Science without Semantics* gilt.

Für die AI-Kernsemantik gilt jedoch allein der *externe Realismus*, kein *semantischer Realismus*. Mit diesem würde vorausgesetzt, dass die Beschreibung der Außenwelt eine *eindeutige Interpretation* besitzt. Das jedoch ist nicht der Fall, wie es weiter unten anhand der wissenschaftlichen Metaphysiken Bunges und Whiteheads aufgezeigt wird. Somit gilt der metaphysische und epistemische Realismus, aber gerade nicht der semantische. Und darin gründet zugleich das in Pkt. 1.2 behandelte *Inkommensurabilitätsproblem* als Kernproblem. Wie dargelegt, handelt es sich nur auf den ersten Blick um ein semantisches Problem; in Wahrheit ist es ein metaphysisches Problem, indem es sich gar nicht auf der semantischen Ebene, sondern allein auf der metaphysischen lösen lässt. Die Semantik findet sich natürlich nicht unmittelbar in der Realität, sondern sie bezieht sich fundamental auf das jeweilige Metaphysiksystem. Das Postulat einer transdisziplinären AI-Kernsemantik weist gerade keinen unmittelbaren Realitätsbezug auf; vielmehr unterstreicht es primär das Erfordernis einer ratio-empirischen Metaphysik. Denn diese besitzt gerade die Funktion, dass sie die universalen semantischen Kategorien sowie die damit zusammenhängenden meta-ontologischen Dispositionen bereitstellt. Erst von dieser Ebene ausgehend lässt sich die transdisziplinäre AI-Kernsemantik im Rekurs auf das jeweilige Metaphysiksystem entwickeln. So gesehen verlagert sich die Interpretationsfrage auf die metaphysische Ebene. Für die Realität ist keine Semantik kennzeichnend, sondern allein der Umstand, dass es im Kantischen (1800) Sinne bestimmte Regeln gibt, wie sich die Prozesse vollziehen und wie sich ihre Elemente verhalten. Der externe Realismus besagt also, dass dies vom menschlichen Erkennen unabhängig ist; und die beste Bestätigung für diese These besteht in der Technologie, die es ermöglicht, Artefakte als synthetische Realität einzufügen, die kausal mit der physischen Realität korrespondieren. Mit cyber-physischen Technologien ist jeder Antirealismus Geschichte, was mit dem Fallibilismus ohnehin gilt.

Wir teilen dabei weitgehend die Auffassungen Searles, die dieser mit seinem *externen Realismus* dem internen Realismus Putnams entgegenstellt.¹²⁹² Demgegenüber teilen wir Searles Einschränkung des externen Realismus auf die physische Sphäre nur bedingt; das gilt in Bezug auf Artefakte der sozialen Sphäre, die an sich konstruktivistischen Momenten unterliegen. Diese sind dann für unbeteiligte Dritte nicht ohne weiteres erschließbar. Andererseits, und insofern sind wir eher bei Whitehead und Popper als bei Searle, ist zu sehen, dass auch für die soziale Realität die cyber-physische Basis der Metaphysik gilt. Prozesse, Ereignisse, Situationen und Kontexte gibt es in der sozialen Sphäre genauso wie in der natürlichen, der subjektivistischen oder der artifiziellen. Insofern gilt gerade das Transdisziplinaritätsmoment für den CPST-Hyperspace. Jedes soziale Ereignis, jeder Denkakt ist also prinzipiell genauso faktisch. Prinzipiell gesehen sind Ereignisse im gesamten CPST-Hyperspace in gleicher Weise sensorisch exakt messbar. Auch lässt sich in der sozialen

¹²⁹² Vgl. Searle (1995: 164).

Sphäre regelbasiertes Verhalten konstatieren; dennoch besitzen soziale Gesetzmäßigkeiten aufgrund der Adaptionen- bzw. Entscheidungsspielräume der Agenten einen anderen Status als physikalische Gesetze. Die Gültigkeit wissenschaftlicher Gesetze ist also mit der jeweiligen Automatenklasse korreliert. Bei Automaten ohne jeden Adaptionen- bzw. Entscheidungsspielraum besitzen sie universale Gültigkeit; bei perzeptiver Intelligenz biologischer Automatenklassen ist das schon anders; sie relativiert sich zunehmend, während kognitive Agenten den größten Spielraum besitzen, sich so oder anders zu verhalten. Die mathematische Voraussagekraft von Gesetzmäßigkeiten weicht zusehends einer statistischen.

Dass kein semantischer Realismus gelten kann, den Searle entgegen der Auslegung Y. Maruyamas (2016) für seinen externen Realismus gerade explizit ablehnt,¹²⁹³ zeigen am besten die beiden wissenschaftlichen Metaphysiken von Bunge und Whitehead. Ihre Richtigkeit lässt sich jeweils an spezifischen empirischen Gesichtspunkten darlegen; dennoch ist die Bungesche auf Materie, die Whiteheadsche auf Information bezogen. Sie setzen auf jeweils unterschiedliche Momente der Erfahrung, und dabei ist die Semantik eine völlig andere. Beispielsweise ist der Bedeutungsgehalt von "Prozess" bei Bunge nicht mit jenem bei Whitehead identisch, weil Bunges Prozesse in letzter Konsequenz immer an Materie gebunden sind; Whiteheads Prozesse jedoch an das informatorische Prinzip kausaler Wirkbarkeit. Deshalb sind die Bungeschen Prozesse jedoch nicht falsch. Sie sind nur nicht universal, womit sie für die Metaphysik als universales Unterfangen inferior sind. Im Kontext der wissenschaftlichen Metaphysiken von Bunge und Whitehead, für die beide der metaphysische und epistemologische Realismus gilt, wird klar: es gibt gerade keine *eindeutige Interpretation*, womit auch der semantische Realismus abzulehnen ist. Demgegenüber ist jedoch etwas anderes möglich, nämlich eine im Allgemeinen eindeutige Bestimmbarkeit jener Metaphysik, die dem Stand des objektiven Wissens am umfassendsten entspricht. Die also tatsächlich universale Geltung für den gegenwärtigen Stand des objektiven Wissens quer durch alle Disziplinen beanspruchen kann. Und die zudem auch den allgemeinen techno-wissenschaftlichen Anforderungen der *Meta-Metaphysik* am besten gerecht wird.

In jedem Fall sind somit die elementaren *Scientific Ontologies* auf allen Schichten von Hartmanns (1940) Schichtengedanken bei der Bestimmung der transdisziplinären AI-Kernsemantik im Spiel. Sie wird auf Basis der empiristischen Universalsynthese der Erfahrungswissenschaften, flankiert von den Strukturwissenschaften und Technologien im Whitehead-Popperschen ratio-empirischen Wechselspiel auf Basis objektiven Wissens bestimmt. Die Voraussetzung der AI-Kernsemantik ist in ihrer spezifischen Bezogenheit auf eine bestimmte Metaphysikklasse bzw. ein Metaphysiksystem insofern legitim, als dargelegt ist, dass die Whiteheadsche Digitalmetaphysik die für die Informatik adäquate

¹²⁹³ Vgl. Searle (1995: 154): »[Realism] is not a semantic theory at all«; analog konstatiert Devitt (1991a: 50): »Not only are semantic doctrines not constitutive of the metaphysical issue of realism, they are [...] almost entirely irrelevant to the assessment of realism«, sowie Devitt (1991b: 39): »Realism says nothing semantic at all beyond, in its use of 'objective', making the negative point that our semantic capacities do not constitute the world«, Hvh. des Orig. Genauso lehnt auch Quine den semantischen Realismus ab; demgegenüber findet sich bei A. Miller (2003) dazu eine Gegenposition.

ist. Denn sie erfasst die Realität in der für sie richtigen universalen Weise. Y. Maruyamas (2016) falsche These vom *External Semantic Realism* ist für die AI-Debatte jedoch in anderer Hinsicht aufschlussreich: wenn die Semantik nicht in der Realität liegt, ist sie für den einzelnen Agenten auch kaum erschließbar. Mit Geltung des epistemologischen Realismus kann der einzelne Agent die Realität jedoch erkennen. Er kann den erfassten realen Prozessen gewiss auch eine eigene Semantik im repetitiven Regelsinne bzw. typisierenden Sinne zuweisen. Eine solche Semantik steht jedoch auf einer induktiven wie subjektiven Basis und bildet somit die schlechteste aller möglichen Grundlagen für die sachgerechte Interpretation der Außenwelt. Denn eine deduktive Hypothesenbildung ist lokalen kognitiven Agenten zwar möglich, jedoch allein auf Basis ihrer beschränkten Wissensbasis. Induktion ist lokal; Deduktion und Falsifikationsprinzip im jeweilig definierten Weltganzen global. Solange die Semantik nicht auf intersubjektiven bzw. paradigmengreifenden Vereinbarungen basiert, gilt das Inkommensurabilitätsproblem. Bezieht sich das jeweilig definierte Weltganze auf eine einheitlich vorausgesetzte Metaphysik, ist das Inkommensurabilitätsproblem für dieses Weltganze gelöst. Beziehen sich alle Diskursuniversen der Informatik auf eine einheitlich vorausgesetzte Metaphysik, ist das Inkommensurabilitätsproblem für sie insgesamt gelöst. Auch insofern besitzt die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik für die Disziplin einen unschätzbaren Vorteil, der sich schließlich in eine ontologische Verpflichtung umkehren wird, je mehr der ASI-Status erreicht werden kann.

Echte Superintelligenz maschineller Agenten ohne die volle Berücksichtigung der techno-wissenschaftlichen Ebene menschlicher Agenten ist deshalb undenkbar, weil sich ohne diese Ebene auch keine wissenschaftlich bzw. technologisch veranlagten AI-Probleme lösen lassen. Somit lässt sich folgendes schlussfolgern: im Ganzen betrachtet kann es kein AI-Szenario ohne einen Agenten geben, weil es im Zeichen des elementaren *Frame Problem* wie in jenem von Haeckels *Sense-and-Respond Model* im *Autonomic Computing* von *cyber-physischen "Reality Machines"* immer um Adaption geht. Multisensorsysteme in Kombination mit dem RTE-Aspekt zeigen, dass auch AI-Szenarien denkbar sind, in denen es gar keine lokalen, sondern nur einen globalen Agenten gibt. Genauso gibt es im Ganzen betrachtet auch kein AI-Szenario ohne Semantik. Denn das AI-Verständnis bewegt sich bereits heute auf dem AGI-Niveau des *Common Sense*, der semantisch ist. Wenn sich Computer mit McCarthy (1963a: 66) so intelligent wie möglich verhalten, ist das eigentliche maschinelle AI-Verständnis jedoch die ASI-Intelligenz.¹²⁹⁴ Diese muss die techno-wissenschaftliche Problemlösung notwendig mit umfassen, d.h. sie muss in jedem AI-Szenario verfügbar sein: Eine automatisch ausgelöste Vollbremsung ist auf den ersten Blick ein einfacher AI-Vorgang auf Basis eines integrierten Sensors (Radar und Lidar) im *Adaptive Cruise Control* (ACC), der sich auf eine lokale, physische Situation bezieht. Tatsächlich aber ist das IoV-Szenario mit objektivem physikalischen Wissen regelrecht durchgesetzt.

¹²⁹⁴ Insofern gibt es durchaus neuronale Netze ohne Semantik auf der Stufe der ANI-Intelligenz, nicht jedoch auf der Stufe der ASI-Intelligenz, indem techno-wissenschaftliche Sachverhalte in AI-Systemen immer semantischer Kategorien bedürfen, die in ihrer Explikation eine globale Repräsentation implizieren.

Kein vollautonomes IoV-Fahrzeug (SAE Level 5) kann dieses Wissen in konstruktivistischer Form verkörpern; vielmehr ist ein gemeinsames Realitätsverständnis im Zeichen des metaphysischen Realismus wie objektives, unter dem methodologischen Falsifikationsprinzip stehendes Wissen unabdingbar. Damit ist es mit Petrie (2007) auch die Semantik, womit sich das Inkommensurabilitätsproblem in seiner ganzen Schärfe stellt. Insofern ist die Schlussfolgerung bei V.C. Müller (2007: 114) genauso falsch wie jene der ersten AI-Generation zu relativieren ist: »Traditional AI had assumed that if the paradigm of central representation processing is given up, then AI is doomed. It may just turn out that, if that paradigm is given up, AI will flourish!«.

Richtig ist vielmehr etwas anderes, nämlich zum ersten, dass der eigentliche Durchbruch der Superintelligenz direkt mit dem Falsifikationsprinzip Poppers zu tun hat, worauf auch D. Deutsch (2011: 9) abstellt: »fallibilism [...] is essential for the initiation of unlimited knowledge growth – the beginning of infinity«. Allerdings ist es gewiss nicht dieses Prinzip allein, was in AI-Verbindung im Sinne beständiger automatisierter Falsifikationsversuche den Durchbruch bringen wird; auch nicht das damit verbundene objektive Wissen. Vielmehr ist es die integrative Ontologiearchitektur mit ihrem transdisziplinären System von Ontologien, ihrer in der Whiteheadschen *Klasse-4-Metaphysik* eingefasste TLO-Referenz als "*ontological backbone*", der hybride Agentengedanke, die Multiagentensysteme (MAS/CAS) mitsamt ihrem Wechselspiel von Induktion und Deduktion, wie jenem von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz. Es ist also die dritte AI-Generation, die auf Basis von CYPO/IMKO zu entwickeln ist. Denn die Falsifikation wird erst dann richtig interessant, wenn all dies, was bei D. Deutsch (2011) fehlt, eröffnet wird. Mit der *Einheit der Erkenntnis* auf Basis einer *Einheit des Wissens* ist es gerade das Transdisziplinaritätsmoment mitsamt der einheitlichen TLO-Referenz, was gänzlich neue Möglichkeiten für das Falsifikationsprinzip begründet. Natürlich kann erst eine solche *Ontology for Everything*, die zugleich *Ontology of Everything* ist, Davenports (2016) AI-Gedanken des *Explaining Everything* gewährleisten. Insofern irrt V.C. Müller (2007: 114); denn fallibles objektives Wissen verlangt eine zentralisierte Repräsentation in Referenzontologien. Was somit heute fehlt, ist die richtige Perspektive auf die Artifizielle Intelligenz (AI) überhaupt.

Mit dem IMKO *OCF* ist es vor allem die Digitalmetaphysik, die als das einigende Fundament die Informatik erst auf jene Basis stellen kann, die im Ganzen das Moment der Superintelligenz der dritten AI-Generation eröffnet. Im Zeichen der Verbindung zwischen Digitalmetaphysik und AI-Kernsemantik wird deutlich, dass die bisher nicht vorhandene Konvergenz der Ontologien unmittelbar etwas mit der Funktion der *Top-level Ontologie* zu tun hat. Denn die Probleme resultieren zuvorderst daraus, dass die disparaten ontologischen Einsatzbereiche nicht auf eine geteilte oberste Ontologieebene referenzieren. Aus diesem Grunde ist die gesamte Debatte letztlich auch nicht anders zu führen als sie hier mit diesem dritten Teil sowie darauf aufbauend mit dem vierten, fünften und sechsten Teil geführt wird. Erst darauf aufbauend kann mit dem siebten Teil ein für die allgemeinen

Ontologiezwecke der Informatik systematisches wie universales *Requirements Engineering* unternommen werden. In der Tat ist, wie im siebten und abschließenden achten Teil festzustellen sein wird, das für die Informatik elementare Ontologieproblem, das sich fünfzig Jahre nach Mealy (1967) im cyber-physischen Zusammenhang vertrackter denn je zeigt, anders nicht zu lösen. Denn es ist nicht nur mit Castel (2002: 29) zu fragen, "*what computing is*", oder mit Kauffman (2008: 193) "*what information is*". Indem im Sinne von Pisanelli et al. (2002) alles *Computing* ein *Ontological Computing* darstellt, ist vielmehr konsequenterweise genauso grundlegend zu fragen, "*what ontology is*". Zweifelsohne hat die Antwort darauf mit Weltmodellen zu tun, allerdings liegt sie insofern ungleich schwieriger, als sie tatsächlich von allgemeiner Natur zu sein hat, universal anwendbar sein soll, und letztlich zwingend eine integrierende Funktion besitzen muss. Castel (2002: 30) ist zuzustimmen, wenn er feststellt: »Ontology is the key [...], but it needs to reach deep into philosophy«. Allerdings lassen sich die oben gestellten Fragen bzgl. des Computing, des Informationsmoments sowie der Ontologie, genauso wie zur Perzeption, Kognition, Intelligenz usf. nur dann sachgerecht klären, wenn zuvor die für die Informatik adäquate Metaphysik identifiziert ist. Die Klärung all dieser Fragen ist entsprechend in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik und nirgend anders zu suchen. Denn all diese Fragen sind in einem in sich konsistenten Ganzen zu beantworten, indem sich nur auf diese Weise die in der Informatik vergegenwärtigte diesbezügliche große Konfusion ausschalten lässt.

Indessen würde eine philosophische Diskussion anwendungsbezogener Ontologieprobleme sich schwierig bis unmöglich gestalten ohne einen fortwährend möglichen Bezug auf ein aussagekräftiges wie allgemein gültiges Referenzszenario. Das gilt umso mehr, als für die meisten Informatiker die metaphysischen Grundlagen der Ontologie heute vollkommen nebensächlich erscheinen und auch die elementare Referenzfunktion der *Top-level Ontologie* eher der Einsicht von Ontologieexperten vorbehalten ist. Wäre dem nicht so, könnten sich naive Ontologiepositionen wie die Grubersche in der Informatik erst gar nicht etabliert haben. Zumindest müsste dann der fundamentale Unterschied, den solche *semantische Netze* gegenüber echten *Ontologien* besitzen, allgemein bekannt sein. Aber das ist genauso wenig der Fall wie auch die Grenzen, die der Alltagssprache wie dem *Common Sense* für CPSS-adäquate AI-Systeme gesetzt sind, nicht klar zu sein scheinen. Dass *U-PLM-Systeme* in ihrer Eigenschaft als cyber-physische Prozesssysteme einerseits und als AI-basierte Wissenssysteme andererseits nicht nur jeweils in grundlegender wie prozedural verschiedener Weise der Voraussetzung einer *Top-level Ontologie* bedürfen, wird dabei nicht zuletzt im Kontext des in Pkt. 2.5 behandelten PPR-Frameworks deutlich.

Insbesondere mit Blick auf die beiden Ontologieverständnisse, die mit der CM- bzw. AI-Sphäre gegeben sind, wird gerade anhand des PPR-Frameworks ersichtlich, dass sich semantisch interoperable PLM-Systeme als integrierte Prozess- und Wissenssysteme selbstredend auch nur auf *eine* einheitlich vorausgesetzte *Top-level Ontologie* beziehen können. Dieser Umstand ist deshalb bemerkenswert, weil die Bedeutung von Top-level

Ontologien in der Informatik bisher kaum in integrierter Weise reflektiert wird. Vielmehr wird die Ontologiediskussion entweder im insbesondere für Prozesssysteme relevanten Zusammenhang der konzeptuellen Modellierung, oder aber im für Wissenssysteme relevanten Zusammenhang der Semantik, also der Wissensrepräsentation und ihrer AI- resp. ODIS-Anwendung geführt. Bei PPR-integrierten semantisch interoperablen *Closed-loop U-PLM-Systemen* kommt man jedoch nicht um eine integrierte Betrachtung von Ontologien umhin, und nicht zuletzt aus diesem Grunde können sie für die Ontologiediskussion der Informatik insgesamt von besonderem Aufschluss sein. Das Problem konzeptueller Heterogenität mitsamt dem damit verbundenen Problem semantischer Heterogenität stellen somit nicht zwei separierbare Probleme dar, sondern verkörpern vielmehr ein und dasselbe Ausgangsproblem. Denn das Ontologieproblem der Informatik ist mit B.C. Smith (1996: 14) genauso von ontologischer wie von semantischer Natur. Dabei liegt sein ursprünglicher und entscheidender Kern auf der Ebene der *Top-level Ontologie*, die sich wiederum maßgeblich durch die philosophische Ontologie bestimmt zeigt. Damit lässt sich dieses Ontologieproblem entsprechend auch nur auf dieser obersten Ebene lösen. Seine Auflösung verlangt, dass das eigentliche hinter ihm liegende Kernproblem überwunden wird, das mit Pkt. 1.2 in der *Inkommensurabilität der Top-level Ontologien* besteht.

Mit Blick auf das nunmehr notwendig werdende integrative Ontologiekonzept, das konzeptuelle und semantische Modelle nicht länger fälschlicherweise separiert, wird es unverzichtbar, die tradierten Ontologiebegriffe und –konzepte der Informatik in Pkt. 3.3 einer Revision zu unterziehen. Dies ist vor allem deshalb unerlässlich, weil heute in der Informatik weder ein einheitlicher Ontologiebegriff noch ein einheitliches Ontologiekonzept existiert, es also ein halbes Jahrhundert nach der Einführung des Ontologiebegriffs in die Disziplin immer noch kein einheitlich akzeptiertes Ontologieverständnis gibt. Diese Misere ist wiederum im direkten Zusammenhang mit der Inkommensurabilität der Top-level Ontologien als oberster Ontologieebene der Informatik zu sehen, da diese nicht zuletzt in ihrer philosophischen Fundierung für alle wesentlichen ontologischen Fragen bestimmend sind. Insbesondere ist die in dieser Sache heute durchaus als verfahren zu erachtende Situation der Disziplin durch den tiefen Widerstreit zwischen linguistischen und realistischen Ontologien geprägt, was in Pkt. 3.3.2 Erörterung findet. Hinter diesem Widerstreit steht unter anderem die kontroverse Diskussion um den weiter unten erörterten Modellbegriff, Strawsons (1959) in Pkt. 6.2.2 erörterte Differenzierung von *deskriptiver und revisionärer Metaphysik*, wie schließlich damit verbunden auch vollkommen disparate Wahrheitskonzepte, die mit der *Konsens-, Kohärenz-* sowie der *Korrespondenztheorie der Wahrheit* in Pkt. 6.2.8 diskutiert werden.

Bereits anhand dieser Gesichtspunkte ist ersichtlich, dass es hier wie bei den verschiedenen damit zusammenhängenden Aspekten um ontologische, epistemologische und wissenschaftstheoretische Grundsatzfragen geht, zu denen in der gesamten Disziplin grundsätzliche Uneinigkeit, teilweise aber auch offensichtliche Unkenntnis besteht. Mit Verweis

auf den enormen Stellenwert, den Ontologien heute für die Informatik besitzen, ist ein solcher Zustand von im Kern widerstreitenden Ontologiekonzepten genauso wie die Inkommensurabilität faktisch genutzter *Top-level Ontologien* insgesamt zweifellos unhaltbar. Das gilt, zumal dieser oftmals – wie es der U-PLM-Referenzkontext illustriert – von direkter praktischer Relevanz ist: Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist in ihren Grundfragen nicht zu entwickeln, ohne zuvor diese Grundproblematik der Informatik aufgelöst zu haben. Denn für die Bestimmung eines IoX-adäquaten TLO-Theorieanwärters ist zunächst einmal die Klärung eines IoX-adäquaten Ontologiebegriffs wie eines entsprechenden Ontologiekonzepts erforderlich. Letztlich ist beides für die Informatik insgesamt zu vollziehen, indem in einem einzigen ontologischen Integrations- bzw. Anwendungsszenario Ontologien aus den unterschiedlichsten Teilbereichen der Informatik zum Einsatz kommen. Wie unklar bis umstritten die ontologischen Fragen sind, zeigt das *Ontology Engineering* (OE) als solches, indem es mit linguistischen und realistischen Ontologien zwei völlig konträre OE-Ansatzpunkte besitzt.

Insofern bedarf es auch eines komplexen Referenzszenarios, das beide dieser konträren OE-Ansatzpunkte tatsächlich berührt. Mit *Closed-loop U-PLM-Systemen*, die die PPS- bzw. PPR-zentrische Integrationsplattform des *Smart Enterprise* resp. der *Smart Factory* darstellen, und dabei auch Zulieferer und Kunden mit einbeziehen, ist dies erfüllt: Im gesamten PLC mit seinen integrativ zu handhabenden BOL-, MOL- und EOL-Phasen sind nebst indirekten Prozessen wie dem Billing alle wesentlichen Prozesse gegeben. Vor allem aber geht es bei U-PLM-Systemen nicht allein um Daten und Informationen und damit um Informationssysteme, sondern insbesondere auch um das Wissen und entsprechend um Wissenssysteme, was letztlich auf eine *IS/KS-Kombination* hinausläuft. Diese Relevanz ist nicht zuletzt bezüglich des zentralen Objekts des PLC selbst gegeben, da es bei U-PLM-Systemen, angefangen von ihrem Einsatz in Industrien der Luft- und Raumfahrt über die Pharmaindustrie oder Medizintechnik über nahezu alle Einsatzgebiete hinweg um das Engineering überaus *komplexer Produkte* geht, die in fundamentaler Weise auf *naturwissenschaftlicher Erkenntnis* basieren. Dabei wird es nicht nur in Bezug auf die *IS/KS-Kombination*, sondern auch mit Verweis auf die richtige Entfaltung von PLM-Techniken wie dem *Digital Mockup* (DMU) oder der *Repeatable Digital Validation* (RDV) erforderlich, das für die technologische Produktentwicklung relevante naturwissenschaftliche Wissen *de facto* in Form von *Scientific Ontologies* zu repräsentieren.¹²⁹⁵

Im Sinne des wissenschaftssystematischen Technologiebegriffs gilt es zu berücksichtigen, dass in Technologien regelmäßig gerade auch naturwissenschaftliche Erkenntnis einfließt, was für das sachgerechte Verständnis des *technologischen Ontologiebegriffs* der Informatik von entsprechend elementarer Konsequenz ist.¹²⁹⁶ Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* läuft zwangsläufig darauf hinaus, dass ihr Ontologiebegriff und –konzept

¹²⁹⁵ Vgl. zum erforderlichen Umgang mit solchen *wissenschaftlichen Ontologien* Smith/Ceusters (2010).

¹²⁹⁶ Vgl. Agassi (1966) sowie Bunge (1966b, 1985b, 2001c); im Kontext Whiteheads vgl. F. Ferré (2008).

nicht nur mit *technologischen Ontologien*, sondern gerade auch mit *wissenschaftlichen Ontologien* einschließlich entsprechender Wahrheitskonzepte korrespondieren muss.¹²⁹⁷ Komplexe U-PLM-Systeme offenbaren somit, dass der technologische Ontologiebegriff der Informatik sowohl technologische als auch wissenschaftliche Ontologien mitsamt ihrer differierenden Wahrheitskonzepte in integrativer Weise umschließen muss, weil kombinierte Informations- und Wissenssysteme prinzipiell gleichzeitig auf beiden Ontologiearten aufbauen. Gerade die Wissensrepräsentation muss dabei systematisch auf die Repräsentation wissenschaftlicher, insbesondere auch naturwissenschaftlicher Erkenntnis abstellen. Diese entscheidende Voraussetzung ist bei linguistischen Ontologiekonzepten wie dem Gruberschen (1993, 1995), obschon es gerade einseitig an der Wissensrepräsentation orientiert ist,¹²⁹⁸ *de facto* nicht gegeben. Damit steht ihre Eignung für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wie für ein allgemeingültiges Ontologiekonzept der Informatik grundsätzlich in Frage. Analoges gilt hinsichtlich seiner Eignung für reale CPS-Kontexte, womit sich insgesamt die Grenzen linguistischer Ontologieverständnisse zeigen. Denn dieses allgemeine Ontologiekonzept muss gleichzeitig nicht nur dem Gedanken der *Lightweight-Ontologie*, sondern vor allem der eigentlichen explikativen Ontologie der Informatik, der *Heavyweight-Ontologie*, entsprechen. Diese impliziert – was bislang häufig übersehen wird – von vornherein eine völlig andere Stellung der *Top-level Ontologie* und damit ein ganz anderes Verhältnis zur philosophischen Ontologie, als es linguistische Ontologiekonzepte wie das in der Informatik breit akzeptierte Grubersche Konzept vermuten lassen. Aufbauend auf der Revision und Kritik der tradierten Ontologiebegriffe und -konzepte in Pkt. 3.3 gilt es somit in Pkt. 3.4 entsprechende Überlegungen zu der insgesamt wie auch speziell im U-PLM-Kontext unausweichlichen Neudefinition des Ontologieverständnisses der Informatik anzustellen. Diese mündet schließlich in Pkt. 3.5 mit *CYPO FOX* in einer *integrierten Ontologiekonzeption*, die für die unterschiedlichsten Einsatzzwecke der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* notwendig vorauszusetzen ist.

Komplexe Produktentwicklungs- und -realisationsprozesse legen in PLM-typischen Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik, Biotechnologie oder der chemischen Prozessindustrie den Einbezug von *Scientific Ontologies* nahe. Und wenn etwa in der Luft- und Raumfahrt auf physikalisches Wissen zurückgegriffen werden soll, dann muss es um den aktuellen Stand der Wissenschaften gehen. Umgekehrt muss die kategoriale AI-Ontologie in der Lage sein, die Erkenntnisse der aktuellen physikalischen For-

¹²⁹⁷ Die hier und im Folgenden vorgenommene Unterscheidung zwischen *technologischen* und *wissenschaftlichen Ontologien* ist anders akzentuiert als die gängige Differenzierung zwischen Aufgaben- und Domänenontologien oder Referenz- und Anwendungsontologien. Sie macht vielmehr an der Bungeschen Differenzierung von *reiner und angewandter Wissenschaft* sowie *Technologie* fest, vgl. hierzu Bunge (2001c). Für die Debatte um einen IoX-adäquaten Ontologiebegriff bzw. um ein IoX-adäquates Ontologiekonzept erscheint diese Differenzierung wegweisender, weil sie die konträren Standpunkte zwischen *realistischen Ontologien*, vgl. zu dieser Position etwa B. Smith (2003a, 2004), und *linguistischen Ontologien*, vgl. zu dieser Position etwa Gruber (1993, 1995) auf den Punkt bringt.

¹²⁹⁸ Inwieweit das Grubersche (1993, 1995) Ontologiekonzept auch für Zwecke der *konzeptuellen Modellierung* geeignet ist, bleibt im Folgenden ebenfalls zu untersuchen.

schung zu repräsentieren. Das allerdings ist allein dann möglich, wenn das Kategoriensystem auf ratio-empirischer Grundlage steht. Dabei gibt es zwischen praktischen, technologischen und wissenschaftlichen Ontologien eine klare Hierarchie, die sich im Kontext von Referenz- und Anwendungsontologien in der Ontologiearchitektur notwendig wiederfinden muss. Diese Hierarchie besteht also insofern, als *Scientific Ontologies* umgekehrt keine Rücksicht etwa auf praktische Ontologien nehmen können. Wenn in der Komplexitätsforschung, speziell in *Complex Adaptive Systems* (CAS), der ratio-empirische Mittler der techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* zu sehen ist, bleibt für jede einzelne Welt der in Pkt. 3.5 erörterten CYPO FOX eine solch kritische Prüfung durchzuführen. Das gilt insbesondere dann, wenn die CAS-Strukturen in der AI-Ontologie im Allgemeinen unmittelbar in MAS-Ansätzen münden (et v.v.).

3.1 Zum Interoperabilitätsproblem inkommensurabler Ontologieverständnisse

»[M]ost of AI chose not to consider the work of the much older overlapping field of philosophical ontology, preferring instead to use the term 'ontology' as an exotic name for what they'd been doing all along – knowledge engineering. This resulted in an unfortunate skewing of the meaning of the term as used in the AI and information systems fields, as work under the heading of 'ontology' was brought closer to logical theory, and especially to logical semantics, and it became correspondingly more remote from anything which might stand in a direct relation to existence or reality.«

— Barry Smith/Christopher Welty (2001: v)

Die Ontologie zielt seit Mealys (1967) Rekurs auf Quine (1948) in der Informatik – wie auch in der klassisch metaphysischen Ontologie primär auf die Frage, *was existiert*;¹²⁹⁹ »What exists? That is the fundamental question of ontology«, konstatiert G. Bergmann (1964: 8), und wenn es mit McCarthy (1980: 31) auch im AI-Kontext um *"the things that exist"* geht wird deutlich, dass diese AI-Existenzfrage in der Informatik mit Blick auf die Systemintegration eine strikte Korrespondenz zur CM-Existenzfrage aufweisen muss. Denn hier wird genauso festgestellt: »An ontology is a theory of what exists, i.e. the sorts of things there are and the rules that govern them.«.¹³⁰⁰ Indem Cyber-physische Systeme (CPS) sowohl den CM- als auch den AI-Aspekt inkorporieren, steht außer Zweifel, dass alle bisherigen Antworten auf die Frage, *was existiert?* genauso einer umfassenden Revision zu unterziehen sind wie der Existenzbegriff selbst. Das gilt umso mehr, als es mit Heidegger (1984) genau *diese* Frage ist, ohne deren Klärung im meta-ontologischen Sinne sich

¹²⁹⁹ Vgl. auch Van Inwagen/Zimmerman (1998: 7): »One very important part of metaphysics has to do with what there is, with what exists. This part of metaphysics is called ontology«. Wenn B. Smith/Mark (2003) meinen, IS-Ontologien würden nicht auf die *Existenzfrage* zielen, ist dies nicht richtig; vielmehr ist der richtige Zugang zu dieser Frage bei Carnap (1950) zu suchen, der im Hinblick auf die *interne und externe Metaphysik* zwischen *zwei Arten von Existenzfragen* unterscheidet. Wenn Jansen (2010: 259) meint: »existence is part and parcel of any entity whatsoever«, ist dies nicht nur unrichtig, sondern es greift auch zu kurz. Dass differenzierter an diese Sache heranzugehen ist wird dann deutlich, wenn Konzepte in Ontologien eine Rolle spielen, die etwa rein anwendungsspezifisch sind, also etwa betriebsinterne Entitäten betreffen. Vor allem hat die *Existenzfrage* immer mit der *Realitätsauffassung* zu tun; es besteht somit gewiss ein Unterschied zwischen einem *materiellen* und einem *kausalen* Existenzkriterium.

¹³⁰⁰ Vgl. M. West (2009: 230).

die große Konfusion, die in der Ontologiedebatte zu konstatieren ist, nicht aufheben lässt.¹³⁰¹ Wenn sie offensichtlich allein über eine *integrierte Ontologiekonzeption* überwunden werden kann, folgt daraus, dass eine solche Konzeption *verschiedene Existenzmodi* in Gestalt abgestufter, jedoch aufeinander bezogener realer Schichten zu berücksichtigen hat. Diese sind ontologisch im Sinne *generischer Welttypen* integrativ zu behandeln.

Wesentlich ist zu erkennen, dass diese Konfusion nicht nur in der Informatik, sondern auch in der Philosophie selbst besteht – und dass es sich dabei letztlich um die gleiche handelt. Denn der Widerstreit zwischen realistischen und linguistischen Ontologien besteht natürlich nicht nur in der Informatik, sondern er besteht genauso in der Philosophie, aus der Mealy (1967) den Ontologiebegriff gerade übernommen hat: dieser Widerstreit wurde also gewissermaßen mit übernommen, weil er sich selbstverständlich nicht vom Ontologiebegriff isolieren lässt. Vielmehr ist er nur insgesamt auflösbar, also nicht etwa für die Informatik allein. Entscheidend ist, dass nicht nur in den Grenzen der Informatik sieben verschiedene Ontologieverständnisse nebeneinander vertreten werden.¹³⁰² Auch in der Philosophie hat sich neben dem klassisch metaphysisch-realistischen Ontologiebegriff, für den Jacquette (2002) vier, Angeles (1981) fünf und Feibleman (1954a) bereits mehr als sechs Varianten differenziert, ein in Teilen antimetaphysischer *analytischer Ontologiebegriff* etabliert. Ursächlich geht diese Entwicklung auf das durch G. Bergmann (1964) in kritischer Intention als *linguistische Wende* (*linguistic turn*) bezeichnete breite Aufkommen der Sprachphilosophie zurück.¹³⁰³ Diese Wende hat über die genannten klassisch realistischen Varianten hinausgehend zu einer Koexistenz unzähliger linguistischer Ontologiebegriffe geführt. Bezüglich der Ontologiefrage besteht also insgesamt alles andere als Einigkeit, sowohl innerhalb als zwischen den Disziplinen.

Der heutige Widerstreit in der Ontologiediskussion, der auch in der Informatik zuvor durch die Differenzierung von linguistischen und realistischen Ontologien bedingt ist,¹³⁰⁴ geht auf diese einschneidende *linguistische Wende* in der Philosophie zurück. Der

¹³⁰¹ Vgl. Heidegger (1984: 151): »The ontological problem is not only not identical with the question about the ‘reality’ of the external world, but the latter question presupposes a genuine ontological problem. It presupposes the *clarification of the existence mode of things* and their regional constitution. Furthermore, the existence of the material things of nature is not the only existence; there are also history and art-works«, Hvh. des Verf.

¹³⁰² Vgl. Guarino/Giaretta (1995).

¹³⁰³ Vgl. G. Bergmann (1964: 177): »All linguistic philosophers talk about the world by means of talking about a suitable language. This is the linguistic turn, the fundamental gambit, as to method, on which ordinary and ideal language philosophers (OLP, ILP) agree. Equally fundamentally, they disagree on what is in this sense a ‘language’ and what makes it ‘suitable’«. Bergmanns Terminus wurde indessen erst durch Rortys (1967) Anthologie *The Linguistic Turn* prominent.

¹³⁰⁴ Vgl. Fettke/Loos (2003b: 156); hier wird exemplarisch deutlich, dass in Beiträgen zur Informatik zunächst jeweils zu klären ist, *welches* Ontologieverständnis konkret bemüht wird. Eine solch strikte Trennung *in sich isolierter Ontologieverständnisse* ist jedoch, wie im Folgenden dargelegt, unhaltbar. Während im Rahmen der konzeptuellen Modellierung (CM) in erster Linie ein realistisches Ontologieverständnis mit Bezug auf die aktuelle Welt bzw. Entitäten der Realität vorherrscht, werden in den auf der Wissensrepräsentation (KR) basierten Anwendungen Künstlicher Intelligenz (AI) primär linguistische Ontologien vertreten, die auf Basis von Konzepten bzw. Begriffen sowie möglichen Welten operieren und somit nicht zwingend die aktuelle Welt adressieren. Diese Konfusion wird dadurch komplettiert, dass

Widerstreit um konkurrierende Ontologiebegriffe und –konzepte in der Informatik spiegelt sich entsprechend im Widerstreit in der Philosophie. Er zeigt sich etwa anhand Strawsons (1959) Differenzierung von *descriptive vs. revisionary metaphysics*, die zuweilen als direkter Gegensatz zwischen *analytischer vs. spekulativer Metaphysik* interpretiert wird.¹³⁰⁵ Genauso wird er – etwas anders akzentuiert – anhand Van Inwagens (2001) Differenzierung von *A-ontology* und *B-ontology* sichtbar. Mit Van Inwagen schließt sich der Kreis insofern, als seine *B-ontology* explizit die ontologische Position Bergmanns verkörpert, die mit Van Inwagens eigener (*A-ontology*) kontrastiert.¹³⁰⁶ Der Unterschied zwischen beiden Varianten besteht auch hier vor allem in der Existenzfrage: realistische Ontologien (bzw. revisionäre Metaphysik, B-Ontologie) zielen darauf, was unabhängig von aller Sprache *ontisch in der Realität* existiert. Dazu im Gegensatz stehen die linguistischen Ontologien (bzw. deskriptive Metaphysik, A-Ontologie), die den Existenzbegriff in dem Sinne auslegen, dass er nur das, was *in einer bestimmten Sprache als existent* angenommen wird, subsumiert. Es handelt sich also um eine sprachlich-relative *Ontologie des Als-Ob*,¹³⁰⁷ die inhaltlich gesehen eine gewisse Verwandtschaft zu Vaihingers (1911) *Philosophie des Als Ob* aufweist,¹³⁰⁸ die den *Fiktionalismus* als Sonderform des idealistischen Positivismus begründen sollte.¹³⁰⁹

Es ist diese sprachlich-relative *Ontologie des Als-Ob*, die im Sinne der analytischen Modalontologie (modal ontology) erst die ontologische Analyse möglicher Welten eröffnet.¹³¹⁰ Eine solche sprachlich-relative Ontologie meint Quines (1968) *ontologische Relativität*, die mindestens auf die These hinausläuft, dass es von der jeweiligen Sprech- und Denkweise abhängt, was für Dinge man in der Welt ausmacht.¹³¹¹ Auch insofern ist Quine einer der zentralen Wegbereiter der analytischen Ontologie, nur sollte man Quine in seinem Naturalismus und Empirismus hier nicht missverstehen. Wesentlich ist nun die Feststellung, dass sich der Ontologiebegriff gerade auch in der Philosophie seit langem nicht allein auf die klassisch metaphysische Variante beschränkt, die gleichermaßen realistisch wie im Hinblick auf ihr Kategoriensystem oftmals spekulativ ist, und als solche als *metaphysische Ontologie* einzustufen ist. Auf diese klassisch metaphysische Ontologie wird in

in der CM-Sphäre teils auch linguistische, in der Sphäre der AI-Ontologie zuweilen auch realistische Ontologien bemüht werden. Dabei wiegt dieses Problem dadurch umso mehr, als nicht nur bei komplexen IoX-Systemen außer Frage steht, dass sich beide Sphären nicht trennen lassen sondern unmittelbar ineinandergreifen. Die dazu erforderliche vollumfängliche semantische Interoperabilität ist jedoch auf Basis vollkommen disparater Ontologiebegriffe resp. Ontologiekonzepte in keiner Weise zu realisieren.

¹³⁰⁵ Vgl. E.J. Lowe (2007: 76).

¹³⁰⁶ Eine solche Differenzierung zwischen *A-ontologies* und *B-ontologies* findet sich schon bei Bergmann (1964: 160 ff.), allerdings in anderer Hinsicht.

¹³⁰⁷ Vgl. Trapp (1976).

¹³⁰⁸ Vaihinger (1911: 787 f.) geht dabei so weit, dass er im Rekurs auf Nietzsches *umgedrehten Platonismus* den Gedanken einer *Metaphysik des Als-Ob* entwickelt.

¹³⁰⁹ Vgl. hierzu im Einzelnen Fine (1993).

¹³¹⁰ Vgl. hierzu etwa Van Inwagen (2001).

¹³¹¹ Auch bei Husserl (1939: 442; 2012a: 248) ist bereits explizit von einer solchen *ontologischen Relativität* die Rede; sie ist aber hier im *phänomenologisch-subjektivistischen* Sinne, nicht – wie später bei Quine (1968) – im linguistischen Sinne gemeint. Mit Chakravartty (2011) steht außer Zweifel, dass sich dieses Problem *prinzipiell* selbst im *Scientific Realism* stellt.

der Informatik samt Ontologiebegriff etwa im Zuge der BWW-TLO oder der Sowa-TLO rekurriert, und in einer mehr oder minder abgeschwächten Form umgesetzt.

Indessen fallen unter den Ontologiebegriff auch Varianten wie die *formale Ontologie* Husserls (1929), die im Zeichen der Phänomenologie steht, auf die wir in Pkt. 5.6 zurückkommen. Andere wie Heidegger (1927: 35) unterstützen diese Richtung, wenn sie die Ansicht vertreten, dass Ontologie *nur als Phänomenologie* möglich sei. Denn der phänomenologische Begriff von *Phänomen* meine als das "Sichzeigende" das "Sein des Seienden", seinen Sinn, seine Modifikationen sowie Derivate. Dabei sieht Heidegger die Fundamentalaufgabe der Ontologie gerade darin, den "Sinn von Sein" zu klären.¹³¹² Ausgehend von Husserl ist ebenso für Bergmann (1992: 317) die Methode der Ontologie *phänomenologisch*. Auch diese phänomenologische Ontologie besitzt als formale Ontologie in der Informatik ihren prominenten Fürsprecher, nämlich B. Smith, der nicht nur seit jeher in der phänomenologischen Tradition steht,¹³¹³ sondern den Ontologiebegriff als realistische formale Ontologie im Sinne strenger Wissenschaft noch strikter auslegt als Husserl selbst.¹³¹⁴

Damit nicht genug: Natürlich wird unter *Ontologie* heute auch die sprachphilosophisch geprägte analytische Ontologie und analytische Metaphysik mitsamt ihrer logizistischen Vorläufer gefasst. Diese fangen bei Freges *Ontologie der Gedanken* an,¹³¹⁵ reichen über die Ontologien des Logischen Atomismus mit der eng der Frege-Ontologie verwandten *Ontologie der Propositionen* Russells (1919a) einerseits, und der *Tatsachenontologie* des frühen Wittgensteins (1921) andererseits. Daneben ist hier insbesondere auch die *relativistische Ontologie* Quines (1968) zu nennen, die mit Quine (1948) auf gebundenen Variablen fußt, bis hin etwa zur *Frege-Church Ontologie* von Church (1951, 1958). Wenngleich Bergmann die *linguistische Wende* selbst aufs Schärfste ablehnt, käme heute kein seriöser Philosoph auf die Idee, die analytische Ontologie mitsamt ihrer logizistischen Vorläufer aus der Ontologiediskussion der Philosophie ausklammern zu wollen. Ganz im Gegenteil; denn die verschiedenen Spielarten formaler Ontologie werden nicht nur für die Informatik, sondern auch für die Philosophie zusehends wichtiger. Dabei sei bereits hier darauf verwiesen, dass die analytische Ontologie lediglich *eine* der Varianten formaler Ontologie ausmacht und mit den anderen in einigen relevanten Punkten durchaus im Konflikt steht.

Indessen ist zuzugestehen, dass die Ontologiediskussion durch den Einbezug der aus der *linguistischen Wende* hervorgegangenen Ontologien nicht einfacher wird. Dieser Einbezug ist deshalb nicht unproblematisch, als analytische Philosophen wie P.M.S. Hacker (2004a) den Ontologiebegriff bspw. auch im Sinne eines "*mental image*" bzw. einer "*imagist representation*" als *Ontology of Belief* verstehen, in der der ontologische Status von *Überzeu-*

¹³¹² Vgl. Heidegger (1927: 11).

¹³¹³ Vgl. bereits B. Smith (1976).

¹³¹⁴ Vgl. B. Smith (1978, 1981, 1982, 1989).

¹³¹⁵ Vgl. hierzu Wells (1951). Bei Freges Ontologie ist umstritten, ob es sich bei ihr um eine *nominalistische* Ontologie handelt, wie Bergmann (1958) im Sinne einer *Tendenz zum Nominalismus* behauptet, vgl. hierzu genauer Bergmann (1964: 124); vgl. auch die weitere Debatte bei Klemke (1959), H. Jackson (1960) und Grossmann (1961).

ungen untersucht wird. In der Philosophie haben solche ontologischen Auffassungen – insbesondere ausgehend von Frege – eine lange Tradition. So spricht etwa auch Henderson (1957/58) im Kontext *intensionaler Entitäten* von *Ontologie*, und stellt dabei in Anlehnung an Frege heraus, dass sich ihre Existenz nicht anhand empirischer Methoden nachweisen lässt.¹³¹⁶ Dabei sei bereits hier angemerkt, dass gut vierzig Jahre später mit Chandrasekaran et al. (1999) vollkommen analoge Sichtweisen im Bereich der AI-Ontologie der Informatik auftauchen. Dass entgegen der heute landläufigen Meinung keinerlei Grenze zwischen der Ontologie der Philosophie und jener der Informatik besteht, zeigt auch der Umstand, dass J. Kim et al. (2012: 3) in der Einführung ihrer anerkannten Metaphysik-Anthologie die Auffassung vertreten, dass selbst *fiktionale* Objekte wie "Pegasus" mit zur Ontologie gehören müssten, weil über sie etwas ausgesagt werden könne. Wenn Chisholm (1973a) und andere diese Position,¹³¹⁷ die auf Meinongs (1913) *Gegenstandstheorie* zurückgeht, in der analytischen Metaphysik auf breiter Basis vertreten, wird Meinongs (1913) Differenzierung von Gegenstandstheorie und Metaphysik hinfällig. In den Reihen der AI-Ontologie wird dies generell nicht anders gesehen, und vereinzelt gilt dies auch für CM-Ontologien mit dem Argument, dass sich konzeptuelle Modelle auch auf irrealen Welten beziehen können müssten.¹³¹⁸ Dabei ist Meinongs (1913) *Objekttheorie* insofern problematisch, als Objekte hier nicht physisch sind, sondern als Vorstellungen *psychisch*, was gewiss etwas völlig anderes ist. Dennoch verleitet das eine ganze Reihe von Ontologen dazu, dass sie *ontische* Kategorien durch *epistemische* ersetzen bzw. zweite mit ersten verwechseln. Wenn für Meinong gilt: »everything is an object«,¹³¹⁹ dann hat das natürlich nichts mit Physik zu tun, sondern mit der Tatsache, dass für ihn alles Denken im Sinne Wittgensteins sprachlich ist. Richtig ist sicherlich, dass die Art und Weise, wie Agenten denken, wesentlich von ihren nativen Sprachen abhängig ist. Ferner, dass gemäß der *Sapir-Whorf Hypothese* Überzeugungen in Form normalsprachlich gefasster Gedanken eines Agenten nicht unmittelbar durch andere Agenten verstanden werden können, die auf Basis einer anderen Alltagssprache denken bzw. operieren. Damit ist entsprechend das Inkommensurabilitätsproblem verbunden, das dann gegeben ist, wenn die fundamentalen Kategorien zwischen den verschiedenen Sprachen unübersetzbar sind. D. Davidson (1997) akzentuiert das Ganze stärker, indem er behauptet, dass menschliche Agenten die Welt nicht etwa *mithilfe*, sondern vielmehr *durch* die Alltagssprache sehen. Demgegenüber beziehen logico-mathematisch orientierte Forscher wie Hadamard oder Einstein eine andere Position, indem sie diese These insofern ablehnen, als sie behaupten, dass sie gar nicht auf Basis von Alltagssprache denken.¹³²⁰ Dabei ist gerade diese letzte These im Zuge des Erschließens der allge-

¹³¹⁶ Vgl. Henderson (1957/58: 270).

¹³¹⁷ Vgl. Chisholm (1973a: 246): »Everything, however, *is* an object, whether or not it exists or has any other kind of being, and indeed whether or not it is even thinkable«, Hvh. im Orig.

¹³¹⁸ Vgl. Wyssusek (2006b).

¹³¹⁹ Vgl. Van Inwagen (2003: 131, Fn. 1).

¹³²⁰ Dass alles Denken tatsächlich nicht im Sinne Wittgensteins natürlichsprachlich ist, zeigt bereits die Artifizielle Intelligenz. Indessen ist dies nicht nur für maschinelle Agenten anzuzweifeln, sondern auch für

meinen Sachverhalte für eine universale Agentenklasse wesentlich. Was hat es also mit der These auf sich, dass alles Denken sprachlich ist? Tatsächlich geht es dabei weniger um Begriffe als solche, auch wenn diese in quantitativer Hinsicht wie in Bezug auf ihre qualitative Ausdifferenzierung gewiss von Relevanz sind, wenn es gilt, Sachverhalte genau darzustellen. Entscheidend ist jedoch etwas anderes, und das bringt beide Positionen zusammen. Entscheidend ist nicht, dass menschliche Agenten sprachlich denken, sondern vielmehr, dass sie auf Basis bestimmter *Strukturen*, und damit auf Grundlage eines bestimmten *kategorialen Schemas* denken. Das ist das, was für jede Sprache, ob natürliche oder ideale Sprache, gilt. Bei D. Davidson (1997) wird dies auch eingeräumt:

»[T]his fact hardly supports the claim that language seriously distorts or shapes our understanding of the world; the influence, such as it is, goes the other way. The most we are entitled to say is that as individuals we inherit culturally evolved *categories* we personally did little to devise. In this case, language does not distort; rather, society gives us a leg up on coping with the environment it partly constitutes.«¹³²¹

Die Lösung dieser alten Streitfrage führt über Quine, wenn Quine (1960a) gerade in *Word and Object* feststellt, dass Ontologie auf *4D-Events* Whiteheadscher Provenienz hinauslaufen. Entscheidend ist zunächst die Differenzierung zwischen ontischen und epistemischen Kategorien, und zwar in dem Sinne, wie sie in der agentenbezogenen Metaphysik Kants oder später bei Whitehead erfolgt. Geht es um Agenten, dann sind also mit Rescher (2003a: 349) von vornherein immer mindestens zwei Welten zu differenzieren, nämlich die objektive vs. die subjektive Welt. Die Metaphysik fungiert dabei im Sinne einer kosmologischen Gesamtsicht bei Kant als Zensoramt; im Grunde ist das schon hier im Sinne einer *Belief Revision* gemeint, die bei kognitiv verzerrten Sichtweisen erforderlich wird. Geht man die Ontologiefrage – wie Quine – letztlich von den Naturwissenschaften bzw. der Physik her an, gelangt man vor diesem Hintergrund automatisch zur in Pkt. 4.4 geführten Debatte um die Verhältnisbestimmung von Ereignis und Objekt. Quines (1948) "*everything*" ist dabei *ereigniszentrisch*, d.h. "*everything*" ist bei Quine – im impliziten Gegensatz zu Meinong – ein "*event*". Ontologisch ist somit zu klären, ob es im *IoX-Hyperspace* mit Cisco (2011) um ein *Internet of Objects*, oder mit Van der Aalst (2014, 2016) um ein *Internet of Events* geht. Ist diese grundlegende Frage der primären Stellung von *Objekt vs. Ereignis* nicht geklärt, kann es kaum ein *Smart Web* geben. Denn sie ist für sämtliche AI-

menschliche Agenten, wenn es um logico-mathematische resp. strukturwissenschaftliche Sachverhalte geht. Hadamard (1945: 75) konstatiert in diesem Zusammenhang: »I insist that words are totally absent from my mind when I really think [...] even after reading or hearing a question, every word disappears at the very moment I am beginning to think it over«. A. Einstein stellt ähnlich fest: »The words or the language, as they are written or spoken, do not seem to play any role in my mechanism of thought. The psychical entities which seem to serve as elements in thought are certain signs and more or less clear images which can be "voluntarily" reproduced and combined«, vgl. A. Einstein in Hadamard (1945: 142). Tatsächlich sind auch in dieser Sache verschiedene Weltmodi zu differenzieren, indem alltägliches Denken in den grammatikalischen Kategorien des *Common Sense* gewiss auch jene der Alltagssprache implizieren, während Denken, das sich auf die oben genannten Sachverhalte erstreckt, ein strukturalistisches Denken erforderlich macht, das ein abstraktes logico-mathematisches Denken repräsentiert. In diesem Fall variieren die Denkmechanismen zwischen menschlichen und maschinellen Agenten nicht; indem *Scientific Ontologies* ontologisch primär sind, ist auch dieser ideale strukturalistische Modus primär.

¹³²¹ Vgl. D. Davidson (1997: 17), Hvh. des Verf.

Belange entscheidend, etwa für die Frage, inwiefern Objekte identisch sind oder wie sie sich im emergenten Wandel konkret ändern. Festzuhalten ist: Agenten denken in Strukturen, und bei diesen kann es sich um objekt- oder um ereigniszentrische Strukturen handeln. Verfechter der mathematischen Logik denken im Allgemeinen *ereigniszentrisch*, indem Ereignisse zu neuen Zuständen in vernetzten Strukturen führen.¹³²² Insofern ist auch das Denken an sich in neurologischer Hinsicht ebenso ereigniszentrisch. Damit stellt sich die Frage, ob gewöhnliche menschliche Agenten tatsächlich im Schema *Subjekt-Prädikat-Objekt* der normalsprachlichen Grammatik *denken*, oder ob nicht vielmehr eine Inkonsistenz besteht zur sprachlichen Repräsentation. Wenn bereits jeder Plan raumzeitlich bestimmt ist, spricht vieles dafür, diese Position im Sinne von D. Davidsons 4D-Ereignissemantik zu hinterfragen. Bei Davidson gibt es im impliziten Rekurs auf Whitehead ebenso *Objekte*, nur sind diese immer *ereigniszentrisch* situiert. Unabhängig davon indiziert bereits die Automatentheorie, dass maschinelle IoA-Agenten ontologisch kaum mit den IoP-Strukturen des objektzentrischen *Common Sense* konform gehen. Es stellt sich also die Frage, ob es wirklich sinnvoll ist, wie Hayes und andere dieses Schema menschlichen Alltagsverstands einfach auf maschinelle Agenten zu projizieren. Zwar lässt sich AGI-Intelligenz prinzipiell auf diesem Wege erreichen, und im Sinne etwa der Maschinenintelligenz als spezifische ANI-Intelligenz ist dieser Modus auch zur M2H-Interaktion abzudecken. Jedoch ist ASI-Intelligenz, also techno-wissenschaftliche Superintelligenz, auf diesem Wege schlichtweg unerreichbar.

Ähnliche Herausforderungen sind auch durch eng an der klassischen Metaphysik orientierte Philosophen wie Rescher (1979) zu meistern, der in seinem pragmatischen bzw. konzeptuellen Idealismus von einer *Ontology of the Possible* spricht und damit auf den ontologischen Status des Möglichen, speziell auf den ontologischen Status real nicht existenter – bzw. *hypothetischer* – Möglichkeiten zielt.¹³²³ Anders gewendet auf den ontologischen Status jener möglichen Welten, auf deren Basis linguistische Ontologien in der Informatik operieren.¹³²⁴ Ontologisch existieren (*noch*) *nicht realisierte Möglichkeiten* resp. *mögliche Welten* für Rescher *als solche* nicht.¹³²⁵ Sie sind ontisch nicht gegeben in dem Sinne, dass sie sich weder raumzeitlich identifizieren lassen noch nach Maßgabe des Individuationsprinzips entsprechend eine Identität besitzen.¹³²⁶ Damit sind sie auf der Ebene *individueller Objekte* ontologisch nicht behandelbar.¹³²⁷ Was also existiert, sind *durch Denkkakte* generierte unrealisierte Möglichkeiten als rein *geistige* Schöpfungen; so gesehen *existieren* sie lediglich in einem zweiten, abhängigen Sinne, als aktuale oder potentielle Denkkobjekte. Es sei hier mit Popper (1972a) ergänzt: sie *existieren* gewissermaßen in einer *Welt 2*, nicht

¹³²² Es geht also im Sinne der Automatentheorie um eine ereigniszentrische Struktur relationaler Elemente, deren Zustände wechseln.

¹³²³ Rescher (1973a: 27) spricht von *hypothetischen* Möglichkeiten.

¹³²⁴ Vgl. hierzu etwa Borgo/Masolo (2006).

¹³²⁵ Vgl. Rescher (1979: 179).

¹³²⁶ Vgl. Rescher (1999a: 419).

¹³²⁷ Ibid.

aber in einer *Welt 1*. Damit ist der *ontologische Status des Möglichen* für Rescher fundamental geistabhängig; die Domäne des Möglichen für ihn ein mentales Konstrukt.¹³²⁸ Dennoch darf nicht übersehen werden, dass der Ontologiebegriff im Zuge von Reschers pragmatischen bzw. konzeptuellen Idealismus sehr viel weiter ausgelegt wird als etwa in materialistischen Ontologien. Das wird nicht zuletzt dann offensichtlich, wenn berücksichtigt wird, dass Reschers (1973a: 1) Expansion des Ontologiebegriffs so weit geht, dass er gerade den extremen Idealismus G. Berkeleys (1710), der die Existenz von Materie vollständig verneint und das einzig Existente im Geistigen samt seiner Konzeptualisierungen ausmacht, gerade als *ontologischen* Idealismus bezeichnet.^{1329, 1330} Das ist für die Debatte um die AI-Ontologie keinesfalls irrelevant.

Falsch ist eine auf Berkeley (1710) und andere idealistische Positionen abstellende Rede von einer *idealistischen Ontologie (idealist ontology)* insofern nicht,¹³³¹ als der Idealismus zum einen in verschiedenen Schattierungen in den Naturwissenschaften vertreten wird. Dies gilt nicht nur für den *objektiven Idealismus*, wie ihn Wheeler (1988, 1990, 1994) im Kontext der Quantenphysik umreißt und ihn Rasmussen (1992) darauf aufbauend auch in der AI-Forschung vertritt, sondern auch für die subjektive Variante Berkeleys selbst: Positivisten wie der Physiker Mach (1918) räumen explizit ein, dass sie mit dem Standpunkt Berkeleys sympathisieren,¹³³² indem für sie die Unterscheidung zwischen Ich und Welt haltlos ist und nur die Mannigfaltigkeit von Sinneseindrücken gegeben sei. Zum anderen stellt der Idealismus unzweifelhaft selbst eine alternative metaphysische Position dar: Seit Wolffs (1740: 449) Dichotomie, die zwischen Materialisten und Idealisten polarisiert, markiert der Idealismus nicht weniger als das Veto gegen materialistische Konzeptionen zur Metaphysik bzw. Ontologie. Im Sinne eines solchen metaphysischen Vetos erscheint es plausibel, dass Ontologie nicht notwendig *materialistische* Ontologie ist.

Allerdings lässt sich genauso wenig aus einem solchen Veto schließen, dass Ontologie somit zwingend als *idealistische* Ontologie aufzufassen ist. Beide Polare führen für sich genommen kaum weiter, und die Wahrheit, nämlich das, was als wahre Sätze ontologisch aus einer Vielzahl divergenter Objekte gefolgert werden kann, liegt auch hier tatsächlich in der Mitte. Damit nicht genug: der Realismus selbst impliziert in der Philosophie natürlich

¹³²⁸ Vgl. Rescher (1979: 179).

¹³²⁹ Reschers (1973a) eigene Position weicht allerdings entscheidend davon ab. In Reschers (1973a) *konzeptuellen Idealismus* ist das Geistige weder ontologischer noch epistemologischer als vielmehr *konzeptueller* Natur, vgl. Rescher (1973a: 17). Damit besteht eine gewisse Verwandtschaft zu den Konzeptualisierungen in der AI-Ontologie; vgl. zum *Konzeptualisierungsprozess* Kangassalo (1999: 106 f.).

¹³³⁰ Berkeleys Idealismus wird nicht nur durch Rescher (1973a) als *ontologischer* Idealismus bezeichnet; dies geschieht häufiger, etwa bei Jaworski (2011). Treffender wäre er aber als *subjektiver Idealismus* deklariert. Denn Gegenstände existieren in diesem nur insofern, als sie wahrgenommen werden (*esse est percipi*); die Welt ist also nur ein subjektiver Bewusstseinsinhalt, oder anders ausgedrückt: *alles Seiende* ist ein Vorgestelltsein. Demgegenüber repräsentieren für Berkeley materielle Gegenstände nichts weiter als Komplexe von Ideen; damit negiert er die Existenz einer realen, d.h. bewusstseinsunabhängigen Außenwelt. Diese ist in der metaphysisch-realistischen Ontologieauffassung bekanntlich gerade für den Ontologiebegriff konstituierend.

¹³³¹ Vgl. etwa Brown (1988).

¹³³² Vgl. Mach (1918: 299).

nicht notwendig die verschiedenen Varianten des *metaphysischen Realismus* klassischer Prägung im Sinne des tradierten *ontologischen Realismus* aktueller Welten.¹³³³ Verwiesen sei nur auf den weiter unten näher erklärten *Modalen Realismus (modal realism)* von Lewis (1986b), der als Spielart des *ontologischen Realismus* aufzufassen ist, als auch auf die verschiedenen Facetten des *erkenntnistheoretischen Realismus*, unter den etwa der *interne Realismus (internal realism)* Putnams (1987, 1990) fällt.¹³³⁴ Dieser sollte mit Putnam (1987: 32) nicht einfach als *linguistischer Idealismus* abgetan werden. Dabei läuft die heutige AI-Ontologie mit Genesereth/Nilsson (1987), Gruber (1993, 1995) und Epigonen – je nach Betrachtungsweise – genau auf letzteren oder partiell auch auf ersten hinaus.

Es steht außer Frage, dass solche Begriffsexpansionen auf Basis der tradierten desintegrierten Ontologieverständnisse einen einheitlichen Ontologiebegriff bisher ausschließen. Nicht umsonst werden diese Expansionen von einer Reihe maßgeblicher Ontologen sowohl in der Philosophie als auch in der Informatik strikt abgelehnt;¹³³⁵ sie beharren vielmehr apodiktisch auf einer *realistischen* Auslegung des Ontologiebegriffs. Genauso wenig versöhnlich zeigt sich der Gegenpol der linguistischen Ontologieauffassung, die eine einseitige realistische Auffassung ablehnt, weil diese die möglichen Diskurswelten zu sehr einengen würde. Mit Blick auf das in Pkt. 1.5 erörterte Referenzszenario geben Ontologien, die im Engineering PLM-basierter Prozess- resp. Produktinnovationen zum Einsatz kommen, *beiden* Auffassungen recht: erstens, weil hierbei gleichzeitig wissenschaftliche Fakten der aktuellen Welt wie kreativer Spielraum im Sinne möglicher Welten erforderlich sind; zweitens, weil es sowohl um wissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten als konstatierte Restriktionen wie um technologisch neu gestaltbare Objekte bzw. Artefakte geht; drittens, weil mit Blick auf das Integrationserfordernis in der *Smart Enterprise Integration* CM-Ontologien aufs engste mit AI-Ontologien zu verzahnen sind.

Mit der in Pkt. 3.5 näher behandelten Differenz der Existenzkriterien von *Welt 1* vs. *Welt 2* wird deutlich, dass sich der Ontologiebegriff mit einer grundsätzlichen Diskrepanz der Objekttypen auf grundverschiedene Kategorietyperen bezieht. Nämlich einmal – im realistischen Ontologieverständnis – auf Seins-Kategorien, und einmal – im linguistischen

¹³³³ Ein gemeinhin bekanntes Beispiel für diese Position besteht in W. Sellars (1968) *wissenschaftlichen Realismus (scientific realism)*, mit dem Ziel »to formulate a scientifically oriented, naturalistic realism which would 'save the appearances'«, vgl. W. Sellars (1975: 289). Wenn es um die Beschreibung und Erklärung der Welt geht, ist für W. Sellars (1963: 173) die *Wissenschaft* das Maß aller Dinge: »in the dimension of describing and explaining the world, science is the measure of all things, of what is that it is, and of what is not that it is not« – womit diese Position auch bei Sellars geradewegs im *Naturalismus* mündet, vgl. hierzu W. Sellars (1979). Eine insgesamt ähnliche Position vertritt bspw. Bunge (1996).

¹³³⁴ Der *interne Realismus* vertritt die Ansicht, dass die Welt zwar kausal unabhängig vom menschlichen Geist zu sein scheint. Dennoch ist die Struktur der Welt in Bezug auf ihre Einteilung in Arten, Individuen, Kategorien usw. eine Funktion des menschlichen Geistes, womit die Welt *nicht* ontologisch unabhängig ist: »how many objects there are in the world [...] is relative to the choice of a conceptual scheme«, vgl. Putnam (1987: 32). Diese Sichtweise ist in fundamentaler Hinsicht Kants (1781) Idee der Abhängigkeit unserer Erkenntnis der Welt von den Kategorien des Denkens geschuldet; zum anderen aber auch Quines (1968) *ontologischer Relativität*, auf die sich Putnam ebenfalls bezieht. Vor diesem Hintergrund insistiert der *interne Realismus* darauf, dass der Realismus *nicht* inkompatibel sei mit konzeptueller Relativität, vgl. Putnam (1987: 17).

¹³³⁵ Allen voran etwa durch Bunge (1977a) in der Philosophie oder durch B. Smith (2004) in der Informatik.

Ontologieverständnis – auf Denk-Kategorien. Gut deutlich wird dies, wenn etwa Greenberg (1999) in expliziter Anlehnung an Quine bei Kants (1781) Erkenntnistheorie von *Ontologie* spricht; er weist explizit darauf hin, dass es um Objekte geht, die Bestandteile einer »ontology of a theory of *knowledge*, and thus not an ontology *tout court*« sind. Diese Expansion der Ontologie auf Denkobjekte vollzieht sich dabei wohlgerne in der Philosophie; in der AI-Ontologie ist sie wie festgestellt üblich. Im Zuge der BORO-TLO, die ihren primären Fokus auf den CM-Aspekten hat, wird hingegen mit M. West (2009) zu Recht auf die ursprüngliche strikte Trennung von Ontologie und Epistemologie insistiert:

»Essentially, one can distinguish an ontological representation (a model of ‘what is’, in essence a view from nowhere) from epistemological representation (a model of ‘what is known’ about the domain by some agent, and how it may be represented in a system).«¹³³⁶

Diese Position ist in CPS-Hinsicht nicht nur wegweisend, sondern entspricht jener, die Rescher (2003a) im Zuge seiner prozessmetaphysischen Epistemologie vertritt. Insofern ist offensichtlich Ordnung in die Debatte zu bringen, indem offensichtlich gerade bei CPS-Agenten strikt zwischen *ontischen* und *epistemischen* Kategorien zu differenzieren ist.¹³³⁷ Beide *Kategorientypen* können Weltmodelle begründen, wobei dann allerdings nicht nur zwischen Kategorientypen, sondern mit Pkt. 3.5 konsequenterweise auch zwischen *Welttypen* zu differenzieren ist. Allein schon die Differenz der Existenzkriterien steht in Abhängigkeit divergenter Welttypen; und wenn die jeweils spezifische Existenzbedingung im Grunde für jedes Ontologieverständnis konstituierend ist, dann muss es die Abgrenzung divergenter Welttypen auch sein. In diesem Sinne kann dann auch in beiden Fällen von "*Ontologie*" gesprochen werden, jedoch allein unter der Voraussetzung, dass diese Kohärenz fortbesteht, indem genauso strikt mit Pkt. 3.5 zwischen disparaten *Ontologietypen* innerhalb einer integrierten Ontologiekonzeption zu differenzieren ist. E.J. Lowe (2001: 1) hat zwar im Kern recht, wenn er als Verfechter des klassischen Ontologiebegriffs in expliziter Kritik des AI-Ontologieverständnisses feststellt: »Ontological categories are categories of being, not categories of thought. Ontology is the science of being, not the science of our thought about being«,¹³³⁸ doch übersieht er dabei die normative Kraft des Faktischen.

Im Zuge der exponentiellen Ausbreitung der Ontologieforschung in der Informatik gibt es inzwischen weit mehr Forschungsbeiträge zu dem, was teils auch explizit als *Knowledge Ontology* bezeichnet wird, als zu dem, was die *Metaphysical Ontology* ausmacht. Damit verbunden steht einem kleinen Kreis von Metaphysikern bzw. philosophischen Ontologen mittlerweile ein überaus großer Kreis praktischer "Ontologen" gegenüber. Bei ihnen geht es primär bis ausschließlich um die *Knowledge Ontology*, unabhängig davon, ob es sich dabei um Domänenwissen oder bei technologischen Anwendungen etwa um *Functional- oder Task Ontologies* und dergleichen mehr handelt. Zählt man neben den Informatikern bzw. Informationswissenschaftlern noch die Praktiker oder schließlich die *Semantic Web*

¹³³⁶ M. West (2009: 257).

¹³³⁷ Damit werden strikt *epistemologische* Positionen wie jene von Boella/Lesmo/Damiano (2004) hinfällig.

¹³³⁸ Vgl. ähnlich E.J. Lowe (2003: 6).

Nutzer hinzu, steht außer Zweifel, dass die Expansion der Ontologie in das Gefilde epistemischer Kategorien in keiner Weise revidierbar ist: Nunmehr bilden die Ontologen der Informatik bzw. verwandter Disziplinen einschließlich ihrer Nutzer, und nicht mehr der seit jeher vergleichsweise exklusive Kreis von Metaphysikern bzw. philosophischen Ontologen die Mehrheit. Die Wissenschaftspraxis ist im ewigen Wandel und die Begrifflichkeiten sind es auch. Insofern erscheint die Position E.J. Lowes (2001) in dieser Sache nicht mehr als ein verzweifelter Rückzugsgefecht eines Philosophen, der die Ontologie weiterhin ausschließlich als *metaphysica generalis* reklamieren will. Faktisch handelt es sich insofern um einen wissenschaftlichen Streit um die Auslegung wie disziplinäre Zuordenbarkeit des Ontologiebegriffs, indem Guarino (1998) den Ontologiebegriff genau umgekehrt in diesem *epistemischen* Sinne nunmehr allein für die Informatik beansprucht. Seiner Ansicht nach solle die Philosophie, aus der Mealy (1967) den Ontologiedanken übernommen hatte, diesen aufgeben bzw. das damit bezeichnete Unterfangen umbenennen. Indem die DOLCE-TLO von Guarino et al. zu den verbreitetsten Ontologieansätzen in der Informatik gehört, handelt es sich dabei nicht um gänzlich irrelevante Position. Vielmehr zeigt sie erneut, wie wesentlich die Ontologie für die Disziplin ist.

Die Kontroverse um die Positionen bei E.J. Lowe bzw. Guarino lässt sich objektiv ganz genau beurteilen, indem diese direkt auf ihre disparaten Metaphysiken zurückgeht. Untersucht man diese, wird deutlich, dass beide Positionen unhaltbar sind, indem jeweils von einer falschen Metaphysikbasis argumentiert wird. Bei Guarino ist es explizit die deskriptive Metaphysik; bei E.J. Lowe eine neo-aristotelische Metaphysikvariante, die als solche in Richtung revisionärer Metaphysik tendiert, diese jedoch weder prozedural umgesetzt noch im Ganzen auch nur annähernd erreicht. Damit relativiert sich auch dieser Streit sofort, wenn die richtige Metaphysik, die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik bemüht wird. Denn mit dem in Pkt. 3.4 näher umrissenen IMKO *OCF* bildet die *metaphysische Ontologie* und die *Knowledge Ontology* eine zirkuläre Einheit, die genauso zwischen der Philosophie und der Informatik als erster Strukturwissenschaft besteht. Mit Gracia (1999: 156) sei wiederholt: »Metaphysicians want to know [...] how knowledge fits within the most general categories and is related to them«. Natürlich hat die Wissensrepräsentation (KR) der Informatik unmittelbar damit zu tun, indem sich allein auf ihrer Basis prüfen lässt, ob die in die TLO-Kategorien übersetzten metaphysischen Kategorien tatsächlich transdisziplinär anwendbar sind. Zugleich wird damit deutlich, dass die universale Lösung der Ontologiefrage allein in einer integrierten Ontologiekonzeption liegen kann, die sowohl den Ansprüchen der Philosophie wie insbesondere auch der Informatik gerecht wird. Dabei wird am Ende dieses dritten Teils klarer sein, dass ein allgemeines, universal anwendbares Ontologieverständnis nicht nur *de facto* möglich, sondern im Zeichen des IMKO *OCF* mit einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* quer durch alle Disziplinen im transdisziplinären Sinne auch notwendig ist.

Somit ist insgesamt gezeigt: es gibt keinen Unterschied im Ontologiebegriff zwischen Philosophie und Informatik, der etwas mit dem Gegensatz von realistischer vs. linguistischer Ontologie, jenem von aktueller vs. möglicher Welten, oder jenem von externem vs. internem Realismus usf. zu tun hätte. Denn diese Gegensätze gibt es in beiden Disziplinen, und sie sind von meta-ontologischer Natur. Was beide Disziplinen eint ist die große Konfusion um das Ontologieverständnis mit zahlreichen Ontologievarianten, die indessen zwischen beiden Seiten korrespondieren. Die wichtigste Einsicht zur Aufhebung dieser Konfusion besteht dabei darin, dass die damit zusammenhängenden Fundamentalprobleme *die gleichen* sind – was bisher kaum gesehen wird. Die Konfusion lässt sich somit offenbar nur in einem *einheitlichen Totalansatz* beseitigen, der die gesamte Ontologiediskussion auf eine neue, für alle Seiten letztlich tragfähige Basis stellt. Ungeachtet der erwähnten Fundamentalprobleme ist diese Konfusion allein schon deshalb notwendig aufzuheben, weil es die elementarsten Zielsetzungen *beider* Disziplinen jeweils für sich verlangen – auch wenn sie unterschiedlich sind. – Zeichnete sich die analytische Tradition anfangs gerade durch eine explizit anti-metaphysische Position aus, ist sie spätestens seit den 1980er Jahren zu bedeutenden Teilen in eine *analytische Metaphysik* übergegangen.¹³³⁹ Bereits Van Inwagen (1977) nutzt den Ontologiebegriff im Sinne *möglicher Welten*, wobei die Möglichkeit im Sinne der analytischen Metaphysik die *rein logische Möglichkeit*, die *Denkmöglichkeit* meint. Nach ihr ist *Alles* möglich, was nicht in sich widersprüchlich ist. Von dieser abstrakten Möglichkeit ist die klassisch-ontologische Möglichkeit, die besser als eine unmittelbar auf die aktuelle Welt bezogene *realfaktische Möglichkeit* zu bezeichnen wäre, strikt zu unterscheiden. Diese bezieht sich – mindestens partiell – auf *raumzeitlich de facto existierende Objekte*.¹³⁴⁰ Folgt man der Sichtweise des wissenschaftlichen Realismus, so kennzeichnet dieser Möglichkeitstypus zugleich das nach Maßgabe erfahrungswissenschaftlicher Erkenntnis Mögliche; in diesem Sinne eine auf die aktuelle Welt bezogene *empirisch bestätigbare Möglichkeit*. Diese Unterschiede werden in Pkt. 3.5 bzw. Pkt. 6.2.7 mit den Modalitäten *"de re"* vs. *"de dicto"* vertieft.

Für die Ontologie der Informatik sind diese Entwicklungen konstituierend: So steht die Einführung des Ontologiebegriffs durch Mealy (1967) mit seinem Rekurs auf Quine deutlich im Zeichen der analytischen Ontologie. Die Annexion des Metaphysikbegriffs durch McCarthy/Hayes (1969) erfolgt im direkten AI-Kontext deutlich im Zeichen der analytischen Metaphysik, indem bereits hier mit *möglichen Welten* operiert wird, und zwar explizit im oben genannten Sinne *modaler Logik* als rein logischer Möglichkeit. Dabei hält auch McCarthy (2000: 45) das Quinesche ereigniszentrische 4D-Ontologiekonzept für die AI-Ontologie am passendsten; wengleich ihm weder die Konsequenzen in Bezug auf den

¹³³⁹ Hier ist Strawson (1959) mit seiner *deskriptiven Metaphysik* als einer der Vorläufer zu nennen, wenn auch noch im strikten Gegensatz zur *revisionären Metaphysik*. Später gleichen sich diese Traditionen etwa mit Loux (1979, 2002), Hamlyn (1984), Jubien (1997), Runggaldier/Kanzian (1998) sowie Van Inwagen (2001, 2002) an, stehen aber mit ihnen im Sinne der *reinen logischen Möglichkeit* verstandenen möglichen Welten im strikten Gegensatz zur *wissenschaftlichen Metaphysik* etwa Bunges (1977a).

¹³⁴⁰ Vgl. hierzu auch E.J. Lowe (2002b: 128 f.).

objektzentrischen 3D-*Common Sense* noch in Bezug auf die metaphysisch adäquaten Repräsentationen bei McCarthy/Hayes (1969) richtig klar zu sein scheinen. Demgegenüber rekurren Genesereth/Nilsson (1987) wiederum explizit auf McCarthy/Hayes (1969) und begründen in dieser Tradition jene Ontologieauffassung, die kurze Zeit später in explizit darauf erfolgreicher Bezugnahme durch Gruber (1993, 1995) in der gesamten Informatik populär gemacht wird. Dabei ist diese AI-Ontologie der Informatik im Zuge der einheitlichen Prägung durch die modale Logik prinzipiell mit der in der Tradition der analytischen Metaphysik stehenden philosophischen Ontologieauffassung Van Inwagens (1977) kongruent. Das gilt unabhängig davon, dass die AI-Ontologie unmittelbar auf eine technologische Anwendung abstellt. Die analytische Ontologie bzw. analytische Metaphysik steht dabei genauso im Zeichen des Logizismus wie die AI-Ontologie; sowohl diese philosophische Strömung als auch die gängige AI-Ontologie der Informatik operiert in gleicher Weise auf Basis der modalen Logik. Die Ontologie ist hier wie dort *modale Ontologie* (modal ontology), die sich mit der Richtung um D.K. Lewis einerseits,¹³⁴¹ und der Richtung um Kripke und Plantinga andererseits in zwei große Schulen unterteilt.^{1342, 1343}

In der analytischen Metaphysik gehen die aktuelle Welt und mögliche Welten Hand in Hand; Verfechter des *Modalen Realismus* (modal realism) wie D.K. Lewis unterstellen gar, dass Sachverhalte in möglichen Welten *genauso real existent* seien wie jene der aktuellen Welt. In der Quantenphysik bestehen vereinzelt gleiche Überzeugungen,¹³⁴⁴ so dass solche Sichtweisen zwar gewiss speziell sind, jedoch *nicht* – wie etwa durch Bunge (2012: 153) – *von vornherein* als realitätsfern und pseudowissenschaftlich abgetan werden können, nur weil sie nicht in das eigene materialistisch geordnete ontologische Schema passen. In diesem Zusammenhang sei an die Argumente des *internen Realismus* Putnams (1987, 1990) erinnert. Tatsächlich gewinnt die Abgrenzung der beiden oben erwähnten Möglichkeitsformen mit solch speziellen Positionen zur Quantentheorie an Unschärfe.

Bunges (2012: 153) Polemik gegen jede Art von Multiversumstheorien hat indessen nicht allein etwas mit Wolffs (1740: 449) Dichotomie von Materialismus vs. Idealismus zu tun; tatsächlich hält sich Lewis gar ebenfalls *ersterem* – nicht letzterem zugehörig.¹³⁴⁵ Nicht generell, jedoch speziell im Hinblick auf den *Modalen Realismus* von Lewis ist Bunge –

¹³⁴¹ Vgl. Lewis (1979a, 1979b, 1986b).

¹³⁴² Vgl. Kripke (1963, 1971, 1972) sowie Plantinga (1974, 1976). Zu dieser Richtung gehören auch Adams (1979), Stalnaker (1979) sowie Van Inwagen (1990a).

¹³⁴³ Van Inwagen (1986) differenziert beide Gruppierungen *modaler Ontologie* als *Concretists* vs. *Abstractionists*, da erste *konkrete mögliche Welten*, zweite *abstrakte mögliche Welten* voraussetzen. Für die Ontologie der Informatik sind beide Schulen *modaler Ontologie* relevant: So sympathisiert etwa die Digitale Metaphysik Steinharts (1998) mit Lewis (1986b), während die AI-Ontologie Genesereth/Nilssons (1987) auf die Variante Kripkes (1963, 1971, 1972) setzt.

¹³⁴⁴ Vgl. etwa Everett (1957), speziell p. 459, Fn.: »The whole issue of the transition from ‘possible’ to ‘actual’ is taken care of in the theory in a very simple way – there is no such transition, nor is such a transition necessary for the theory to be in accord with our experience. From the viewpoint of the theory *all* elements of a superposition (all ‘branches’) are ‘actual,’ none any more ‘real’ than the rest«, Hvh. im Orig.

¹³⁴⁵ Vgl. Lewis (1971: 203).

auch im Sinne von Reschers (1973a) Ontologieverständnis – zuzustimmen,¹³⁴⁶ denn Lewis geht über die erwähnte Variante der Quantentheorie sehr deutlich hinaus, indem er jede empirische Bezugsbasis verlässt. Indem sein *Modaler Realismus* eine Spielart des *ontologischen Realismus* darstellt, widerspricht er eklatant dem durch Bunge vertretenen *wissenschaftlichen Realismus* (Scientific Realism), der Ontologie als *wissenschaftliche* Ontologie interpretiert. Tatsächlich sind für Lewis auch Mythen und Science-Fiction keine bloße Phantasie, sondern durchaus *Realität*, nur eben nicht in unserem, sondern in einem anderen logisch-widerspruchsfreien Kosmos, wobei jede Welt raumzeitlich in sich abgeschlossen ist.¹³⁴⁷ Wichtig zum Verständnis der Lewisschen *Multiversumstheorie* ist zum einen seine Feststellung, dass mögliche Welten in *allen denkbaren* Welten bestehen,¹³⁴⁸ zum anderen, dass er diese Sichtweise als eine *ontologische* Position verstanden wissen will:¹³⁴⁹ Für Lewis *existiert jede Möglichkeit*,¹³⁵⁰ im Zeichen modaler Logik *qua logischer Möglichkeit*, in einer Welt, die jedoch nicht notwendig die *eigene* aktuale sein muss.¹³⁵¹ Für Lewis gibt es unendlich viele Welten, da es auch unendlich viele Möglichkeiten gibt (et v.v.).¹³⁵²

Insgesamt impliziert die analytische Metaphysik das Erfordernis eines *einheitlichen* Ontologiebegriffs, der in Husserls (1929) Verständnis der formalen Ontologie genauso angelegt ist wie in Wittgensteins (1921) *Tractatus*, für den die Tatsachen im logischen Raum *jeweils* die "Welt" sind. Tatsächlich ist es Wittgensteins (1921) *logischer Raum*, der nicht nur für die modale Ontologie der analytischen Metaphysik in der Philosophie konstitutiv ist, sondern gleichermaßen für die AI-Ontologie.¹³⁵³ So heißt es exemplarisch in der verbreiteten Ontologiedefinition Grubers (1993: 199): »The term [ontology] is borrowed from philosophy, where an ontology is a systematic account of Existence [sic!]. For knowledge-based systems, what 'exists' is exactly that which can be represented«. In dem Sinne, und nur in diesem Sinne, dass bei Lewis (1986b) mögliche Welten *alle logisch denkbaren Welten* umfassen, entspricht die Ontologiekonzeption Grubers der Ontologie von Lewis. Demgegenüber sind für den AI-Veteranen McCarthy (1995: 2042) mögliche Welten vom Typ Stalnaker-Lewis nicht zielführend.¹³⁵⁴ In allen Fällen, in Philosophie wie Informatik, existiert im logischen Raum *Alles*, was logisch möglich ist; denn Alles, was

¹³⁴⁶ Vgl. hierzu Rescher (1973a: 29): »Ontology – the theoretical study of the concepts revolving around such verbs as 'to be' or 'to exist' – is no mere logicians' game carried on for its abstract interest alone«.

¹³⁴⁷ Nach Lewis' *Gegenstücktheorie* gilt: »An enduring thing and its stages exist only in one world, but may have counterparts in other worlds«, vgl. Lewis (1971: 206). Die *Identitätsbedingung* erscheint für Lewis (1979a: 111) dabei deswegen unproblematisch, weil das Postulat vorausgesetzt wird, dass Dinge in verschiedenen Welten *niemals* identisch sind; vgl. hierzu im Einzelnen Lewis (1970b).

¹³⁴⁸ Vgl. Lewis (1970a: 176).

¹³⁴⁹ Vgl. Lewis (1970a, 1986b).

¹³⁵⁰ Vgl. Lewis (1979b: 182).

¹³⁵¹ Wesentlich ist hier Lewis' Hypothese *multipler Aktualität*; nach ihr sind *alle möglichen Welten* genauso *aktual* wie die eigene. Danach können die Bewohner *jeder möglichen Welt* ihre Welt wahrhaftig als die *aktuale* bezeichnen, vgl. hierzu Lewis (1970a: 179; 1979c: 459).

¹³⁵² Vgl. hierzu Lewis (1986b: 2): »There are so many other worlds, in fact, that absolutely *every* way that a world could possibly be is a way that some world *is*«, Hvh. im Orig.

¹³⁵³ Vgl. etwa Genesereth/Nilsson (1987) sowie Gruber (1993, 1995).

¹³⁵⁴ Kontrafaktisches ist für McCarthy (1995) insofern notwendig, als es dem Lernen von AI-Systemen zuträglich ist; die AI-Tradition solle sich indessen allein auf *nützliches* Kontrafaktisches beschränken.

logisch möglich ist, lässt sich im Sinne wahrer Aussagen repräsentieren. Insofern ist die ontologische Frage, *was existiert*, wie sie mit Quine (1948) in der Philosophie und darauf beziehungsweise mit Mealy (1967) für die Informatik gestellt wurde, in einer ganz generellen, disziplinenübergreifenden Weise beantwortet. Allerdings sind damit noch nicht alle ontologischen Probleme gelöst – im Gegenteil; sie fangen damit erst richtig an. Die Existenz fundamentalerer Probleme lässt sich bereits mit einem kurzen Blick auf die Konkurrenz der diversen TLO-Theorieanwärter erahnen: So korrespondiert die linguistische DOLCE-TLO mit der modalen Ontologie der analytischen Metaphysik, indem auch sie Fiktion und Mythologie für die ontologische Repräsentation zulässt. Demgegenüber lehnen genauso weit verbreitete TLO-Ansätze wie die BWW-TLO oder die BFO-TLO eine solche modale Ontologie nicht nur explizit ab, sondern gehen darüber hinaus, indem sie diese in ihren philosophischen Grundlagen vehement bekämpfen. Eine umfassende semantische Interoperabilität, die für die U-PLM-basierte *Smart Enterprise Integration* (SEI) unabdingbar ist, lässt sich damit ohne die Überwindung der Inkommensurabilität der diversen TLO-Theorieanwärter offensichtlich nicht realisieren. Für ihre Aufhebung ist wiederum die Klärung aller relevanten meta-ontologischen Fragen unabdingbar, die ohne eine tiefere metaphysische Reflexion nicht durchführbar ist.

In der Tat würde man die Situation in der Informatik vollständig verkennen, wenn man davon ausgeht, dass hier nur Ontologien vom Typ der *A-ontology* vertreten würden. Das Dilemma besteht vielmehr darin, dass hier genauso Ontologien vom Typ der *B-ontology* verfochten werden. Dies gilt nicht nur für den formalen Ontologiebegriff Husserlscher Provenienz selbst, da dieser phänomenologisch, mithin im Zeichen von Sinneswahrnehmungen *realistisch* ist. Auch ist mit Blick auf die alles entscheidende Maßgabe der *Top-level Ontologie* festzustellen, dass hier die *realistischen* Ontologieauffassungen, also jene vom Typ der *B-ontology*, genauso von Relevanz sind. Analog dazu ist die Ontologieauffassung im CM-Kontext durch die realistische *B-ontology* dominiert. Während die modale Logik für AI-Zwecke unerlässlich ist, stellt sich im CM-Kontext die Sache traditionell vollkommen anders dar, weil im Zuge des Engineerings klassischer Informationssysteme allein das Realfaktische zählt, wohingegen das Kontrafaktische gerade auszuschließen ist. Insofern verwundert es nicht, wenn Wand/Weber hierbei im Sinne der realistischen *B-ontology* auf der klassischen philosophischen Ontologie aufbauen, die sich mit Angeles (1981: 198) verstehen lässt als »[t]hat branch of philosophy which deals with the order and structure of reality in the broadest sense possible«. ¹³⁵⁵ Mit ihrer BWW-Ontologie stehen Wand/Weber dabei in der Ontologietradition Bunges, die wiederum allein der *wissenschaftlichen Ontologie* verpflichtet ist. Damit eröffnet sich partiell eine Parallele zu den *Scientific Ontologies* B. Smithens. ¹³⁵⁶ Für Smithens erfahrungswissenschaftliche Zwecke zählen allein die *Entitäten der Realität* und gerade keine Ontologien im Sinne x-beliebiger, ggf. auch kont-

¹³⁵⁵ Vgl. Wand/Weber (1989b), Wand/Storey/Weber (1999) sowie Parsons/Wand (2000).

¹³⁵⁶ Vgl. hierzu etwa Smith/Ceusters (2010).

rafaktischer Konzeptualisierungen, wie sie im Bereich der AI-Ontologie *en vogue* sind.¹³⁵⁷ In diesem wesentlichen Punkt stimmen die Ontologieauffassungen Bunges, Smithens und einer Reihe anderer Ontologen überein; in anderen genauso wichtigen Punkten allerdings nicht.

Mit Blick auf seine jeweils allumfassende Relevanz überrascht es kaum, dass der Widerstreit zwischen realistischen und linguistischen resp. zwischen *B-ontology* und *A-ontology* in der Informatik mittlerweile fast genauso scharf ausgefochten wird wie in der Philosophie. Allerdings ist die Situation in der Informatik in einem ganz entscheidenden Punkt weitaus interessanter: denn sie ist in ihrer technologischen Relevanz förmlich gezwungen, zu einer tragfähigen Lösung zu kommen, d.h. diesen Widerstreit und die Konfusion um den Ontologiebegriff und das Ontologiekonzept so schnell wie möglich aufzulösen. Die Informatik *muss* handeln, in vielerlei Hinsicht im Sinne von Pisanelli et al. (2002: 125) gar dringend; sie kommt um einen einheitlichen Ontologiebegriff und eine integrierte Ontologiekonzeption in mindestens dreifacher Hinsicht nicht umhin: Erstens, weil es ihr natürlicher Integrationsanspruch gar nicht anders zulässt, was im EI-Kontext generell und im hier relevanten SEI-Kontext besonders deutlich wird. Die Informatik hat in dieser Integrationshinsicht eine allumfassende semantische Interoperabilität sicherzustellen, die nicht an vollkommen disparaten Ontologiebegriffen und –konzepten in ganz grundlegender Hinsicht scheitern kann. Damit zusammenhängend ist zweitens festzustellen, dass Informations- und Wissenssysteme im Zuge zunehmender Prozessintelligenz immer mehr miteinander verschmelzen.¹³⁵⁸ Das war bisher schon im Grundsatz nicht angelegt, indem Daten und Information einerseits und Wissen andererseits nicht im digitalmetaphysischen Sinne durchgängig behandelt wurden. Wenn jedoch Perzeption, Kognition, Interpretation und Semantik in einem metaphysischen Guss entwickelt werden, wie es in Leibnizens Tradition bei Whitehead der Fall ist, dann rücken auch Informations- und Wissenssysteme unmittelbar zusammen. Im Zeichen des IMKO *OCF*, das metaphysische bzw. cyber-physische *Information* und repräsentiertes *Wissen* unmittelbar zusammenbringt, sind die ontologischen Grundlagen auch notwendig die gleichen. Entsprechend müssen CM- und AI-Ontologien auch miteinander korrespondieren, was allein über eine *einheitlich* vorausgesetzte *Top-level Ontologie* als gemeinsamer Referenzbasis möglich wird, die einen *einheitlichen Ontologiebegriff* und ein *integriertes Ontologiekonzept* nach sich zieht. Drittens wird vor diesem Hintergrund zunehmender Prozessintelligenz im IoX-Hyperspace deutlich, dass vollkommen disparate Ontologiebegriffe und -konzepte die Stabilität ontologiebasierter Prozesse und Systeme in ganz grundsätzlicher Weise unterminieren können. Da U-PLM-Systeme als Integrationsplattform der Digitalen Fabrik bzw. des Smart Enterprise in sicherheitskritischen Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik, der Lebensmittelindustrie oder der chemischen Prozessindustrie zum Einsatz gelangen, kann

¹³⁵⁷ Vgl. B. Smith (2004, 2006a).

¹³⁵⁸ Hierzu gehört etwa der Einbezug von *Problemlösungsmethoden* (PSMs) und ihre *Kombination mit Ontologien*, vgl. Akkermans et al. (1993), Fensel/Straatman (1998) und Gómez-Pérez/Benjamins (1999).

die Informatik einen andauernden fundamentalen Widerstreit um das Ontologieverständnis gerade auch im Hinblick auf den ontologischen Praxisvollzug weder akzeptieren noch konzeptionell verantworten.

Vollkommen disparate Ontologiebegriffe, Ontologiekonzepte, ontologische Wahrmacher und Top-level Ontologien werden über kurz oder lang dazu führen, dass ontologiebasierte Systeme und ontologiegestützte Prozesse instabil sind. Nicht umsonst werden bereits in einzelnen Industrien, etwa in der chemischen Prozessindustrie, Fragestellungen der Top-level Ontologie aus gutem Grund sehr dezidiert behandelt, weil U-PLM-Prozesse im Allgemeinen kritische Prozesse bilden. Die große Konfusion in der Ontologiediskussion der Informatik ist gerade mit Blick auf die Ontologie komplexer IoX-Systeme *zwingend* zu beenden, weil sie gerade hier möglicherweise nicht kontrollierbare Folgeentwicklungen nach sich ziehen kann. Ihre Überwindung ist nur möglich auf Basis eines radikal anderen ontologischen Fundaments: Dieses hat auf nicht weniger als auf einen *einheitlichen Ontologiebegriff*, eine *integrierte Ontologiekonzeption* mitsamt in abgestufter Form orchesterter *ontologischer Wahrmacher* sowie auf eine *Top-level Ontologie-Synthese* im Sinne der erwähnten *Universalontologie* zu zielen, und ist somit systematisch anzugehen.

Für die Philosophie ist dieser Zwang zur Auflösung des bereits Jahrzehnte währenden Widerstreits, wie er sich in Strawsons (1959) Differenzierung von *descriptive vs. revisionary metaphysics* oder Van Inwagens (2001) Differenzierung von *A-ontology* und *B-ontology* manifestiert, zwar weniger akut. Dennoch wäre auch sie gut beraten, das Streben nach einem einheitlichen Ontologiebegriff und einem integrierten Ontologiekonzept zu forcieren. Denn eines ihrer großen epistemologischen Ziele besteht mit Whitehead (1925) seit jeher in der *Einheit aller Erkenntnis*; das damit verbundene Ziel der wissenschaftlichen Ontologie resp. Metaphysik in der *Einheit des Wissens*, das in wissenschaftstheoretischer Hinsicht durch das Ziel der *Einheit der Wissenschaften* komplettiert wird. Diese *Einheit des Wissens* wird, sofern sie überhaupt jemals realisiert werden kann, allein auf einer transdisziplinären KR-Grundlage gelingen können. Universale Ontologie im Sinne wissenschaftlicher Philosophie bzw. wissenschaftlicher Ontologie als *Erste Philosophie* erfordert somit einen *universalen Ontologiebegriff*, der nicht nur wissenschaftlichen und technologischen Ontologien gleichermaßen gerecht wird, sondern auch insofern *an sich* technologisch ist, als er den Zugang zur AI-Ontologie im Prinzipiellen eröffnen können muss.¹³⁵⁹ Auch in diesem Sinne muss der Ontologiebegriff von Philosophie und Informatik *einheitlicher* sein; analoges gilt für die Meta-Ontologie.

Damit wird nicht nur deutlich, dass die Philosophie die Informatik genauso benötigt wie umgekehrt,¹³⁶⁰ sondern auch, dass der klassisch realistische Ontologiebegriff *mutatis mutandis* im Sinne erfahrungswissenschaftlicher Ontologie sich mit jenem, der für KR-Zwecke in der Informatik zugrundegelegt wird, schon allein aus diesem Grunde decken

¹³⁵⁹ Vgl. hierzu auch Sloman (1995).

¹³⁶⁰ Vgl. aus *AI-Sicht* hierzu McCarthy (1988: 243 ff.).

muss. Dasselbe gilt für entsprechende AI-Experimente, deren Nutzen für die Philosophie schon Sloman (1978) erkannt hat, und dabei »the merits of different ontologies« für den philosophischen Praxistest hervorhebt.¹³⁶¹ Offensichtlich muss auch in dieser Sache eine Kohärenz der Ontologiekonzepte von AI und Philosophie gegeben sein. Im KR-Kontext wird dieses Kohärenzerfordernis bereits in einer Vielzahl erfahrungswissenschaftlicher Disziplinen, angefangen von der Biomedizin bis zur Rechtswissenschaft, deutlich. Für eine *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, die in PLM-relevanten Industrien wie der Medizintechnik oder Biotechnologie zum Einsatz kommt, ist dieses Erfordernis von zentralem Belang. Da U-PLM-Systeme komplexe Service- und Produktentwicklungsprozesse in kritischen Bereichen auch in regulatorischer Hinsicht steuern, sind nicht nur naturwissenschaftliche Ontologien, sondern auch etwa Rechtsontologien erforderlich. Sie alle müssen nicht nur im Hinblick auf die semantische Interoperabilität kompatibel sein, sondern sich genauso prinzipiell beliebig miteinander kombinieren lassen.

Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist nicht allein auf technologische Ontologien, sondern mit Blick auf das auf naturwissenschaftlichen Disziplinen aufbauende Engineering komplexer Produkte im Zuge PLM-zentrischer Innovationsprozesse gerade auch auf *Scientific Ontologies* angewiesen. Allerdings gilt nicht nur in Bezug auf die Gesetzmäßigkeiten Cyber-physischer Systeme (CPS), dass es nicht solche im Sinne B. Smithens sein können, die auf dem kognitionswissenschaftlichen *Prinzip der Veridikalität* basieren. In Industrien wie der Luft- und Raumfahrt oder der Automobilindustrie muss es vielmehr um solche Popperscher Provenienz gehen, die unter dem beharrlichen Regime des Falsifikationsprinzips stehen. Komplexe Produktentwicklungsprozesse PLM-relevanter Industrien erfordern dabei gerade die *transdisziplinäre Kombination* von *Scientific Ontologies* unterschiedlichster Domänen. In gleicher Weise erfordert eine *Ontologie komplexer IoX-Systeme* die Kombination der verschiedensten Ontologietypen, etwa die Interaktion zwischen technologischen und wissenschaftlichen Ontologien. Damit wird deutlich, dass eine *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in Bezug auf sämtliche Anwendungs- und Integrationsszenarien der Informatik nicht ohne einen einheitlichen Ontologiebegriff, ein integriertes Ontologiekonzept sowie eine einheitliche Top-level Ontologie als integrierender Referenzbasis zu realisieren ist. Damit geht es insgesamt um die Frage der Meta-Ontologie der Informatik.

Wenn der Ontologiebegriff bereits in der Philosophie in einem breiten Sprachgebrauch steht, ist dieser schon hier nicht reversibel: Ontologie in der Philosophie meint heute nicht mehr allein die realistische metaphysische Ontologie bzw. die phänomenologisch formale Ontologie, sondern auch die logizistische, die analytische resp. die linguistische Ontologie. Dejnozka (1996: 5) ist in diesem philosophischen Kontext zuzustimmen, dass der ursprüngliche, durch Lorhard [Lorhardus] (1606) geprägte, und durch Goclenius (1613) popularisierte Ontologiebegriff, der sich allein auf das physisch real Existente bezieht, zu eng

¹³⁶¹ Vgl. Sloman (1978: 262 f.).

ist. Ergänzend ist jedoch zu sagen, dass diesem physisch real Existenten nicht nur in Verpflichtung auf die ontologische Tradition, sondern vor allem im Sinne von N. Hartmanns (1940) Emergenz- oder Schichtengedanken eindeutige Priorität zukommt. Das gilt mit Rescher (1979: 174) analog für die diversen Welttypen: »Actuality is prior to possibility«. In diesem Sinne bedarf auch das, was als *Realität* verstanden wird, in gleicher Weise einer gewissen Erweiterung, während mit Reschers (1979) Analyse des ontologischen Status möglicher Welten außer Frage stehen sollte, dass sich diese fernab von extremen Positionen wie etwa dem *Modalen Realismus* von Lewis (1986b) bewegen muss.

Eine moderne Ontologie hat vielmehr auch in der Realismusfrage am Gesichtspunkt der Emergenz festzumachen. Nicht nur die Frage, was existiert, sondern damit verbunden auch die Frage, was *Realität* ist, lässt sich sachlich nur auf Basis einer *emergentistischen Mehrebenenontologie* beantworten, wie sie etwa in der Komplexitätsforschung durch Emmeche et al. (1997, 2000) als *Ontology of Levels* befürwortet wird. Solche *Mehrebenenontologien* finden sich in verschiedenen Ansätzen, angefangen in der antiken Philosophie bei Platon. In der *Neuen Ontologie*, die grundsätzlich empirisch ausgerichtet ist,¹³⁶² setzt sich dies im Schichtengedanken N. Hartmanns (1940) fort, wobei zu sehen ist, dass für das Realitätsverständnis Hartmanns das platonistische Prinzip *kausaler Wirksamkeit*,¹³⁶³ und nicht etwa – wie bei Bunge – das aristotelische Prinzip *materieller Existenz* entscheidend ist. Entsprechend wird *Realität* bei Hartmann im Sinne von "*Schichten des Realen*" verstanden;¹³⁶⁴ für N. Hartmann (1942: 217) besitzt dabei etwa die geistige Schicht genau "dieselbe Realität" wie das Sein der Natur, weil das Geistige "ja nicht außerhalb der realen Welt" stehe. Feiblemans (1951) *axiologischer Realismus* läuft mit seinen integrativen Ebenen in eine identische Richtung. Der emergentistische Systemismus Bunges weist zwar Parallelen zu Hartmann auf,¹³⁶⁵ doch darf nicht verkannt werden, dass es sich bei Bunge um einen *emergentistischen Materialismus* handelt: Für Bunge sind letztlich nur *materielle* Objekte real.

¹³⁶² Vgl. zur Abgrenzung von alter und *Neuer Ontologie* N. Hartmann (1942). Als bedeutendste Erneuerer der metaphysischen Ontologie können Whitehead und N. Hartmann gesehen werden: Die *Neue Ontologie* konstituiert sich insbesondere über einen verallgemeinerten Realitätsbegriff sowie durch ihren empirischen Bezug, vgl. hierzu N. Hartmann (1942). Das hat auch unmittelbare Konsequenzen für das ontologische Kategoriensystem, denn dies wird "Zug um Zug den Realverhältnissen abgelauscht", vgl. N. Hartmann (1942: 209). Damit kommt das Kategoriensystem nicht nur bei Whitehead, sondern auch bei N. Hartmann "niemals zum Abschluß", weil es im Sinne der wissenschaftlichen Ontologie "ständige Korrekturen erfordert", vgl. N. Hartmann (1942: 209). In der *Neuen Ontologie* wird dem Geist volle Realität zugeschrieben, vgl. N. Hartmann (1942: 217); bei Hartmann in Form des Schichtengedankens, bei Whitehead in Form des Subjekt-Superjekts. In ihrer empirischen Ausrichtung ist die *Neue Ontologie wissenschaftliche Ontologie*. Sie setzt eine *Philosophie des Organischen* voraus, vgl. N. Hartmann (1942: 231) und damit läuft sie wesensnotwendig auf die Systeme von Hartmann selbst und vor allem auf die *Whiteheadsche Prozessontologie* hinaus. Denn allein in letzterer kann ein tatsächlich umfassendes System *wissenschaftlicher Philosophie des Organischen* ausgemacht werden, wobei das System von N. Hartmann das Whiteheadsche in vielen Grundsatzfragen in etwa genauso gut komplettiert wie es auch beim System Poppers der Fall ist.

¹³⁶³ Vgl. dazu Väyrynen (2016).

¹³⁶⁴ Vgl. N. Hartmann (1940: 177).

¹³⁶⁵ Entgegen Bunges eigener Auffassung, vgl. Bunge/Mahner (2004: 85), gilt dies gerade auch für den *Systemgedanken*, weil dieser in Hartmanns Ontologie im Kern immer schon angelegt war, vgl. etwa bereits N. Hartmann (1912).

Das ist wiederum anders bei Poppers (1972a) *Drei-Welten-Lehre*, die als emergentistische Mehrebenenontologie mit Hartmann (1940) grundsätzlich korrespondiert und in unseren weiteren Überlegungen eine entscheidende Rolle spielt. Für Popper sind alle drei Welten real; doch insgesamt läuft eine Mehrebenenontologie darauf hinaus, dass das, was *Realität* ist, in abgestufter Weise zu verstehen ist: physischen Objekten kommt ein anderer Status zu als etwa Wissensobjekten; alles andere ist mit einer *wissenschaftlichen* Ontologie schlichtweg unvereinbar.

Mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wird offenbar, dass die semantische Interoperabilität vollumfänglich einzufordern ist. Das heißt, dass diese Forderung generell so zu verstehen ist, dass sie sich gleichzeitig auf alle Anwendungssphären von Ontologien bezieht, also auf alle Wissenschaft einschließlich wissenschaftlicher Philosophie, auf alle Technologie und in gleicher Weise auf alle erdenklichen Szenarien ontologischen Praxisvollzugs. Damit steht außer Frage, dass der postulierte einheitliche Ontologiebegriff und die integrierte Ontologiekonzeption sich gerade gleichzeitig auf die Informatik *und* die Philosophie beziehen *müssen*. Beide Disziplinen gehen auch insofern Hand in Hand, als der ursprüngliche Ontologiebegriff nicht nur – wie erwähnt – für die Philosophie, sondern gerade auch für die Zwecke der Informatik zu eng ist. Und genauso ist auch hier der breite Sprachgebrauch nicht mehr rückgängig zu machen, wie es noch Morowitz (2012) im Sinne seiner Ablehnung des AI-Ontologiebegriffs und der Forderung nach strikter Einschränkung auf den *metaphysischen* Sprachgebrauch vorschwebt. Wie im Einzelnen dargelegt, besteht hier mitnichten das eigentliche Problem; die Ursachen der auch durch Morowitz (2012) konstatierten Konfusion um das Ontologieverständnis liegen in der Philosophie selbst.

Das Ontologieverständnis unterliegt der normativen Kraft des Faktischen. Diese Kraft lässt sich auch gar nicht insofern negieren als man *von vornherein* präjudizieren könnte, dass z.B. das analytische Ontologieverständnis oder das klassisch metaphysische falsch ist – oder dass das eine das richtige sei. Vielmehr sind sie *als Theoriewürter* alle berechtigt, weil sie sich sämtlich als alternative *metaphysische* Positionen entpuppen. Tatsächlich verschiebt sich damit die Selektion der ontologischen Theoriewürter auf die Ebene der Metaphysik. Dabei ist die Selektion der richtigen Metaphysik schnell vollzogen; denn sie hat einerseits der Kantischen Metaphysikkritik zu entsprechen, andererseits muss sie wesentlich berücksichtigen, dass Cyber-physische Systeme (CPS) in der Erfahrung gegeben und in technischer Gestaltung möglich sind. Insofern kann es sich allein um eine Cyber-Metaphysik handeln, die dann als *Klasse-4-Metaphysik* im Kantischen Sinne offen ist zu allen Wissenschaften und Technologien. Dabei stellt die Physik mit der Cyber-Physik die oberste Erfahrungswissenschaft, die Informatik mit dem integrierten Moment der Daten, Informationen und des Wissens die oberste Strukturwissenschaft, während die empiristische Universalsynthese mit der Identifikation einheitlicher Strukturprinzipien in der Theorie komplexer Systeme gegeben ist. Ungeachtet dessen geht es bei der Ontologie im Sinne von Weltmodellen letztlich immer um dieselbe Sache und dabei hängen die verschiedenen

Ontologieverständnisse sehr viel enger zusammen als es auf den ersten Blick den Anschein hat. Sie stehen auch gar nicht unbedingt in einem Konkurrenzverhältnis, nämlich dann nicht, wenn sie in einem breiteren Ontologieverständnis und auf Basis einer flexibleren Ontologiekonzeption systematisch integriert werden. Ohne Frage kann ein einheitlicher Ontologiebegriff im Sinne eines solch breiten Ontologieverständnisses nur auf einen gemeinsamen Nenner basieren, und dieser besteht in der Auffassung, dass Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* repräsentieren. Dieser einheitliche Ontologiebegriff läuft in einer integrierten Ontologiekonzeption darauf hinaus, dass er für die in Pkt. 3.5 definierten disparaten Welttypen je nach Anwendungssphäre unterschiedliche Wahrmacher (Truthmaker) impliziert.

Überraschenderweise werden diese grundverschiedenen Anwendungsbereiche im Streit um den Ontologiebegriff und das Ontologiekonzept der Informatik durch die beteiligten Parteien kaum bedacht: Sie streiten um die sachgerechte Auslegung eines allgemeingültigen Ontologieverständnisses, ohne die Sache des andern im Blick zu haben, vielleicht auch ohne sie richtig zu verstehen. Vielmehr aber müssen die Ontologiekonzepte der Informatik genauso vielfältig sein, wie es die jeweiligen Einsatzzwecke erfordern. Daraus folgt, dass sich nur bedingt eine Synthese im Ontologieverständnis herstellen lässt. Wenn Ontologieverfechter in den Reihen der Informatik wie Dietz, Gruber, Guarino, Smith, Wyssusek oder Wand/Weber sich in ihrem ontologischen Richtungsstreit gegenseitig kritisieren, berücksichtigen sie nicht, dass bei der Spezifikation meta-ontologischer Kriterien nicht etwa die "Entweder-oder-Entscheidung", sondern vielmehr ein "Sowohl-als-auch" wegweisend sein sollte. Eine solche Position mag zunächst überraschen, da sie bisher auch nicht vertreten wird. Sie zeigt sich auch erst mit der wichtigen Ergänzung verständlicher, dass die verschiedensten Ontologiekonzepte natürlich nicht mehr – wie bisher – in konkurrierender Weise nebeneinanderstehen, sondern vielmehr systematisch ineinandergreifen müssen. Nur eine solche offene Systematik kann mit Blick auf das natürliche Integrationserfordernis der Informatik erfolgversprechend sein.¹³⁶⁶

Es kommt also auf das systematische Ineinandergreifen an, was zum einen nur möglich ist, wenn der Ontologiebegriff in fundamentaler Hinsicht ein einheitlicher ist, was eine weitere Ausdifferenzierung für verschiedene Zwecksetzungen selbstverständlich nicht ausschließt. Zum anderen setzt dies offensichtlich ein *integriertes Ontologiekonzept* voraus. Konkret erfordert ein solches integriertes Ontologiekonzept eine *Top-level Ontologie*, der es als oberste Ontologie der Informatik im Sinne der erwähnten *Universalontologie* gelingt, die verschiedensten Ontologiekonzepte für die verschiedensten ontologischen Zwecksetzungen zu integrieren. Genau in dieser Integration besteht die eigentliche Funktion der Top-level Ontologie – und deswegen ist sie auch für die Informatik in ihrem natürlichen Integrationserfordernis unabdingbar. Auch das wird bislang regelmäßig übersehen, wobei sich diese Sichtweise *eo ipso* als richtig erweisen wird: Festzuhalten ist an

¹³⁶⁶ Vgl. hierzu etwa Lankhorst (2004).

dieser Stelle, dass eine geeignete Top-level Ontologie im Hinblick auf das ontologische Integrationserfordernis hinreichend flexibel sein muss, um verschiedenste Ontologiekonzepte für ganz unterschiedliche, jedoch im SEI-Kontext letztlich eng zusammenhängende Einsatzzwecke in systematischer Weise vollständig integrieren zu können.

Das "Sowohl-als-auch" bei der Spezifikation meta-ontologischer Kriterien impliziert im Sinne von Feys (1975) "*anything goes*", dass verschiedene Ontologietypen zulässig sind; allerdings mit zwei Einschränkungen: diese bestehen zum ersten in der Forderung, dass im Zuge moderner Ontologie in sämtlichen Bereichen und Disziplinen die *formale Ontologie* im Mittelpunkt zu stehen hat. Das mündet in dem Postulat, dass Ontologien auch in der Philosophie mindestens formalisierbar sein müssen.¹³⁶⁷ Dieses Postulat geht bekanntlich auf Leibniz zurück und wird zunehmend vertreten.¹³⁶⁸ Eine explizite Formalisierung des Ontologiebegriffs wird dabei etwa bereits durch Peirce angedacht und später etwa durch Church (1958) gefordert. Die Ontologie wird damit gerade auch in ihrer ursprünglichen Disziplin im Sinne strenger Wissenschaft generell transformiert in *formale Ontologie*,¹³⁶⁹ die auf der mathematischen Logik gründet.¹³⁷⁰ Während es für die Informatik selbstverständlich ist, sollte dieses entscheidende Postulat auch für die Philosophie – vor allem in ihrer Eigenschaft als *wissenschaftliche Ontologie* – mit der heutigen Bedeutung der mathematischen Logik als grundsätzliche Vorbedingung jeder qualitativ hinreichenden Ontologie allgemein akzeptiert werden.¹³⁷¹ Mit Feys (1975: 653) gilt: »There are a number of reasons for deeming a system of ontology to be a [logical] calculus, that is, a deductive system which provides for computation by means of the deduction of certain elements from others«. Lange Zeit vor Aufkommen von KR-Technologien und sechzehn

¹³⁶⁷ Das läuft mit Poli/Simons (1996: vii) darauf hinaus, »to use formal methods to solve classical philosophical problems relating to the notions of being, object, state of affairs, existence, property, relation, universal, particular, substance, accident, part, boundary, measure, causality, and so on«. Die *klassische Logik* bildet hier einen ersten Ansatzpunkt, um den Rückgriff auf die Wissensrepräsentation und damit die Verbindung zwischen philosophischer Ontologie und AI-Ontologie zu schaffen, vgl. hierzu Lifschitz et al. (2008).

¹³⁶⁸ Vgl. etwa Casati/Varzi (1999: 201); vgl. exemplarisch für die *Metaphysik* Williamson (2013).

¹³⁶⁹ Vgl. zu dieser Transformation auch Hutten (1949: 381 f.): »The construction of artificial language-systems does not arise from the perverse desires of logicians but from the need of reconstructing our language – and, in particular, the language of science – in a logical manner so that we can establish more clearly the meaning of our sentences«. Insofern kann Bunge (1983c: 71) auf Basis des Materialismus vollzogene Klassifizierung von *Ontologie* und *Epistemologie* als "*nonformal branches of philosophy*" nicht mehr gelten, da diese mit Pkt. 3.5 auf sämtliche Automaten- bzw. Agentenklassen zu beziehen sind.

¹³⁷⁰ Vgl. B. Smith (1978); bereits Carnap (1928a: III) konstatiert mit Blick auf die mathematische Logik, dass ihre »hervorragende Bedeutung für die gesamte Philosophie [...] nur von wenigen geahnt [wird]«, ohne Hvh. des Orig. Dabei gilt es für Carnap (1934b: III f.) als ausgemacht, dass »Philosophie [...] durch Wissenschaftslogik, d. h. logische Analyse der Begriffe und Sätze der Wissenschaft ersetzt« wird, wobei »Wissenschaftslogik [...] nichts anderes als logische Syntax der Wissenschaftssprache« darstellt, ohne Hvh. des Orig.

¹³⁷¹ Vgl. hierzu auch Sloman (1978), Grim/Mar/St. Denis (1998) sowie Bynum/Moor (1998) und die in diesem Sammelband publizierten weiteren zahlreichen Beiträge zu diesem Thema, bei dem wiederum die Automatentheorie eine zentrale Stellung einnimmt. Dieses Postulat ist nicht zuletzt auch in dem Zusammenhang zu sehen, als nicht mehr das über Reduktion gewonnene Einfache, sondern primär das Komplexe das Forschungsinteresse leitet, sowohl in der Wissenschaft, vgl. etwa Barrow (2005: 282), als auch in der Philosophie, vgl. etwa Rescher (1998).

Jahre vor Mealys (1967) Übernahme des Ontologiebegriffs in die Informatik führt Feibleman (1951: 653) im Kontext der philosophischen Ontologie an gleicher Stelle aus: »An ontology is like a mathematical system in that its perfection can only be demonstrated in terms of its translation into some symbolic system wherein consistency and completeness are more easily demonstrable«. Aus heutiger Sicht läuft dies offensichtlich auf eine direkte Übersetzung philosophischer resp. wissenschaftlicher Ontologien in AI-Ontologien hinaus, die offensichtlich genauso eine entsprechende Kohärenz der Ontologiekonzepte einfordert, wie etwa mit McCarthy (1995) in umgekehrter Hinsicht.

Die zweite Einschränkung ist darin gegeben, dass diese verschiedenen Ontologietypen integrierbar sein müssen, was allein dadurch gelingen kann, dass sie allesamt auf eine einheitliche Top-level Ontologie in ihrer Eigenschaft als alles integrierender *Universalontologie* referenzieren. Dementsprechend kann der gemeinsame Nenner einer universalen Ontologiedefinition formaler Ontologie wie erwähnt nur darin bestehen, dass es sich bei Ontologien um detaillierte, *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* handelt. Diese Definition korrespondiert mit Booles (1854) *Universe of Discourse* (UoD) als Welt existierender Objekte bzw. als Objektwelt, mit Husserls (1929) Konzept der formalen Ontologie als *Wissenschaft vom Objekt als solchem*, und schließlich in diesem Sinne auch mit dem *logischen Raum* Wittgensteins (1921), dessen Tatsachen wiederum die Welt sind. Allerdings wird deutlich werden, dass *diese Art* formaler Ontologie in ganz wesentlicher Hinsicht für eine integrierte Ontologiekonzeption nicht ausreichend ist: Um dies zu verstehen, muss man sich zunächst gewahr werden, dass schon grundlegende Unterschiede zwischen der formalen Ontologie Husserlscher Provenienz und der analytischen Ontologie bestehen, nämlich insbesondere im Hinblick auf ihren Realitätsbezug, auf die Existenzfrage und in Bezug auf mögliche Welten. Husserls Ontologie ist *phänomenologisch*; was die analytische Ontologie ihrer Natur nach nicht ist. Insofern wird oftmals verkannt, dass die formale Ontologie Husserls grundsätzlich sehr viel enger mit dem *realistischen* Ontologiekonzept B. Smithens, das als ebenfalls formale Variante selbst in der Tradition der insbesondere durch Husserl geprägten Phänomenologie steht, verwandt ist als mit dem durch Smith torpedierten *linguistischen* Ontologiekonzept, wie es Gruber und andere vertreten.

Tatsächlich ist es Smithens formale Ontologie, die sich gerade in ihren Anfängen eingehend mit den Gedanken Husserls auseinandersetzt. Während die Ontologie resp. Metaphysik bei Mealy (1967) resp. McCarthy/Hayes (1969) mit Rekurs auf Quine und andere (indessen nicht auf Husserl) im Zeichen der analytischen Ontologie resp. Metaphysik steht, ist es die wissenschaftlich-aktualistische Konzeption formaler Ontologie Smithens (1978, 1981, 1982, 1989), die in den Reihen der Informatik demgegenüber als erste ihren unmittelbaren Anknüpfungspunkt in der *formalen Ontologie* Husserls (1929) findet.¹³⁷² Wesentlich mit Blick auf den Unterschied zwischen formaler und analytischer Ontologie ist ers-

¹³⁷² Demgegenüber bezieht sich der Rekurs von H.L. Dreyfus (1972) auf Husserl gerade nicht auf Husserls formale Ontologie, sondern ist vielmehr im kognitiven Zusammenhang zu sehen.

tens der Umstand, dass für die erste Variante *Kategorien* maßgeblich sind,¹³⁷³ deren kategoriale Ausformung im *phänomenologischen* Sinne in direktem Bezug zur *real* gegebenen Materie steht; bei dieser Ausformung besteht also keine beliebige Freiheit.¹³⁷⁴ Es gilt hier etwa den aristotelischen Konnex von Form und Materie zu beachten. Diese Bezogenheit der formalen Ontologie auf *ontologische Kategorien* ist für diese als konstituierend zu erachten.¹³⁷⁵ Mit Blick auf diese Kategorien geht es bei Husserl zweitens insgesamt um eine systematisch zu verfolgende *Universalontologie*,¹³⁷⁶ die mit Steimann/Nejdl (1999: 5) gerade in Bezug auf die Top-level Ontologie der Informatik von zentralem Interesse ist, aber in ihrer systematischen wie zwingenden Bezogenheit auf die aktuelle Welt nicht mit der Sichtweise der analytischen Richtung korrespondiert. Analoges gilt drittens mit Blick auf Fiktionsoperatoren in Bezug auf mögliche Welten; denn diese werden durch Husserls *formale Ontologie* entschieden abgelehnt; mögliche Welten sind bei Husserl immer nur Abwandlungen der aktualen.¹³⁷⁷ Demgegenüber bildet die *rein logische Möglichkeit* für die analytische Metaphysik nicht weniger als einen Kerngedanken. Insofern läuft Husserls Phänomenologie ungeachtet der gemeinsam genutzten formalen Methode insgesamt auf etwas ganz anderes hinaus als die analytische Ontologie resp. Metaphysik im Zeichen des logischen Raums.¹³⁷⁸

Gilt es vor diesem Hintergrund eine überzeugende Konzeption formaler Ontologie zu entwickeln, ist indessen nicht nur über die analytische Ontologie, sondern auch über die formale Ontologie Husserlscher Provenienz ganz grundsätzlich hinauszugehen. Denn mit Kategorien an sich ist noch nichts gewonnen; für eine *Ontologie komplexer IoX-Systeme* reichen keine *phänomenologischen* Kategorien, sondern es geht um das systemische Ganze im wissenschaftlichen Zusammenhang. Es geht um Kategorien im empirischen Sinne, die einzubetten sind in ein in sich geschlossenes, jedoch beständig zu überprüfendes wissenschaftsadaquates Kategoriensystem. Denn nur auf dem Wege eines stetigen Wechselspiels zwischen techno-wissenschaftlicher Metaphysik und den Einzelwissenschaften ist die in Frage stehende *Universalontologie* im Sinne formaler Ontologie zu erreichen; jedoch nicht in Husserls phänomenologischen Sinne. Entsprechend ist nicht nur mit dem *Logizismus* formaler Ontologie auf seinen eigentlichen Ursprung zurückzugehen, nämlich auf Leibniz, in dem bereits in *dieser* Hinsicht der geistige Urvater der Informatik in allgemein akzeptierter Weise erachtet wird.¹³⁷⁹ Nur gilt es dies richtig zu tun, indem zu beachten ist, dass es

¹³⁷³ Für Husserl (2005: 18) gehört zu einer *formalen Logik* auch eine *formale Kategorienlehre*.

¹³⁷⁴ Vgl. B. Smith (1989: 56 ff.).

¹³⁷⁵ Vgl. E.J. Lowe (2007: 82 f.).

¹³⁷⁶ Vgl. etwa Husserl (1939), insbes. S. 442.

¹³⁷⁷ Vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 5.6.

¹³⁷⁸ Vgl. dessen ungeachtet zum Versuch einer Annäherung beider Richtungen Stegmüller (1979b: 86 ff.).

¹³⁷⁹ Das gilt im Grunde in dreifacher Hinsicht, nämlich bzgl. (i) der *Mathesis universalis* entspringt die Idee der *mathematischen Logik*, die auch als *symbolische Logik*, *formale Logik* oder als *moderne Logik* bezeichnet wird, den Überlegungen Leibnizens, der sie als erster in klarer Form fasst, vgl. Hilbert/Ackermann (1928: 1), M. Davis (1988: 150 f.) sowie ergänzend Peckhaus (1994, 1997, 1999, 2000). Sie bildet den zentralen Kern des Leibnizprogramms; bzgl. (ii) der *Scientia generalis* die Idee der einheitlichen Repräsentation von Sachverhalten, sowie bzgl. (iii) der *Metaphysica* die Idee des prozessualen Automaten-

sich beim Logizismus Leibnizens um einen *metaphysischen Logizismus* handelt.^{1380, 1381} Dessen elementare Relevanz im Sinne des eigentlichen Kern des Ganzen wird allerdings nur in Kenntnis des gesamten Leibnizprogramms evident. Nicht nur der *Logizismus* Leibnizens, sondern genauso die durch ihn wesentlich beeinflusste *Theorie möglicher Welten*,¹³⁸² stehen gewiss nicht isoliert in modaler Beliebigkeit. Vielmehr sind sie der Einheit der Erkenntnis und allen Wissens verpflichtet, wie sie durch die Informatik und Philosophie gleichermaßen anzustreben sind. Leibniz irrte nicht in dem Gedanken, dass ein dieser Einheit verpflichteter Logizismus allein ein *metaphysischer Logizismus* sein kann.

Das Leibnizprogramm ist nur in seiner Einheit von *Scientia generalis*, *Mathesis universalis* und *Metaphysica* begreifbar – Informatik und Philosophie sollten sich mit Blick auf die große Konfusion in der Ontologiediskussion auf genau dieses Programm rückbesinnen. Eine solche Rückführung auf Leibnizens *Mathesis universalis* findet sich im AI-Kontext bereits bei Mainzer (1978). Vor allem aber geht es damit zusammenhängend um jene in Pkt. 4.2 diskutierte Ontologie, die dieses Programm in Kenntnis einer Reihe wissenschaft-

universums, mit dem er in fundamentaler Hinsicht die Idee der Automatentheorie vorwegnimmt. Zusammenfassend bilden diese drei Momente die Pfeiler der Komplexitätsforschung, was nicht nur ad (iii) in metaphysischer Hinsicht daran deutlich wird, dass Whitehead in der Tradition Leibnizens steht. Vielmehr gilt dies auch ad (i) bzw. ad (ii), indem sowohl die *Allgemeine Systemtheorie* Bertalanffys als auch die *Kybernetik* Wieners als frühe Systemtheorien unmittelbar auf den Überlegungen Leibnizens aufbauen, vgl. etwa Wiener (1948: 20): »If I were to choose a patron saint for cybernetics out of the history of science, I should have to choose Leibniz«. Demgegenüber folgt die *Allgemeine Systemtheorie* explizit dem Leibnizschen Gedanken der *Mathesis universalis*, vgl. etwa Bertalanffy (1957), insbes. S. 12; vgl. hierzu auch Bertalanffy (1951b: 306, 310 f.; 1968: 38, 48 f.).

¹³⁸⁰ Leibnizens *Mathesis universalis* als *Scientia generalis* besticht vor allem dadurch, dass seine auf einem Logikkalkül basierende symbolische Logik mit der Metaphysik in engste Verbindung gebracht werden soll, vgl. dazu Parkinson (1965), Poser (1979: 310; 1998: 7) sowie Mittelstraß (1994: 85 ff.).

¹³⁸¹ Whitehead, Russell, der frühe Wittgenstein, Quine und andere wie Frege und Carnap vertreten alle einen *Logizismus*, der besagt, dass die Mathematik vollständig auf die Logik zurückgeführt werden kann; sie mithin nicht mehr ist als ein komplexes logisches System analytischer Aussagen. Dieser Logizismus besitzt indessen zwei große Varianten, die teils konträr zueinander stehen: Zum einen handelt es sich um den durch Frege (1884) begründeten *sprachphilosophischen Logizismus*, wie er auch durch Carnap vertreten wird. Dieser Tradition lässt sich auch vor allem der späte Wittgenstein (1953) sowie letztlich auch Quine (1948) zuordnen. In diesem Logizismus besitzt die Logik oberste Priorität, während gegenüber der Metaphysik eine mehr oder weniger ablehnende Haltung eingenommen wird. Am deutlichsten wird dies bei Carnap (1931b) – bei dem die Metaphysik im Zuge der logischen Analyse der Sprache und im Sinne von Carnaps (1931a) Physikalismus explizit überwunden werden soll. Sowohl die Ideen Freges als auch Carnaps sind heute ad acta gelegt, wenn auch Quine (1965) noch den Versuch unternahm, das Fregesche (1884) Bestreben, die Arithmetik als einen Zweig der Logik aufzufassen, zu retten. Ausgehend von Leibniz gibt es daneben einen zweiten Logizismus, nämlich den *metaphysischen Logizismus*, der in seiner Reinform vor allem durch Whitehead vertreten wird. In dieser Whiteheadschen Reinform ist diese zweite Variante des Logizismus zur sprachphilosophischen Variante insofern konträr, als er der durch letztere gerade abgelehnten Metaphysik Priorität vor der Logik einräumt, zum anderen Whitehead – wie oben ausgeführt – dem sprachphilosophischen Programm ablehnend gegenübersteht. Auch Russell (1927a) ist letztlich eher als Vertreter des *metaphysischen* Logizismus zu sehen; Linsky (1999) ordnet ihn explizit nicht der sprachphilosophischen Variante zu, wobei dieser jedoch in einer anderen Metaphysikkategorie wurzelt als bei Whitehead. Analoges gilt damit verbunden auch für den frühen Wittgenstein (1921). Der *metaphysische Logizismus* geht mit dem ebenfalls im Zeichen der mathematischen Logik stehenden *Booleschen Logizismus* insofern konform, als mit Boole (1854) alles Denken als Durchführung logischer Operationen interpretiert wird, was eine elementare Basis für die AI-Tradition bildet. Der Boolesche Logizismus wie der metaphysische Logizismus münden in der Automatentheorie, die im universalen Sinne J. von Neumanns (1951, 1966) für die Informatik essentiell ist.

¹³⁸² Vgl. hierzu auch Rescher (2003b).

licher Schlüsseltheorien wie der Relativitäts-, der Quanten-, aber auch der Evolutionstheorie, in die Leibniz natürlich selbst keinen Einblick haben konnte, im zwanzigsten Jahrhundert in einem ebenso fulminanten Ansatz auf Basis des Leibnizschen *metaphysischen Logizismus* grundlegend erneuert hat.¹³⁸³ es ist das Whiteheadsche Programm, das von der mathematischen Logik her angelegt ist und dessen Ontologie von Anbeginn *formale Ontologie* ist.¹³⁸⁴ Vor allem aber schafft es auch den für die Informatik wie Philosophie unerlässlichen Schritt, nämlich den alles entscheidenden Sprung von formaler Ontologie im *wissenschaftlich-metaphysischen* Sinne zur *existentiellen Ontologie*, die selbstverständlich formale Ontologie bleibt. Whiteheads formale Ontologie ist *existentielle Ontologie* in dem Sinne, dass sie einen *empirischen Ring* aufweist.¹³⁸⁵ Insofern ist sie *wissenschaftliche Ontologie*, die in ihrer Offenheit Feyerabends (1975) *"anything goes"* für alle ontologischen Zwecke aller Disziplinen eröffnet. Deshalb kann sie in transdisziplinärer Weise als *Universalontologie* fungieren, wie sie durch Steimann/Nejdl (1999: 5) ins Spiel gebracht wird.

Eine "Entweder-oder-Entscheidung" bei der Spezifikation meta-ontologischer Kriterien ist deshalb nicht zielführend, weil sie sowohl in der Philosophie als auch vor allem in der Informatik die Vielfalt der Einsatzzwecke unberücksichtigt lassen würde, die im IoX-Hyperspace bzw. in einzelnen IoX-Systemen wie dem U-PLM-Referenzszenario alle aufeinandertreffen: im Kontext der konzeptuellen Modellierung müssen sie sich in erster Linie an der aktuellen Welt orientieren, ganz gleich, ob Ontologien dabei durch Dietz mit konzeptuellen Modellen gleichgesetzt werden oder durch Wand/Weber als Referenzpunkt für konzeptuelle Modelle Verwendung finden. Demgegenüber besitzt der AI-Bereich etwa mit der Ontologiekonzeption Grubers naturgemäß eine hohe Affinität zu möglichen Welten, und das muss hier auch so sein.¹³⁸⁶ Kommen U-PLM-Systeme in Zukunftsindustrien zum Einsatz, sind eine ganze Reihe von H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* von Relevanz, bspw. die AL-Disziplin. Diese erfordert ihrerseits eine *Ontologie* an sich, wobei zuvorderst der ontologische Status von AL-Welten und -Objekten zu klären ist.¹³⁸⁷

Damit wird bereits an dieser Stelle deutlich, dass eine *Ontologie komplexer IoX-Systeme* – wie auch die Ontologie der Informatik insgesamt – ganz unterschiedliche Arten von Objekttypen adressieren können muss. Das sind neben physischen bzw. natürlichen, sozialen und verschiedenen Arten technologischer Objekte bzw. artifizierlicher Produkte, etwa diskreten Artefakten,¹³⁸⁸ auch Wissensobjekte (knowledge objects).¹³⁸⁹ Natürlich steht die Frage

¹³⁸³ Vgl. hierzu auch Riche (2007).

¹³⁸⁴ Im Sinne *formaler Ontologie* gilt für Whitehead, dass alle Dinge *Vektoren* sind: »All things are vectors«, vgl. Whitehead (1929a: 309), was indessen nicht von ihrer materiellen Seite abstrahiert: Form ist in der Materie, genauso wie Form materiell gegeben sein kann, allerdings nicht notwendig.

¹³⁸⁵ Vgl. M. Weber (2007: 262; 2011: 131).

¹³⁸⁶ Vgl. hierzu etwa Rapaport (1991).

¹³⁸⁷ Vgl. etwa Pattee (1995), Olson (1997), Shanken (1998), Froese/Gallagher (2010) sowie Fahmy (2014).

¹³⁸⁸ Vgl. etwa R. Weber (1987, 2003b), Simons (1995a), Simons/Dement (1996), Borgo/Carrara et al. (2006), Borgo/Franssen et al. (2009) oder Mizoguchi/Kitamura (2009); neben den hier in erster Linie gemeinten *immateriellen* resp. *digitalen* Artefakten sind auch *physische Artefakte* zu berücksichtigen, vgl. zu letzteren etwa Vieu et al. (2008: 124 f.) oder Borgo/Spagnoletti et al. (2013).

¹³⁸⁹ Vgl. hierzu Borgo/Pozza (2009).

der integrativen Behandlung verschiedenster Objekttypen, insbesondere solcher artifizierlicher Art, wiederum im Zeichen der Realismusdebatte; hier ist insbesondere auf den *ontologischen Realismus* zu verweisen.¹³⁹⁰ Analog sind etwa die Identitätsbedingungen für sämtliche Objekttypen, also auch für Artefakte, zu klären.¹³⁹¹ Insgesamt zeigt die neue Debatte um die metaphysische Berücksichtigung von Artefakten, dass *wissenschaftliche* Metaphysik nicht auf eine *naturalistische* Metaphysik reduzierbar ist,¹³⁹² sondern dass diese vielmehr im Zeichen des gesamten Wissenschaftskomplexes zu stehen hat: aller Erfahrungswissenschaft, aller Strukturwissenschaft, aller wissenschaftlichen Philosophie und selbstverständlich auch aller Technologie und Praxis.¹³⁹³ Diese Sichtweise ist allein schon in der notwendigen *Einheit allen Wissens* wie wissenschaftsprogrammatisch auch in einer transdisziplinären *Einheit aller Wissenschaften* angelegt, auf die jede techno-wissenschaftliche Metaphysik ihrer Natur nach zielt. Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* stehen im Engineering-Kontext solche Artefakte im Fokus. Auch sind dabei die genannten Wissensobjekte von Relevanz, etwa in Hinsicht auf eine ontologisch belastbare Klassifikation *technologischer Wissens*,¹³⁹⁴ wie auch in dessen Kombination mit *wissenschaftlichem Wissen*, etwa in Gestalt naturwissenschaftlicher Domänenontologien oder Rechtsontologien usf.¹³⁹⁵

Eine integrierte Ontologiekonzeption muss so beschaffen sein, dass sie mit diesen verschiedenen Objekttypen in integrativer Weise umzugehen versteht: Sie muss Husserls subjektivistische Ontologie genauso inkorporieren können wie die modale AI-Ontologie; sie muss die in den letzten Jahren wiederholt geforderte *Ontologie der Artefakte* (Ontology of Artifacts) berücksichtigen,¹³⁹⁶ genauso wie selbstverständlich ihr klassisches Pendant der *Ontologie der Natur*, auf die etwa das durch B. Smith verfochtene Ontologiekonzept mit seinen *Scientific Ontologies* in erster Linie zielt. Dieser Fokus auf wissenschaftliche Ontologien erfordert wiederum vollkommen andere Wahrmacher (Truthmaker) als etwa das Ontologiekonzept Guarinos, das in seiner ingenieurwissenschaftlichen Prägung auf *technologische Ontologien* abstellt, die sich auf *Engineering Artefakte* beziehen. Dies gilt analog für zahlreiche Ansätze zu Engineering Ontologien,¹³⁹⁷ die wie alle vorgenannten Ontologiekonzepte und –typen für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* von grundsätzlicher Relevanz sind, wobei gerade auch diese auf wissenschaftlichen Ontologien aufbauen. Alle genannten Ontologieansätze sind in ihrem jeweiligen heterogenen Fokus berechtigt; problematisch sind allein ihre falschen metaphysischen Grundlagen sowie der Umstand, dass sie zueinander im Widerspruch stehen. Während die Heterogenität der Welten bestehen

¹³⁹⁰ Vgl. hierzu etwa Carrara/Vermaas (2009).

¹³⁹¹ Vgl. hierzu bereits E.J. Lowe (1983b).

¹³⁹² Vgl. zu entsprechenden Problemen einer solch *naturalistischen Metaphysik* bereits Thomasson (2009).

¹³⁹³ Vgl. zum notwendigen Einbezug von *Technologien* in die Philosophie bspw. Pitt (2013); es steht außer Frage, dass sich dieser vor allem auch auf die *Erste Philosophie*, mithin die Ontologie, beziehen muss.

¹³⁹⁴ Vgl. hierzu Vincenti (1990), insbes. pp. 207 ff.

¹³⁹⁵ Vgl. zur Abgrenzung dieser *Wissensarten* etwa Houkes (2009b), insbes. p. 312 ff.

¹³⁹⁶ Vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 4.6.

¹³⁹⁷ Vgl. etwa J. Benjamin et al. (1996), Borst et al. (1997), Kitamura (2006), Lin/Harding (2007), Sicilia et al. (2009) sowie Vermaas (2009).

bleiben muss, sind die beiden anderen Defekte zu beheben. Erforderlich wird somit eine ausdifferenzierte Ontologiearchitektur, die aus einem digitalmetaphysischen Guss besteht, und in ihrer CPST-Adäquanz von vornherein auf heterogene Welttypen zielt. Während der CPST-Hyperspace mit dem "*cyber-physical space*", dem "*thinking space*" sowie den "*social spaces*" vier Welttypen differenziert, zeichnet sich der technisch konkretisierte IoX-Hyperspace durch seine fünf IoX-Subsysteme (IoD, IoS, IoT, IoA, IoP) aus. Offensichtlich liegt die zweite AI-Generation mit ihrer Negierung der zentralen Funktion der Ontologie falsch. Denn sowohl die vier Welttypen als auch die fünf IoX-Subsysteme sind voll und ganz durch den Ontologiegedanken geprägt. In Verbindung mit der Differenzierung wissenschaftlicher, technologischer und praktischer Ontologietypen wie den verschiedensten Ontologiearten (CO, DO, MO, FO, TO, AO usw.) steht außer Frage, dass die Ontologiearchitektur der Informatik keinesfalls einseitig konzipiert sein kann, wie es indessen für alle bisher entwickelten TLO-Theorieanwärter zu konstatieren ist.

Vielmehr laufen die beiden oben genannten entscheidenden Einschränkungen, die das "Sowohl-als-auch" abverlangt, auf das Erfordernis einer omnipotenten *Top-level Ontologie* hinaus. Es geht um eine formale Top-level Ontologie, die zum einen so flexibel und universal ist, dass sie dieses "Sowohl-als-auch" überhaupt eröffnen kann, sich zum anderen aber so konkret und spezifisch darstellt, dass ihr dabei dennoch die Integration der verschiedenen Ontologietypen möglich ist. Inwiefern dies den bisher vorgelegten TLO-Theorieanwärtern im Einzelnen gelingt, ist in der Tiefe gesondert zu untersuchen. Es lässt sich hier jedoch mit Verweis auf die exemplarischen Ausführungen unter Pkt. 7.3 feststellen, dass es keinen einzigen TLO-Theorieanwärter gibt, der mit den disparaten Anforderungen des CPST- resp. IoX-Hyperspace auch nur annähernd zurechtkommt. Es gibt keinen TLO-Theorieanwärter, der CPS-adäquat ist. Es gibt auch keinen, der mit *Scientific Ontologies* im Sinne Poppers bzw. dem Falsifikationsprinzip korrespondiert. Auch gibt es keinen, der wissenschaftliche, technologische und praktische Ontologien zu integrieren versteht, was Grundvoraussetzung zur Behebung des zentralen Inkommensurabilitätsproblems ist. Es gibt auch keinen TLO-Theorieanwärter, der auf eine MAS/CAS-basierte Ontologiearchitektur abstellt bzw. im Zeichen einer hybriden Agentenarchitektur konzipiert ist. Allerdings verlangen moderne Computersysteme im *cyber-physischen "Reality Computing"* des IoX-Hyperspace alle genannten Aspekte, und zwar bereits jenseits von Superintelligenz. Mit anderen Worten ist der Stand der Ontologieforschung noch gar nicht reif für echtes *cyber-physisches "Reality Computing"*; vielmehr ging es darum nie. Denn die durch den linguistischen Ontologiegedanken geprägte Ontologiedebatte zielt im Grunde ausschließlich auf den Cyberspace. Wesentlich ist ferner die Erkenntnis, dass es einige wenige meta-ontologische Kriterien gibt, die doch lediglich eine "Entweder-oder-Entscheidung" zulassen. Auf diese vier *fundamentalen* meta-ontologischen Entscheidungen kommen wir in Pkt. 6.1 im Einzelnen zurück; hier seien sie kurz umrissen: erstens schließt das Votum für eine *Ontologie des Seins* eine *Ontologie des Werdens* aus; eine Substanzontologie kann

sich zwar – wie bei Husserls *formaler Ontologie* – als eine *prozessuale Substanzontologie* darstellen, hat aber als solche nichts mit einer *Prozessontologie* zu tun. Denn hier gibt es *keine Substanzen* mehr. Ob die Informatik – wie die Wissenschaft generell – solche selbstidentischen Substanzen benötigt, bleibt in Pkt. 6.1.1 zu klären.

Die zweite meta-ontologische "Entweder-oder-Entscheidung" bezieht sich auf den Widerstreit von *Form vs. Materie*. Jedes Eintreten für den *ontologischen Materialismus* leugnet die Existenz alles Immateriellen; während der *ontologische Immaterialismus* seine Umkehrung impliziert – nicht zu verwechseln mit dem *Antimaterialismus*, der zwar auf eine Negation der materialistischen These hinausläuft, aber gewiss nicht die Existenz materieller Objekte abstreitet. Insofern ist auch hier erkennbar, dass ein Antimaterialismus flexibler und universaler ist als ein strikter Materialismus oder strikter Immaterialismus, worauf in Pkt. 6.1.2 näher einzugehen ist. Eine dritte unvermeidbare "Entweder-oder-Entscheidung" besteht in der Frage, ob die Ontologie im Sinne techno-wissenschaftlicher Metaphysik *metaphysisch-empiristisch* zu konzipieren ist oder nicht. Wird dies verneint, ist es zwar möglich, die Ontologie auf einer Klassifikation gründen zu lassen, aber nicht auf einem rigorosen, wissenschaftsadäquaten Kategoriensystem. In dieser Hinsicht lässt sich sagen, dass nicht auf die techno-wissenschaftliche Metaphysik abstellende Ontologien nicht konkret und spezifisch genug sind. Denn sie können nicht solchen Ontologietypen gerecht werden, für die ein direkter Realitätsbezug ausschlaggebend ist und auf die Integration wissenschaftlichen Wissens abzielen. Das nämlich ist auf Basis eines einfachen Klassifikationssystems unmöglich, sondern verlangt nach einem transdisziplinär voraussetzbaren, wissenschaftsadäquaten Kategoriensystem. Dies ist in Pkt. 6.1.3 näher zu untersuchen. Schließlich ist als vierte "Entweder-oder-Entscheidung" die metaphysische Frage an sich zu klären; diese bezieht sich nicht auf den Aspekt, ob Metaphysik *möglich* ist (was in Pkt. 4.1 geklärt wird), sondern darauf, ob sie als Voraussetzung der Ontologie *notwendig* ist. Bekanntlich behauptet neben Wittgenstein und Carnap vor allem Quine, dass Ontologie möglich sei ohne Metaphysik. Anders gewendet, dass Ontologie nicht notwendig Metaphysik voraussetzt. Darauf kommen wir in Pkt. 5.1 im Zuge einer Quine-Kritik zurück. Indessen wird sich mit Pkt. 3.3 die Relevanz solcher Diskurse zeigen, wenn es um die aktuellen Ontologiebegriffe und –konzepte der Informatik und ihre teils bestehende Differenz zur philosophischen Ontologie geht. Dass diese Differenz notwendig zu nivellieren ist, wird sich mit Pkt. 3.2 ff. andeuten, nicht zuletzt mit dem in Pkt. 3.2.4 konstatierten Erfordernis zur Konvergenz der Ontologien in den einzelnen Arenen der Informatik.

3.2 Zur Rolle von Ontologien in PPRLT-integrierten IoX-Systemen

»In every discourse, whether of the mind conversing with its own thoughts, or of the individual in his intercourse with others, there is an assumed or expressed limit within which the subjects of its operation are confined. The most unfettered discourse is that in which the words we use are understood in the widest possible application, and for them the limits of discourse are co-extensive with those of the universe itself. But more usually we confine ourselves to a less spacious field. [...] Now, whatever may be the extent of the field within which all the objects of our discourse are found, that field may properly be termed the universe of discourse.«

— George Boole (1854: 30)

Semantisch interoperable *Closed-loop U-PLM-Systeme* laufen auf *integrierte Prozess- und Wissenssysteme* hinaus, die ihrerseits prototypische *PPRLT-integrierte IoX-Systeme* darstellen. Als solche bilden sie nicht nur das Beispiel sowohl für moderne ontologiegestützte Informations- als auch für Wissenssysteme schlechthin, sondern zeigen vor allem das Erfordernis ihrer Kombination auf. Mit Pisanellis et al. (2002: 125) Postulat, wonach »no computerized systems in this century will ever be designed without an ontological approach«, ist diese *IS/KS-Kombination* dabei vor allem in ihren ontologischen Konsequenzen zu durchdenken. Mit ihr zeigt sich nicht nur, dass es die unterschiedlichsten Ontologietypen und –arten gibt, sondern vor allem, dass sie im SEA-Sinne alle in einer zu orchestrierenden Wechselbeziehung stehen. Damit muss das Transdisziplinaritätsmoment gelten bzw. müssen alle Ontologietypen auf der gleichen fundamentalen Basis aufbauen, auf einer universalen Ontologie als oberster Referenzebene. Insofern gilt es in diesem Pkt. 3.2 ff. die unterschiedlichen Rollen zu klären, die Ontologien im Kontext der *IS/KS-Kombination* wie insbesondere in Bezug auf die Funktion der *Top-level Ontologie* besitzen. Das *U-PLM-Referenzszenario* hilft mitsamt dem PPR-Framework dabei, die multiplen Einsatzzwecke von Ontologien in solch integrativen Szenarien zu reflektieren und aufzuklären. Erst wenn die unterschiedlichen Rollen und Funktionen der Ontologie geklärt sind, lassen sich die tradierten Ontologiebegriffe und –konzepte der Informatik mit Pkt. 3.3 einer Kritik unterziehen. Entsprechend wesentlich ist U-PLM-Referenzszenario als Totalmodell. Die Konfusion in der Ontologiedebatte einschließlich einer gänzlich disparaten Auslegung des Ontologiebegriffs und widersprüchlichen Ontologiekonzepten geht tatsächlich vor allem darauf zurück, dass sich diese jeweils auf spezifische Anwendungsszenarien bezieht, ohne dabei die Zwecke anderer Szenarien in den Blick zu nehmen. Gilt es etwa mit der *IS/KS-Kombination* Informations- und Wissenssysteme nicht mehr separiert, sondern integriert zu behandeln, ändert sich das Ontologieverständnis genauso wie mit der damit erforderlich werdenden Integration konzeptueller und semantischer Modelle und somit des CM- und AI-Ontologieverständnisses. Diese wie andere Integrationserfordernisse sind im SEA/SEI-Kontext für die Informatik deshalb als wesensnotwendig vorzusetzen, indem sich das *Computing* mit McCarthy (1963a: 66) auf ein immer intelligenter werdendes Verhalten von Computern als *Reality Machines* bezieht. Es gilt damit das *Superintelligenzargument*, wobei nichtintegrierte Systeme der Realisierung von Superintelligenz zuwiderlau-

fen. Vor diesem Hintergrund wird mit Pkt. 3.4 eine Neudefinition des allgemeinen Ontologieverständnisses der Informatik unumgänglich, wobei diese durch das IMKO *OCF* charakterisiert ist. Auf seiner Basis läuft die Bestimmung des für die Informatik sachgerechten Ontologiekonzepts mit Pkt. 3.5 auf CYPO *FOX* als *integrierte Ontologiekonzeption* hinaus. Sie stellt die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf die adäquate Ontologiearchitektur.

Für die Bestimmung der Rolle von Ontologien in PPR-integrierten *Closed-loop U-PLM-Systemen* ist die in Pkt. 1.5 erörterte Ausgangstatsache wesentlich, dass U-PLM-Systeme in ihrem Kern als kombinierte resp. integrierte Prozess- und Wissenssysteme im IoX-Hyperspace zu verstehen sind. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hat somit gleichzeitig auf Prozess- wie auf Wissenssysteme abzustellen. Dadurch entsteht für die Informatik insofern ein Novum, als Ontologien nicht mehr strikt in die Verwendung zur konzeptuellen Modellierung einerseits, und ontologiebasierter komplexer U-PLM-Systeme (ODIS) andererseits unterteilt werden können. Mit U-PLM-Systemen als integrierten Prozess- und Wissenssystemen sind Ontologien in der Informatik nunmehr *einheitlich* zu denken, wie es zur Wahrung der inneren Konsistenz von konzeptuellen und semantischen Modellen auch insgesamt angezeigt ist. Dieses Postulat ist von größerer Konsequenz als es auf den ersten Blick erscheint. Denn Ontologien zur konzeptuellen Modellierung, bei denen *realistische* TLO-Ansätze wie die BWW-TLO oder die Sowa-TLO überwiegen, sind perspektivisch wie sachlich grundsätzlich verschieden von jenen, die im Allgemeinen im Kontext von ODIS-Ontologien für KR-Zwecke zum Einsatz gelangen. Diese sind vielmehr nicht zuletzt durch *linguistische* TLO-Ansätze wie DOLCE, SUMO oder Cyc UCO geprägt. Dabei ist evident, dass *realistische* und *linguistische* TLO-Varianten sich in inkomensurabler Weise gegenüberstehen, wenn letztere an der Alltagssprache und dem *Common Sense* festmachen, während erste im Sinne von Quines Naturalismus, Empirismus und Strukturalismus auf eine *wissenschaftlich* erfasste Repräsentation der Realität zielen.

3.2.1 Implizites Wissen und semantische Silos: Zur Funktion von Ontologien

»The overarching goal – whose significance we are only now beginning to understand – is to serve the ends of cumulativity (which means: preventing silos) in an era where the advance of scientific research is increasingly being mediated by computers, and thus increasingly subject to the influence of engineers whose incentives have sometimes been at odds with those of working scientists.«

— Barry Smith (2008a: 27)

Eine kritische Hinterfragung der These Pisanellis et al. (2002: 125), wonach computergestützte Systeme gegenwärtig und in Zukunft nur noch auf *ontologischer* Basis konzipiert werden bzw. zu konzipieren sind, sollte mit der generellen Funktion, die Ontologien für diese Systeme besitzen, beginnen. Wie im ersten Teil dargelegt, handelt es sich bei Ontologien um *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle*, die auf ein *intersubjektiv* bzw. *intermaschinell* geteiltes Verständnis von Agenten angelegt sind. Entsprechend sind sie im Sinne von Quines (1948) *ontologischer Verpflichtung* zu interpretieren; es handelt

sich dabei letztlich in allen Fällen um nichts weiter als um Vereinbarungen, zunächst unabhängig davon, ob ein linguistischer oder realistischer Ontologiebegriff, oder welche Art von Wahrheitskonzept zugrundegelegt wird. Über die einfache Begriffsexplikation hinausgehend zielen solche Vereinbarungen selbstverständlich vor allem darauf, semantische Informationen resp. Wissen für Zwecke eines intersubjektiv resp. intermaschinell geteilten Weltverständnisses zu übertragen. Ontologien bilden somit die semantische Basis für Interaktions- bzw. Kommunikationsprozesse, worin mit Grüninger/Lee (2002) ihr erstes Anwendungsfeld gegeben ist.¹³⁹⁸ *Top-level Ontologien* sind in diesem ersten Feld insofern unverzichtbarer Ausgangspunkt, als sie zum einen die grundlegenden Kategorien, zum anderen alle meta-ontologischen Aspekte determinieren, die Voraussetzung jeder umfangreichen semantischen Interoperabilität sind. Ihre metaphysische Bestimmtheit eröffnet mit der Geltung des metaphysischen Realismus auch objektives Wissen im Popperschen Sinne. Entsprechend sind Ontologien semantisch zuvorderst dadurch explizit spezifiziert, dass sie auf eine transdisziplinäre AI-Kernsemantik verweisen, die in Verbindung mit den TLO-Kategorien steht. Beides besitzt seinen Ursprung im Ratio-Empirismus der Metaphysik.

Solche Prozesse können sich als intersubjektive Variante zwischen Akteuren verschiedener Kontexte, zwischen Maschine und Mensch (M2H) oder im Sinne semantischer Interoperabilität intermaschinell (M2M) vollziehen.¹³⁹⁹ Mit Blick auf die M2M-Kommunikation sichern Ontologien auch die semantische Datenintegration; durch sie werden entsprechend Datensilos verhindert. Im Zuge dieses ersten Anwendungsfelds bilden sie darüber hinaus den zentralen Referenzpunkt für die konzeptuelle Modellierung. Mit Heller/Herre (2003b: 57) gilt: »In all of these fields a common ontology is needed in order to provide a unifying framework of communication«. Inhaltlich gesehen geht es bei diesen Bereichen oftmals um besonders komplexe Kontexte bzw. Domänen, wie sie gerade auch im Rahmen der *Smart Enterprise Integration* (SEI) gegeben sind. Sie erfordern eine identische Beschreibung und ein einheitliches Verständnis, das gerade in verteilten Umgebungen keine Ambiguitäten zulassen sollte. Entsprechend muss jede domänenspezifische Ontologie einschließlich der Kernontologien auf eine Top-level Ontologie referenzieren, welche die allgemeinsten, domänenübergreifenden Kategorien der Realität beschreibt.¹⁴⁰⁰ Dazu ist eine entsprechend axiomatisierte Referenzbasis unabdingbar.¹⁴⁰¹ – In allen Fällen geht es um eine *formale Ontologie*, d.h. um eine Ontologie, die in einer logischen Form aufbereitet ist.

¹³⁹⁸ Vgl. hierzu auch Vegetti/Gonnet et al. (2011).

¹³⁹⁹ Bereits aktuelle industrielle M2M-Kommunikationsprotokolle wie OPC UA zielen in ihrer neuesten Spezifikation nicht nur darauf, Maschinendaten (Prozesswerte, Messwerte, Parameter usw.) lediglich zu transportieren, sondern sie auch maschinenlesbar *semantisch* zu beschreiben. Darüber hinaus normt die OPC UA die Services auf SOA-Basis. Es ist abzusehen, dass sich diese Entwicklung im *industriellen IoX* weiter fortsetzen wird: Umfassende Standards für die *Smart Factory* wie die Normenreihe IEC 61987 liefern die für die *Semantik* nötigen Festlegungen. Allein auf der Grundlage einer solch semantischen Basis können Einheiten wie Maschinen, Halbfabrikate oder Produkte in der vernetzten Umgebung der Smart Factory selbständig Informationen über sich liefern, vgl. hierzu etwa VDI-Z (2014: 6).

¹⁴⁰⁰ Vgl. Heller/Herre (2003b: 58).

¹⁴⁰¹ Vgl. Kusnierczyk (2006).

Damit lässt sie sich auch grundsätzlich problemlos in eine maschinenverständliche Variante bringen. Diese eröffnet dann im Zuge der formalen Wissensrepräsentation die Möglichkeit des automatischen logischen Schließens (Inferenz), das mit Grüninger/Lee (2002) das zweite ontologische Anwendungsfeld markiert. Im Rahmen der *Smart Enterprise Integration* gehören PPR-Ontologien und Engineering Ontologien neben der M2M-Kommunikation insbesondere in diesen Bereich. Bspw. kommen kombinierte Produkt-, Prozess- und Ressourcenontologien zum Einsatz, um entsprechende Simulationsläufe oder Planungsberechnungen durchführen zu können. Im Zuge der Inferenz als AI-Kern kann erst die *Top-level Ontologie* McCarthys (1995) "*general world view*" ermöglichen, womit sie für zukunftsweisende AI-Systeme unerlässlich ist. Hier ist nicht nur auf die kognitive Robotik und Cyber-physische Systeme (CPS) bzw. CPPS zu verweisen, sondern insgesamt auf den Zusammenhang der *Smart Enterprise Integration* (SEI), der mit einer entsprechenden *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bzw. einer korrespondierenden *Enterprise Ontology* im Zeichen globaler Intelligenz als Grundvoraussetzung zur Realisierung superintelligenter Systeme zu erachten ist. Diese Superintelligenz basiert maßgeblich auf zwei Aspekten: erstens auf einem stabilen Fundament, das sich auch hier mit Verweis auf Pkt. 4.1, Pkt. 6.1 ff. sowie Pkt. 6.2 ff. allein auf Grundlage eines adäquaten Kategoriensystems wie der erforderlichen meta-ontologischen Dispositionen gewährleisten lässt. Diese setzen entsprechend eine *realistisch-metaphysische Top-level Ontologie* voraus. Nur auf einem solch stabilen Fundament ist im Zeichen der Heavyweight-Ontologie sicheres Schließen bei kritischen Prozessen komplexer Systeme möglich. Zweitens auf der damit unmittelbar korrespondierenden systematischen Verknüpfung der verschiedensten Ontologien, Ontologiearten bzw. -typen, die mit Verweis auf Pkt. 3.5 allein auf Basis einer *integrierten Ontologiekonzeption* möglich wird.

Jedes sachgerechte *Ontology Engineering* klärt zunächst die grundlegendsten Fragen und damit den Aspekt der fundamentalen Ontologie, selbst wenn es sich um das Engineering von Domänen- oder Anwendungsontologien handelt, die nur in isolierten bzw. speziellen Kontexten Verwendung finden. Hierzu gehören etwa Fragen hinsichtlich der verwendeten Kategorien und ihrer Natur, der Transformation von Objekten in Zeit und Raum usw. Insofern sollten *Top-level Ontologien* immer den grundsätzlichen Bezugspunkt des *Ontology Engineering* bilden, und entsprechend sollte auch im Zuge einer einfachen Wissensrepräsentation immer ein Top-Down-Ansatz gewählt werden, der mit der Top-level Ontologie als maßgeblicher Referenzebene beginnt. Mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 muss also die *Top-level Ontologie* den eigentlichen OE-Ansatzpunkt bilden; mit ergänzendem Verweis auf Pkt. 4.1 muss es sich dabei um eine *realistisch-metaphysische Top-level Ontologie* handeln, die im Zeichen des Ratio-Empirismus einer techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* steht. Auf diese Weise ist hinsichtlich aller grundlegenden Fragen auch von Anfang an eine *transdisziplinäre Wissensrepräsentation* gesichert, indem sich sämtliche speziellen Ontologien auf die *Top-level Ontologie* als Referenzebene beziehen. Diese

gewährleistet damit im Sinne der Komplexitätsreduktion, dass an die Stelle der gerade durch den Einsatz von Ontologien verhinderten Datensilos keine neuen, nämlich *semantische Silos* treten.¹⁴⁰² Auf diese Weise wird auch die *Wiederverwendung von Wissen* vereinfacht, worin mit Grüninger/Lee (2002) das dritte Anwendungsfeld von Ontologien besteht. Bereits heute hat sich in Praxis und Wissenschaft quer durch alle Disziplinen eine große Vielzahl spezifischer Ontologien herausgebildet, die ohne die Bezugsmöglichkeit auf eine übergeordnete TLO-Referenzontologie isoliert bleiben müssen und somit dem Austausch und der Wiederverwendung von Wissen grundsätzlich entgegenstehen. Indem gerade in der unproblematischen Wissensteilung und Wissenswiederverwendung der zentrale Unterschied zwischen dem tradierten *Knowledge Engineering* (KE) und dem modernen *Ontology Engineering* (OE) besteht,¹⁴⁰³ sollte der herausragende Stellenwert der TLO-Referenzontologie im OE-Kontext eigentlich außer Frage stehen.

Alle drei genannten zentralen Anwendungsfelder zum Einsatz von Ontologien sind für computergestützte Systeme im Allgemeinen und für U-PLM-Systeme im Besonderen von höchster Relevanz. Dabei ist das erste im Sinne der konzeptuellen Modellierung bzw. der Informationsmodellierung im Grunde für sämtliche Informations- und Wissenssysteme notwendig vorauszusetzen. In U-PLM-Systeme als integrierte Prozess- und Wissenssysteme sind zum einen eine Vielzahl menschlicher wie maschineller Agenten involviert, die in unterschiedlichen Kontexten tätig sind, etwa in unterschiedlichen Phasen des PLC, auf unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungskette bzw. in unterschiedlichen organisatorischen Einheiten, in verschiedenen geographischen Räumen etwa mit unterschiedlichen Maßeinheiten und differierenden Sprachen. Oder etwa in industrieübergreifenden Kontexten, in denen bestimmte Begriffe prinzipiell disparate Bedeutungen aufweisen können. Insofern werden einheitliche Weltmodelle als Basis von Interaktions- resp. Kommunikationsprozessen für U-PLM-Systeme essentiell, denen mit Blick auf die phasenübergreifende PLC-Steuerung eine elementare Bedeutung zukommt.

Demgegenüber spielen das zweite und dritte Anwendungsfeld bei intelligenten Informationssystemen eine zunehmend bedeutende Rolle und sind bei Wissenssystemen ebenso selbstverständlich. Insofern ist die oben ins Feld geführte These Pisanellis et al. (2002: 125) positiv zu bestätigen. Dies gilt vollumfänglich in ganz besonderer Weise für Closed-loop U-PLM-Systeme als IoX-Systeme im IoX-Hyperspace. Denn für diese ist eine phasenübergreifende konzeptuelle Modellierung gleichermaßen unverzichtbar wie weitreichende ontologiegestützte Interaktions- und Kommunikationsprozesse zwischen Agenten bzw. Agentenklassen (IoA, IoP). Es steht außer Frage, dass für U-PLM-Systeme als Integrationsplattform des Smart Enterprise die ontologiegestützte Datenintegration (IoD) von ganz besonderem Belang ist. Mit Blick auf sicherheitskritische Prozesse, der dafür notwendigen Prozessintelligenz und dem Ziel einer weitgehenden Automatisierung der Ab-

¹⁴⁰² Vgl. hierzu Smith/Ceusters (2010).

¹⁴⁰³ Vgl. hierzu Mizoguchi (2003a); vgl. dazu auch Schreiber (2008).

läufe gerade in umfassend integrierten IoX-Systemen sind die Wissensrepräsentation und die Inferenzfunktion als zweites Anwendungsfeld wegweisend. Ein automatisches logisches Schließen stellt für Workflows und Web Services (IoS) bei kritischen Prozessen eine entscheidende Option dar, wenn es gilt, überlegene Prozesse zu realisieren. Analoges trifft auf die Nutzbarmachung komplexen Produktwissens zu, das die sachgerechte Repräsentation naturwissenschaftlichen Domänenwissens inkludiert. Gerade dieses zweite Anwendungsfeld von Ontologien zielt bei Cyber-physischen Systemen (CPS) damit nicht nur auf technologische Ontologien (IoT). Vielmehr ist dies genauso bei wissenschaftlichen Ontologien der Fall, wenn es gilt, umfassendes, insbesondere sich dynamisch weiterentwickelndes naturwissenschaftsbasiertes Domänenwissen in den jeweiligen Industrien zu nutzen, auszuwerten und auf seiner Basis neues anwendungsnahe Wissen zu generieren.

Das dritte Anwendungsfeld ist mit der Wiederverwendung von Wissen gerade besonders für Closed-loop U-PLM-Systeme von strategischer Relevanz, etwa wenn es um Simulationen, variantenreiche Produkte, verwandte Modellreihen oder schließlich um neue Modellzyklen geht. Hier wird Wissen von Zyklus zu Zyklus dazu wiederverwendet, um Fehler zu reduzieren, Entwicklungsprozesse zu beschleunigen, Kosten zu senken oder die Flexibilität zu erhöhen. Insgesamt gesehen machen komplexe U-PLM-Systeme in ihrer Eigenart als Integrationsplattform des Smart Enterprise und als integrierte Prozess- und Wissenssysteme demnach ohne eine *Ontologie komplexer IoX-Systeme* genau genommen wenig Sinn. Die These Pisanellis et al. (2002: 125) trifft also auf diese IoX-basierten Systeme in ganz besonderer Weise zu. Die formale Wissensrepräsentation auf Basis von Ontologien besitzt gerade bei global verteilten Entwicklungsprozessen, wie sie für PLM-Systeme charakteristisch sind, eine elementare Funktion,¹⁴⁰⁴ die mit den oben genannten Interaktions- und Kommunikationsprozessen als erstem Anwendungsfeld von Ontologien in direkter Weise korrespondiert: Neben semantischen Konventionen ist ein geteiltes Weltverständnis mit Pisanelli et al. (2003) und im Sinne Polanyis (1967) davon abhängig, dass implizites Wissen (tacit knowledge), das häufig die Ursache potentieller Missverständnisse ist, auf der Grundlage von Ontologien in eine *explizite* Form überführbar ist.¹⁴⁰⁵ Es ist gerade dieses implizite Wissen, das für Engineeringprozesse von zentraler Bewandnis ist,¹⁴⁰⁶ während es andererseits allein schon deshalb so weit wie möglich in explizites Wissen zu überführen ist, indem in typischen PLM-Industrien wie der Medizintechnik oder der Luft- und Raumfahrt es schon regulatorische Vorschriften in dieser Weise verlangen. Damit muss es jedoch den Status objektivierte oder gar objektiven Wissens aufweisen.

Implizites Wissen ist subjektives Wissen; es ist im Popperschen Sinne gerade nicht vom W2-Agenten abgelöst, wie es bei Wissen als W3-Artefakt gegeben ist. Implizites Wissen ist also W2-Wissen und im Sinne der kognitiven Wissensgenerierung durch Agenten elementar. Es ist jedoch in Bezug auf die in Pkt. 6.2.8 behandelten Wahrmacher als solches

¹⁴⁰⁴ Vgl. hierzu Ouksel/Sheth (1999); vgl. zu PLM-Systemen als *verteilten Systemen* Luh et al. (2010).

¹⁴⁰⁵ Vgl. hierzu speziell Beijun/Jian (2010).

¹⁴⁰⁶ Vgl. etwa Nightingale (2009).

defizitär. Wissen als W3-Artefakt, also intersubjektiv objektiviertes Wissen oder methodologisch raffiniertes objektives Wissen, basieren auf anderen Wahrmachern, die eine vom Subjekt abgelöste Ontologie eröffnen. Explizites Wissen ist auch für W2-Ontologien kennzeichnend, jedoch meint dies dann P.M.S. Hackers (2004a) *Ontology of Belief* oder Searles (1999) *first-person ontology*; es bezieht sich also auf den expliziten Teil der Agentenwelt, des subjektiven *Belief Systems*. Mikas (2007) Idee des "*ontologies are us*" ist indes analog zu Searles (1999) *third-person ontology* anders gelagert; es geht um intersubjektives und damit um objektiviertes, nicht jedoch um methodologisch geprüftes objektives Wissen im Popperschen Sinne. Bezöge man Mikas (2007) "*ontologies are us*" auf P.M.S. Hackers (2004a) *Ontology of Belief*, würde es sich um auf Konsens beruhendes Wissen handeln, das weiter an Subjekte gebunden ist. Indessen geht es bei ersterem um *Web Semantics*; damit ist klar, dass es sich um in Repräsentationssprachen formalisierte W3-Artefakte handelt. Bei Mika et al. (2004) stehen etwa OWL-S und die DOLCE-TLO im Fokus. Objektiviertes Wissen ist dann *Common Sense Knowledge*, oder anderes, praktisch im Konsens geteiltes Wissen, etwa betriebliches, industrielles bzw. technisches Wissen, wie es mit den Konventionen bei OWL-S deutlich wird. Für die Informatik ist damit die Differenzierung Poppers adäquat,¹⁴⁰⁷ indem formale Ontologien grundsätzlich W3-Artefakte darstellen.

Es steht außer Zweifel, dass implizites Wissen als W2-Wissen zwar im Sinne des lokalen Agenten für das U-PLM-Referenzszenario wesentlich, jedoch keinesfalls hinreichend ist. Vielmehr gibt es hier ganz unterschiedliche relevante Wissensarten; Hackers, Mikas und Poppers Ontologie- bzw. Wissensverständnisse sind also simultan in eine einheitliche Ontologiearchitektur zu bringen, indem dies praktisch für das Referenzszenario in genau dieser Weise erforderlich ist. Das relevante Wissen von oberstem Rang ist jedoch das Poppersche objektive Wissen, wenn es um wissenschaftsnahe bzw. forschungsstarke Industrien wie die Biotechnologie oder die chemische Prozessindustrie als PLM-typische Industrien geht. Insofern ist Wissen als W3-Artefakt in Bezug auf die ontologischen Anforderungen entscheidend, genauso wie es auch für Ontologien im wissenschaftlichen Bereich gilt. Dieser besondere Status des objektiven Wissens, der unmittelbar mit dem Popperschen Moment stetiger Falsifikationsversuche zu tun hat, wird in der bisherigen AI-Debatte kaum in der erforderlichen Weise bedacht. Ebenso nicht der Umstand, dass diese Falsifikationsversuche auf Basis maschineller Agenten bei einer sachgerechten transdisziplinären Ontologiearchitektur weitgehend automatisierbar sind, was prinzipiell eine bisher unerreichte Wissensgüte eröffnet. Implizites Wissen ist für den einzelnen isolierten lokalen maschinellen Agenten genauso wie implizites Lernen typisch und hier dann problemlos, wenn dieser einer *Belief Revision* unterziehbar ist. Denn nicht alles lokal Erlerntes muss im Gan-

¹⁴⁰⁷ Das geht mit Pkt. 5.3 in Richtung der Bungeschen materialistischen Polemik gegen die Poppersche Welt 3. Wissen kann im Bungeschen Materialismus nicht von denkenden Gehirnen abgelöst sein, und auch AI-Ontologien macht Bunge an ihrer materialistischen Basis fest. Für Popper, der wie Leibniz und Whitehead in der platonistischen Tradition steht, geht es hingegen um den Grundstoff *Information* mit samt des Prinzips kausaler Wirksamkeit.

zen gesehen richtig sein, wobei ein kurzes Gedankenexperiment weiterhilft: Wenn im IoV-Szenario alle autonomen Fahrzeuge alles Wissen als implizites Wissen in unterschiedlichen lokalen Kontexten und Situationen über eine bestimmte längere Zeitsequenz selbst erlernen würden, müsste am Ende die Wissensbasis zwar in vielen Hinsichten übereinstimmen. Sie wäre indes aufgrund ihrer lokalen Situations- und Kontextbezogenheit nicht die gleiche; und bzgl. der Interaktion der Fahrzeuge problematisch. Vor allem wäre das Wissen bloß ein induktives, nicht ein deduktives, was sich ergänzt, nicht substituiert.

Heute spricht man von *implizitem Wissen* bzw. von *tacit knowledge*, während Polanyi (1967) im Original primär "*tacit knowing*", teils auch "*tacit thought*" meint, auch wenn er nachgeordnet explizit einen *ontologischen* Aspekt ableitet.¹⁴⁰⁸ Es meint bei Polanyi (1967) eher eine *Könnerschaft* denn einen Wissensstatus.¹⁴⁰⁹ In seinem AI-Verständnis gilt es damit auch hier wiederum, mit Verweis auf die Theorie der multiplen Intelligenzen bei Thurstone (1938) bzw. H. Gardner (1983) zwischen *perzeptiver* und *kognitiver* Intelligenz zu unterscheiden. Denn das "*tacit knowing*" gilt tatsächlich nicht kognitiven Strukturen, sondern mentalen Prozessen, wobei vor allem der Wahrnehmungsapparat im Vordergrund steht. Es geht also auch hier wiederum allein um spezifische Modi, wobei die Theorie der multiplen Intelligenzen H. Gardners (1983) in ihren Differenzierungen die bessere Wahl ist als Thurstone (1938), indem sie etwa eine *körperlich-kinästhetische Intelligenz* ("*bodily-kinesthetic intelligence*") abgrenzt. Tatsächlich bezieht sich das "*tacit knowing*" Polanyis (1967) im Sinne der Könnerschaft auf mentale Prozesse, vor allem auf motorische Fertigkeiten, taktische Kompetenzen bzw. die intuitive Performanzregulation. Erst am Ende stellt Polanyi (1967) den Bezug zwischen Können und Wissen her. Für den eigentlichen Status des impliziten Wissens entscheidend ist gerade der Umstand, dass diese Prozesse bzw. diese Könnerschaft entweder gar nicht oder nur sehr bedingt explizierbar ist. In Bezug etwa auf die körperlich-kinästhetische Intelligenz ist dies der Fall und im Allgemeinen auch unproblematisch. Problematisch ist hingegen, dass ANN-Ansätze in der AI-Disziplin weit darüber hinausgehen; sie gelangen vielmehr in den kognitiven Bereich, wo es sehr wohl eine reflexive Intelligenz gibt, die primär relevant ist. Ein U-PLM-relevantes Beispiel bildet ein erlernter Wartungsprozess, der eigentlich ganz oder zum Großteil explizierbar ist. Es geht dann auch tatsächlich um implizites Wissen, das lediglich nicht expliziert wird.

Prinzipiell explizierbares implizites Wissen, das im diesem Status verharrt, ist in industriellen, wissenschaftlichen, wie in sicherheitskritischen Agentenkontexten von hochproblematischer Natur. Es gibt nicht umsonst die zahlreichen regulatorischen Vorschriften, die für die Medizintechnik und viele andere kritische Bereiche charakteristisch sind. Da im Grunde alle AI-Anwendungen, insbesondere im "*Reality Computing*" als kritisch einzustufen sind, relativiert sich der große Stellenwert, dem das implizite Wissen eingeräumt wird,

¹⁴⁰⁸ Vgl. Polanyi (1967: 13): »From the three aspects of tacit knowing that I have defined so far - the functional, the phenomenal, and the semantic - we can deduce a fourth aspect, which tells us what tacit knowing is a knowledge of. This will represent its *ontological* aspect«, Hvh. im Orig.

¹⁴⁰⁹ Vgl. dazu Neuweg (2004).

in vielen Hinsichten. Natürlich bleibt es für viele praktische Anwendungen, etwa im Deep Learning, elementar. Dennoch muss gesehen werden, dass implizites Wissen im Ganzen betrachtet kein vorteilhaftes Wissen ist. Denn es kann gerade nicht *argumentativ-reflexiv* mit anderem Wissen verknüpft werden, denn ansonsten wäre es explizierbar bzw. expliziert. Wie bereits bei Brooks, so ist auch in dieser Sache strikt zwischen perzeptiver und kognitiver Intelligenz zu unterscheiden. Schon die sieben intellektuellen Primärfaktoren bei Thurstone (1938) indizieren, dass implizites Wissen keinesfalls für alle AI-Zwecke ausreichend ist. Gerade in Bezug auf ASI-Intelligenz ist vielmehr eine Bedürftigkeit des impliziten Wissens zu konstatieren. Denn es bedarf der Hilfe von Ontologien, um es in explizites Wissen zu transformieren. Thurstones Primärfaktor des *Reasoning* hat viel mit Superintelligenz zu tun, indem er auf eine reflexive Intelligenz weist. Dann aber muss das Wissen gerade *argumentativ-reflexiv* mit anderem Wissen in möglichst transdisziplinärer Einheit verknüpfbar sein, um das Leibnizsche Ideal der *Einheit der Erkenntnis* realisieren zu können. Auch wenn es in Bezug auf andere intellektuelle Primärfaktoren seine Vorteile besitzt und somit insgesamt wesentlich ist, bleibt doch eine Misere des impliziten Wissens zu konstatieren. Die herausragende Bedeutung der Ontologien geht nicht zuletzt darauf zurück, dass sie in der Informatik den einzigen Ausweg aus dieser Misere bilden. Dabei hat dieser Ausweg wesentlich mit der Überwindung des in Pkt. 1.2 dargelegten Kernproblems zu tun, nämlich mit dem Inkommensurabilitätsproblem, das nur scheinbar bloß ein semantisches, in Wahrheit jedoch ein metaphysisches Problem darstellt.

Die Explikation des impliziten Wissens ist damit in allen relevanten Bereichen ein wichtiges Ziel in cyber-physischen IoX-Systemen. Sie ist natürlich nur in einigen, nicht in allen Fällen erforderlich. Je mehr jedoch einzelne Roboter bzw. Agenten unmittelbar zu synchronisieren sind, wie es im IoV-Szenario der Fall ist, desto mehr besteht dieses Erfordernis. In dieser Hinsicht besteht somit ein grundsätzlicher Unterschied zwischen einem isolierten Roboter und solchen, die auf MAS-Basis operieren. Denn bei intelligenten kognitiven Robotern geht es nicht nur um die Reaktion, sondern auch um die Antizipation des Verhaltens anderer Subjekte. Im Referenzszenario ist darüber hinaus die Explikation des impliziten Wissens auch im Rahmen PLM-basierter Innovationsprozesse von Relevanz.¹⁴¹⁰ Damit wird eine Objektivierung der Erkenntnis resp. des Wissens erforderlich im Sinne einer Transformation subjektiver Erkenntnis resp. Wissens in objektive Erkenntnis resp. Wissen. Ein solcher Übergang ist als eine *ontologische* Transformation zu verstehen, für die wiederum ein *integriertes Ontologiekonzept* unverzichtbar ist. Die Ontologiearchitektur von CYPO FOX steht mit Pkt. 3.5 somit nicht nur unter Kausalitäts- und Realitätsaspekten wie in der Differenzierung emergentischer Welttypen in Popperscher Tradition, sondern auch mit Blick auf die Natur des Wissens und entsprechend in methodologischer Hinsicht.

Mit einer solchen Explikation bzw. Objektivierung subjektiven Wissens, die naturgemäß über die einheitliche Referenzebene der Top-level Ontologie führt, wird eine globale

¹⁴¹⁰ Vgl. Trotta (2010), insbes. p. 312.

Wissensteilung möglich, ohne dass dabei eine direkte Austauschbeziehung zwischen Subjekten notwendig ist. In der Tat sind komplexe PLM-Systeme vor allem durch indirekte Austauschbeziehungen gekennzeichnet, die für ihre fehlerfreie Funktion gerade die genaueste Explikation der jeweiligen Informationsbedeutung wie insgesamt eine konsequente Objektivierung subjektiven Wissens voraussetzen. Wie oben erwähnt, verlangt eine solche globale Wissensteilung aber auch gerade über die Ebene des Subjekts hinausgehend nach einem vereinheitlichenden Kontext für spezifischen Paradigmen verhaftete soziale Gruppen, etwa für einzelne Fachabteilungen. Im Hinblick auf PLM-Systeme geht es dabei konkret um gemeinsames Wissen sowie damit verbunden um eine gemeinsame Semantik, die über alle PLC-Phasen hinweg geteilt wird. Denn die beteiligten Akteure besitzen oftmals eine spezielle Wahrnehmung bzw. Sichtweise auf die PPR-Dimensionen und damit verbundene grundsätzliche Fragestellungen.¹⁴¹¹ Analoges gilt in zunehmendem Maße für einzelne Organisationen, die in interorganisationale PLM-Prozesse eingebunden sind. Sämtliche U-PLM-Prozesse sind immer im *Extended Enterprise* (EE) zu denken;¹⁴¹² die unter dem PLM-System zusammengefassten Applikationen manifestieren damit entsprechend *Extended Enterprise Applications* (EEA). PLM-basierte Produktentwicklungsprozesse (PDP) bzw. die Produktentstehungsprozesse insgesamt stellen also interorganisationale, entsprechend räumlich/zeitlich verteilte Prozesse dar, bei denen eine globale Kollaboration interner wie externer Organisationseinheiten im Fokus steht, d.h. ein sogenanntes *Cross Enterprise Engineering* (CEE).¹⁴¹³ Domänenspezifische Ontologien sollten deshalb Bezug auf Top-level Ontologien nehmen, um einen solchen vereinheitlichenden Kontext realisieren zu können.¹⁴¹⁴ Top-level Ontologien sollten, was vielfach verkannt wird, vor dem Hintergrund der notwendigen kategorialen Meta-Bestimmung der Objekte den allgemeinen, domänenunabhängigen Kern *jeder* technologischen Ontologie bilden.

3.2.2 Ontologien zur konzeptuellen Modellierung komplexer IoX-Systeme

»The conceptual modelling community not only has no clear, general agreement on what its models model, it also has no clear picture of what the available options and their implications are. One common claim is that models represent concepts, but there is no clear articulation of what the concepts are.«

— Chris Partridge/Cesar Gonzalez-Perez/Brian Henderson-Sellers (2013: 96)

Die *konzeptuelle Modellierung* hat mit der AI-Disziplin viel mehr zu tun, als es Teile der ersten AI-Generation sowie die zweite AI-Generation im Grunde insgesamt wahrhaben wollen. Mit Blick auf die dritte AI-Generation, die Intelligenz, Agenten, Ontologien und Wissen im Zeichen der eigentlichen Digitalmetaphysik erst im richtigen, umfassenden Sinne auslegt, ist sie demgegenüber elementar. Die konzeptuelle Modellierung bezieht sich

¹⁴¹¹ Vgl. auch Mostefai et al. (2008).

¹⁴¹² Vgl. etwa Le Duigou et al. (2009), Choi et al. (2010) sowie Mahdikhah et al. (2014).

¹⁴¹³ Vgl. zum damit verbundenen IoT-Kontext etwa Isenberg et al. (2011).

¹⁴¹⁴ Vgl. Degen et al. (2001: 45) sowie Heller/Herre (2003b: 57 f.).

immer auf Diskursuniversen, und diese müssen in der ANN-Sicht der zweiten AI-Generation gar nicht *ex ante* modelliert werden. Dabei handelt es sich bei den Diskursuniversen im Allgemeinen lediglich um Weltausschnitte, die nicht notwendig real, sondern genauso möglich oder fiktiv sein können. Im Umkehrschluss muss es dann aber auch ein "*Universe of Discourse of Anything*" geben können, das im kosmologischen Sinne zu verstehen ist. Wenn die Metaphysik die Disziplin ist, deren Gegenstand in der Klärung der fundamentalen Strukturen *realer* bzw. *möglicher* Welten besteht, dann ist das Diskursuniversum hier das "*Universe of Discourse of Anything*". Die Informatik übersieht im Allgemeinen die fundamentale Rolle, die die Metaphysik in Bezug auf ihre konzeptuellen Modelle besitzt. Sie modelliert regelmäßig Diskursuniversen, ohne dass diese Modelle in Bezug auf die Realitätsfrage oder die Natur der Entitäten näher reflektiert werden. Im besten Fall, wenn die konzeptuelle Modellierung direkt mit Ontologien in Verbindung gebracht wird, geschieht dies durch eine Referenz auf die Top-level Ontologie. Die BWW-TLO ist jene *Top-level Ontologie*, die mit großem Abstand regelmäßig als ontologischer Referenzpunkt der konzeptuellen Modellierung gewählt wird. Das liegt nicht zuletzt daran, dass hinter dieser eine wissenschaftliche Metaphysik steht, die die Ontologie im realistischen Sinne der *metaphysica generalis* auslegt. An sich ist diese Referenz auf die metaphysische Ontologie richtig, indem sich einzelne, interdependente Weltausschnitte nur dann insgesamt vereinbaren lassen, wenn auch Einigkeit bezüglich des "*Universe of Discourse of Anything*" besteht. Allerdings stellt sich somit wiederum die Frage nach der richtigen Metaphysik, was gerade im BWW-Fall mit der problematischen Referenz auf Bunge nötig ist.

Was das "*Universe of Discourse of Anything*" im Ganzen überhaupt ausmacht, ist unmittelbar durch die Metaphysik bestimmt. In aristotelischer Tradition geht es lediglich um materielle Entitäten einer *physischen* Realität, im platonistischen Sinne demgegenüber um die Existenz einer *cyber-physischen* Realität. Die Existenzfrage ist also im ersten Fall an Materie gebunden; im zweiten an das Prinzip kausaler Wirksamkeit, womit sie grundsätzlich informatorisch ist. Mit Verweis auf Pkt. 5.2 wird Materie bei Aristoteles zwar als Potenz/Möglichkeit aufgefasst, was mit dem in Pkt. 5.3 behandelten emergentistischen Materialismus Bunges konform geht. Dennoch darf nicht übersehen werden, dass alle Entitäten letztlich an ihre materielle Basis gekoppelt sind. Damit sind sie auch an die aktuelle Welt gekoppelt, woraus folgt, dass es jenseits davon keine *möglichen Welten* geben kann. Mögliche bzw. fiktive Welten, die in der konzeptuellen Modellierung durchaus eine Rolle spielen, lassen sich also genau genommen auf dieser Basis gar nicht behandeln. Das alles ist in der älteren platonistischen Tradition diametral anders, als das Existenzprinzip dazu auf dem Kopf steht. Zentral ist der Gedanke der Form bzw. Struktur; diese ist immer informatorisch zu verstehen. Die Frage ihrer materiellen Instantiierung ist zwar – gerade unter physikalischen Aspekten – wesentlich, jedoch in der *universalen* Perspektive, die die Metaphysik besitzen muss, nachrangig. Mit Blick auf die Cyber-Physik zeigt sich, was mit dieser universalen Perspektive gemeint ist, indem im Zeichen der platonistischen struktu-

ralistischen Denktradition Cyber-physische Systeme (CPS) als im Ganzen existierende Systeme problemlos konzipiert bzw. adressiert werden können, während dies im aristotelischen Schema gerade nicht möglich ist. Ferner ist Materie immer gegenständlich zu verstehen, woraus die endurantistische bzw. geometrische 3D-Sicht der Materie im Cartesischen Sinne folgt. Bei Whitehead handelt es sich dagegen im Zeichen des informatorischen Strukturalismus um eine formallogische, ereigniszentrische 4D-Sicht der Information.

Daraus folgt, dass die konzeptuelle Modellierung in der Informatik im Ganzen nicht verstanden ist, indem ihre metaphysischen Grundlagen unverstanden sind. Sie ist aber nicht nur an sich unverstanden, sondern gleiches gilt in Bezug auf ihre Funktion bzgl. des AI-Kerns der Informatik. Tatsächlich wird die Verbindung zwischen konzeptueller Modellierung und den AI-Technologien kaum gesucht, und das gilt sowohl in Bezug auf das linguistische Ontologieverständnis der ersten AI-Generation als auch auf die ANN-Ansätze der zweiten AI-Generation. Bei erster zählen im Gruberschen Sinne linguistische Konzepte aber keine konzeptuellen Modelle, während die Frage der fundamentalen Strukturen durch die Grammatikstruktur der Sprache mitsamt der Harmonie-These ersetzt wird. Bei letzterer erklärt sich die vermeintliche Irrelevanz der konzeptuellen Modellierung anders: Metaphysik als Disziplin zur *ex ante* Aufklärung der fundamentalen Weltstrukturen ist deshalb obsolet, weil dies die perzeptive Intelligenz oder aber der Heideggersche kognitive Agent selbst erledigt. Das Voraussetzen eines globalen Weltmodells im ratio-empirischen Sinne widerspricht gerade den metaphysischen Dispositionen der zweiten AI-Generation. Denn diese gehen gerade davon aus, dass die perzeptive Intelligenz bei Brooks wie der Heideggersche Agent diese Struktur bzw. das Rätsel, wie die Realität tatsächlich beschaffen ist, *ad hoc* in ihrer lokalen Umweltinteraktion selbst erlernen bzw. klären. Daraus folgt, dass jenseits ihrer umfänglichen metaphysischen Dispositionen, die sich etwa im Zusammenhang mit dem *Frame Problem* stellen, die Metaphysik im AI-Vollzug selbst völlig verzichtbar ist. Das gilt analog aus Sicht der ersten AI-Generation; ihre Relevanz besteht etwa mit dem *Frame Problem*, während der AI-Vollzug selbst die Ontologiefrage auf jene der Linguistik reduziert. Insofern ist sie auch hier verzichtbar.

Demgegenüber ist die Stellung der Metaphysik in der dritten AI-Generation eine völlig andere, und das geht unmittelbar auf Leibniz zurück. Die Unterschiede zur ersten und zweiten AI-Generation erklären sich aus deren Fehlern: was die erste AI-Generation betrifft, wird die linguistische Ebene bzw. die epistemische Ebene mit der ontischen verwechselt, was ein naives Ontologieverständnis zur Folge hat. Bei der zweiten AI-Generation wird demgegenüber die kognitive Ebene mit der epistemischen gleichgesetzt bzw. letztere auf erstere reduziert. Dass diese Reduktion ebenfalls verfehlt ist, zeigt der Umstand, dass das eigentliche Original einer universalen perzeptiven Intelligenz bzw. von Heideggers Agenten in der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik besteht. Denn ihre Automaten sind perzeptiv bzw. kognitiv; sie sind auch im Sinne der Popperschen Welt 2 der Quell allen Wissens. Jedoch ist dies allein die metaphysische Basis; es geht gerade nicht

um Epistemologie und Methodologie. Denn diese sind im Ganzen gewiss nicht auf dieser lokalen Ebene möglich, sondern gesondert davon im Zeichen globaler Intelligenz im Sinne der *Einheit der Erkenntnis* auf Basis der *Einheit allen Wissens*. In der dritten AI-Generation steht die Metaphysik im AI-Vollzug; denn es geht nicht um irgendeine Metaphysik, sondern mit der Digitalmetaphysik um die *Metaphysik der Informatik*. Dabei spielt sie eine völlig andere Rolle; sie ist nämlich nicht nur Ideengeber für ein AI-Verständnis, wie es in der ersten und zweiten AI-Generation der Fall ist. Vielmehr ist mit ihr zu postulieren, dass alle elementaren Konstrukte der Informatik systematisch von dieser digitalmetaphysischen Basis zu entwickeln sind. Das betrifft etwa die Realitätsfrage, oder aber das Verhältnis von Daten, Information und Wissen, jenes von Perzeption und Kognition oder die Frage der Beschaffenheit AI-basierter Cyber-physischer Systeme (CPS). Genau das können die Metaphysiken der ersten und zweiten AI-Generation nicht leisten, jene der dritten AI-Generation hingegen schon. Das ist mitnichten lediglich als Option zu verstehen; vielmehr wird die Informatik all ihre Probleme, die sie nicht nur in Bezug auf die Semantik- und Ontologieproblematik, sondern im *"Reality Computing"* insgesamt besitzt, ansonsten nicht lösen können. Je intelligenter bzw. integrierter die Systeme in der Informatik werden, desto mehr wird dieser Grundsatz die allgemeine Auffassung in der Disziplin bestimmen.

Der Unterschied zwischen erster, zweiter und dritter AI-Generation besteht also nicht in der Voraussetzung von Metaphysik für das jeweilige AI-Verständnis. Mit dem *Frame Problem* im ersten Teil ist bereits deutlich geworden, dass dies immer der Fall ist. Insofern gilt die Devise *"AI is metaphysics"* auf jeden Fall. Somit ist auch zwingend zu klären, in welcher Metaphysik die für die Informatik adäquate besteht. Die Losung *"AI is metaphysics"* betrifft in der dritten AI-Generation jedoch nicht nur das umfassende *Voraussetzen* von Metaphysik, sondern vielmehr den aktiven, fortwährenden *Vollzug* von Metaphysik, was eine grundsätzlich andere Qualität im AI-Verständnis besitzt. Dass dieser aktive Vollzug erforderlich ist, liegt in der metaphysischen Natur der Top-level Ontologie wie mit Pkt. 3.4 im IMKO *OCF* begründet. Es betrifft die These von der transdisziplinären AI-Kernsemantik, die über den Ratio-Empirismus der techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* gewonnen wird und im empiristischen Sinne mit Whitehead in ihrer kategorialen Natur einer ständigen Prüfung bedarf. Anders gewendet ist zu prüfen, ob die empiristische Universalsynthese weiterhin haltbar ist, oder ob sie im Zuge wissenschaftlichen Fortschritts sich etwas in der AI-Kernsemantik grundsätzlich verschieben muss. Indessen sind solche Sprünge höchst selten; etwa wenn die antike naturphilosophische Metaphysik durch die mechanistische Cartesische Metaphysik ersetzt wird, oder diese durch die organismische Whiteheadsche Metaphysik als metaphysisches Paradigma. Insofern ist auch die metaphysische Aufgabe mit Gracia (1999: 156) erneut zu sehen: »Metaphysicians want to know [...] how knowledge fits within the most general categories and is related to them«.

Diese Sprünge sind jedoch nicht nur wissenschaftlich, sondern durchaus auch technologisch bedingt. Mit 4DP-Verfahren, AI- und AL-Technologien, Cyber-physischen Systeme-

men (CPS) usf. verändert sich der Zuschnitt bzw. die Qualität der Realität als solcher. Es ändert sich also nicht das, was als Strukturpotenzial im platonistischen Entdeckungszusammenhang da ist, sondern was in der aktuellen Realität davon vergegenwärtigt ist. Die aktuelle Realität verändert sich im kausalen Sinne faktisch, wenn neue Entitäten im Zeichen *synthetischer Realität* auftauchen. Vor allem aber verändert sich das techno-wissenschaftliche *Realitätsverständnis* als solches, gerade auch für die Informatik, wenn mit Cyber-physischen Systemen nicht mehr zwischen dem physischen Raum und dem Cyberspace strikt differenziert werden kann oder auf Basis intelligenter Artefakte mit Pkt. 4.6 eine erweiterte Realität vorauszusetzen ist. Indem wiederum jedes sachgerechte *Systems Engineering* Cyber-physischer Systeme der *konzeptuellen Modellierung* bedarf,¹⁴¹⁵ ist das Erfordernis des fortwährenden *Vollzugs* techno-wissenschaftlicher Metaphysik im ratio-empirischen Sinne offensichtlich. Metaphysik ist somit nichts Statisches, sondern vielmehr mit-samt ihrer Epistemologie als fortwährender Prozess zu begreifen, der mit allen Struktur- und Erfahrungswissenschaften in einem zirkulären Ganzen steht. Dass die linguistische Ontologieauffassung der ersten AI-Generation genauso wie der ANN-Gedanke der zweiten AI-Generation keine Gegenargumente zum Vollzug der konzeptuellen Modellierung der Diskursuniversen wie zum Vollzug ratio-empirischer Metaphysik für das "*Universe of Discourse of Anything*" im Ganzen darstellen, ist auf folgende fünf Gründe zurückzuführen:

- (1) Der AI-Gedanke ist nicht am einzelnen Agenten, sondern an AI-basierten *Systemen von Agenten* festzumachen. Es geht um Multiagentensysteme (MAS) die ihrerseits mit der Agenteninteraktion als *Complex Adaptive Systems* (CAS) zu verstehen sind. Der AI-Gedanke muss sich primär an den Erfordernissen maschineller Agenten orientieren, nicht an den kognitiven Begebenheiten menschlicher Agenten. Für letztere kann prinzipiell das Autonomie- wie Autarkieprinzip gelten, für erste gilt es in der Regel nicht. Denn maschinelle Agenten erfüllen im Allgemeinen bestimmte Zwecke in universal zu verstehenden Produktionssystemen; damit unterliegen sie im Allgemeinen auch bestimmten Verfügungsrechten wie Produkthaftungsgesetzen. Mit anderen Worten ist die Idee eines menschengewordenen Roboters, V.C. Müllers (2007) "*Zombies*", die autark gegenüber jeder externen Möglichkeit zur *Belief Revision* sind, auch noch auf sehr lange Zeit mehr fiktiv denn real. Damit sind sie "*out of scope*". Natürlich besteht prinzipiell eine Gefahr, dass AI-Systeme durch Hackerangriffe außer Kontrolle geraten, aber das gehört in einen gesonderten Bereich.¹⁴¹⁶ Vielmehr ist davon auszugehen, dass den rechtlichen Aspekten der AI-Technologien hinsichtlich Verfügungsrechten, Schadenersatzfragen und Produkthaftung eine elementare Bedeutung zukommt. Intelligente Roboter mögen zwar juristisch zur "*elektronischen Person*" erklärt werden, was in Bezug auf Rechte und Pflichten und selbst für eine

¹⁴¹⁵ Vgl. Schätz (2014).

¹⁴¹⁶ Vgl. dazu Fn. 1159.

individuierte Haftung für Schäden auch wesentlich ist. Werden sie jedoch als solche registriert, dann führen sie kein rechtliches Eigenleben, sondern sind einem Nutzer bzw. Halter bzw. konkreten Institutionen zugeschrieben. Auch ist jenseits von *Science Fiction* davon auszugehen, dass jeder Roboter durch einen bestimmten Produzenten hergestellt ist;¹⁴¹⁷ es also eine konkrete Produkthaftung gibt. Entsprechend kommen bei mobilen Robotern Methoden des *tracking and tracing* ins Spiel, womit es unmittelbar um *globale Intelligenz* geht. Dann jedoch greift wieder der Systemgedanke, wie er mit *U-PLM-Systemen* im PEID-Sinne gegeben ist. D.h. der Hersteller ist für die technisch einwandfreie Funktion haftbar, und schon allein aus diesem Grunde muss die sensorische IoT-Anbindung im Sinne kontinuierlicher Wartung und technischer Überwachung gegeben sein. Um erneut das IoV-Szenario zu bemühen: es ist nicht so, dass ein vollautonomes Fahrzeug (SAE Level 5) im Sinne V.C. Müllers (2007) einfach "ausgesetzt" wird. Real im Sinne des Referenzszenarios ist vielmehr, dass eine OEM-Haftung besteht, während gleichzeitig spezifische Verfügungsrechte gegeben sind. Multiagentensysteme implizieren darüber hinaus das Erfordernis der Kompatibilität, der semantischen Interoperabilität usf.; dieses Koordinationserfordernis wird bei V.C. Müllers (2007) "Zombies" und ähnlichen Ansätzen isolierter Intelligenz in der zweiten AI-Generation ebenfalls außer Acht gelassen. Es sind nicht mehr als irrealer Denkszenarien, die in einer ohnehin nicht unkomplizierten AI-Debatte mehr Verwirrung denn Klarheit stiften, indem sie keine konkreten AI-Anwendungsszenarien verkörpern. Wenn jedoch tatsächlich der Systemgedanke immer greift, dann kann es in der AI-Disziplin nicht um isolierte Artifizielle Intelligenz gehen. Somit kann die allgemeine Leitlinie für die Informatik insgesamt nur darin gegeben sein, in allen AI-Fragen immer das systemische Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz zu adressieren. Das gilt umso mehr, als real gegebene Kontexte etwa bezüglich der Produkthaftung bei Robotern genauso wie ihre Optimierung gerade das *Erfordernis globaler Intelligenz* implizieren. Das spricht für das *U-PLM-Referenzszenario*, indem dieses sämtliche AI-Probleme in einem Ganzen greifbar macht. Demgegenüber führen fiktive Szenarien die AI-Debatte in die Irre, wie es die durch V.C. Müller (2007: 114) aus einem fiktiven Denkszenario abgeleitete Forderung nach Aufgabe des Gedankens *zentraler Repräsentation* offenbart. Vielmehr werden mit dem komplexen Systemgedanken genau umgekehrt der Aspekt *globaler Intelligenz* und damit der Gedanke *zentraler Repräsentation* entscheidend. Selbst ein einzelner Sensor oder Aktor wie ein Agent als deren adaptives Moment wird nicht einfach im Raum ausgesetzt. Richtig ist, dass sie als *relationale Smart Objects* in beständi-

¹⁴¹⁷ Fiktive Ideen wie energieautarke Roboter, die sich selbst reproduzieren und ein selbstbestimmtes Eigenleben bar jeder Kontrolle führen, werden für die nächsten Jahrzehnte kaum die allgemeinen Perspektiven noch das allgemeine Forschungsprogramm der AI-Disziplin ausmachen können.

ger Interaktion mit anderen Systemelementen begriffen sind, womit generell von *komplexen adaptiven Systemen* (CAS) im CPST-Hyperspace und technisch konkretisiert von *komplexen IoX-Systemen* im IoX-Hyperspace auszugehen ist.

- (2) Wenn es um AI-Agenten in Systemen geht, dann besitzen diese Systeme regelmäßig eine bestimmte Zwecksetzung. AI-basierte IoX-Systeme stellen sich als konkrete *Informations- und Wissenssysteme* bzw. als *Prozess- und Wissenssysteme* dar, wie es anhand des U-PLM-Referenzszenarios ersichtlich wird. Diese Systeme sind immer auf konkrete Diskursuniversen ausgelegt, die mithilfe der *konzeptuellen Modellierung* zu klären sind. Gleichzeitig geht es um Prozessintelligenz und damit um kombinierte Prozess- und Wissenssysteme. Diese Systeme lassen sich im Zeichen des *Systems Engineering* nicht ohne eine konzeptuelle Modellierung aufsetzen. Insofern lässt sich auch kein Roboter als Artefakt ohne diesen Schritt entwickeln. Denn es ist bereits zu klären, welche sensorischen, aktorischen und adaptiven Fähigkeiten der Roboter für welche Zwecke in seiner Umweltinteraktion besitzen muss, wie diese technisch auszulegen sind usw. Bevor in der AI-Disziplin über "Zombies" oder phantastische Mischwesen debattiert wird, sollte sie an ihren realen Problemen ansetzen und zunächst versuchen, diese in den Griff zu bekommen. Konkret bietet das U-PLM-Referenzszenario etwa mit der BOL-Phase der *Smart Factory* oder der MOL-Phase des IoV-Szenarios reale AI-Sachverhalte, bei denen teils selbst grundlegendste Fragen unbeantwortet sind. Es ist ein Szenario, das nicht nur den MAS/CAS-Gedanken direkt vergegenwärtigt, sondern auch lokale, regionale und globale Intelligenz in ihrer Wechselwirkung begreifbar macht. Autonomie von Agenten bedeutet nicht deren Autarkie. Auch superintelligente Agenten und mobile intelligente Roboter sind in diesem Referenzszenario im SEA-Kontext von ebenso direkter Relevanz. In diesen RTE-Systemen geht es um Koordination, Integration und Gesamterkenntnis – und somit um *globale Intelligenz*. Entsprechend ist die *konzeptuelle Modellierung*, wie es das Beispiel der *Smart Factory* gut veranschaulicht, für die AI-Disziplin elementar und bildet den ersten Ansatzpunkt der Systemintegration. Keine *Smart Enterprise Architecture* (SEA) ist im RTE-Konnex realisierbar ohne konzeptuelle Modellierung. Ungeachtet des Selbstorganisationsparadigmas, in dem AI-Agenten prinzipiell stehen, bleibt die konstitutive Rolle menschlichen Agenten vorbehalten; maschinelle Agenten sind ausführend in Prozessen und Services; sie liefern auch Hilfestellung beim Prozessdesign; sie legen allerdings weder die Strategie noch die Gesamtarchitektur fest.
- (3) Nicht zuletzt aufgrund des Inkommensurabilitätsproblems ist eine grundsätzliche Klärung des Realitätsverständnisses im einzelnen Diskursuniversum unabdingbar. Der metaphysische und epistemologische Realismus sind nicht nur methodologisch im Sinne des Fallibilismus vorauszusetzen, sondern vor allem

auch technologisch: die externe Welt ist im Sinne einer in die physische Realität eingebetteten synthetische Realität auf Basis objektiver Prinzipien gestaltbar. Daraus folgt, dass die These des Antirealismus nicht nur eine methodologisch sinnlose Voraussetzung darstellt, sondern auch faktisch nicht gelten kann. Gleichzeitig sind letztlich alle Diskursuniversen interdependent, indem es auch nur eine Realität gibt. Die Diskursuniversen des *Smart Home* und der *Smart City* hängen vor dem Hintergrund etwa von *Smart Grid und IoT*, also dem *Internet of Energy* (IoE), genauso zusammen wie jenes des *Internet of Vehicles* (IoV). Das U-PLM-Referenzszenario zeigt darüber hinaus, dass die Service- und Produktlebenszyklen in den verschiedensten Industrien aller Unterschiede ungeachtet doch einen einheitlichen Kern aufweisen. Für wissenschaftliche Zwecke sind die Diskursuniversen genauso zu modellieren; mit ihrer Inter- bzw. Transdisziplinarität zeigt sich, dass Disziplingrenzen künstlich gesetzt sind, und im Ganzen von einem "*Universe of Discourse of Anything*" im kosmologischen Sinne Leibnizens, Whiteheads und Poppers auszugehen ist. Dann jedoch ist eine fundamentale Reflexion der Natur der Entitäten und ihrer Relationen unabdingbar; sie ist Sache der Metaphysik und findet im Ergebnis ihren Niederschlag in der metaphysisch bedingten *Top-level Ontologie* als oberster Referenzebene der Informatik. Die konzeptuelle Modellierung kann entsprechend nicht ohne eine solche TLO-Referenz auskommen. Einer Reihe von Informatikern ist dies auch klar, etwa wenn sie der Frage nachgehen, ob die Entitäten im endurantistischen oder perdurantistischen Sinne zu modellieren sind.¹⁴¹⁸ Wie die Praxis anhand der BWV-TLO zeigt, geht es ferner um die ontologische Evaluierung von Modellen, Methoden, Notationen usw. Im Fokus stehen dann Fragen wie die ontologische Vollständigkeit, Klarheit usw. Die TLO-Referenz schafft überdies erst die einheitliche Grundlage, so dass erst auf ihrer Basis die Systeme ontologisch kompatibel und semantisch interoperabel sind. Sind sie es nicht, braucht man bei typisch interaktiven Systemen von *Artifizieller Intelligenz* nicht zu sprechen.

- (4) In SEA-basierten IoX-Systemen sind semantische Modelle bzw. Konzepte mit den Fakten des Diskursuniversums bzw. den konzeptuellen Modellen notwendig zu verzahnen. Nur dann ist ein echtes "*Reality Computing*" möglich. Das betrifft grundsätzlich jede Ontologieart; insbesondere bei den Domänenontologien gilt dies neben praktischen und technologischen Ontologien auch für *Scientific Ontologies*. Insofern geht es um die Verzahnung bzw. Strukturentsprechung des Diskursuniversums als reales, mögliches bzw. fiktives Weltmodell einerseits und der zugehörigen Domäne als Wissensbereich andererseits. Insbesondere in semantischer Hinsicht zeigt sich dabei die Informations- und Wissensmodellierung mit der konzeptuellen Modellierung direkt verknüpft.

¹⁴¹⁸ Vgl. dazu etwa Al-Debei et al. (2012).

(5) Es gilt die *Theorie der multiplen Intelligenzen*, und insofern muss auch Feyerabends (1975) "*anything goes*" gelten. Somit kann es keine Ausschließlichkeit von lokaler vs. globaler Intelligenz, impliziten vs. expliziten Wissens, subjektiven vs. objektiven Wissens, Induktion vs. Deduktion usf. geben. Vielmehr ist für die AI-Disziplin ein systematisch ineinandergreifendes "*Sowohl-als-auch*" zu fordern. Mit ihrer Wechselwirkung geht es dann jedoch wesentlich um Koordination und Integration, womit die konzeptuelle Modellierung zwar nicht operativ, aber in der strategisch-taktischen Gestaltung aller Architekturfragen für die dritte AI-Generation elementar wird. Y. Maruyamas (2016) falsche These vom *External Semantic Realism* zeigt, dass im Sinne Searles nur der externe Realismus gilt, während die Semantik Sache der Agenten ist. Allerdings erfordert dabei das "*Sowohl-als-auch*" klare Hierarchien: Globale Intelligenz geht in ihren Schlussfolgerungen im Allgemeinen vor lokaler Intelligenz,¹⁴¹⁹ deduktives vor induktivem Wissen, objektives vor subjektivem Wissen, explizites vor implizitem Wissen usf. Daraus folgt, dass eine transdisziplinäre AI-Kernsemantik möglich und letztlich im Wechselspiel von globaler und lokaler Intelligenz notwendig ist, und dass diese Semantik im Kontext des methodologischen Falsifikationsprinzips zu stehen hat. Es kann zwar bei lokalen kognitiven Agenten eine induktive Semantik gebildet werden; diese hat in der semantischen Hierarchie in Bezug auf die Qualität des Wissens wie im Hinblick auf die semantische Interoperabilität jedoch den geringsten Stellenwert. Lokale kognitive Agenten sind prinzipiell auch zur Deduktion imstande, zeigen sich jedoch aufgrund ihrer lokalen Position nicht zur alleinigen Ausübung des Verifikations- bzw. Falsifikationsprinzips befähigt. Insofern können sie auch kein echtes objektives Wissen isoliert vor Ort generieren. Als noch problematischer erweist sich die Hypothesenbildung als solche; denn lokale isolierte Agenten können deduktive Hypothesen lediglich auf Grundlage ihres lokal verfügbaren Wissens bilden. Auch das ist bei globaler Intelligenz anders, indem etwa bei Multisensorsystemen alle Daten im RTE-Konnex zusammenfließen und prinzipiell eine *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) zulassen. Der globalen Intelligenz steht überdies die höhere Informationsfusion (HLIF) offen, so dass insgesamt die Transformation von Daten in Information und Wissen gewährleistet ist. Deduktive Hypothesen lassen sich somit auf gänzlich anderer Basis bilden und weisen entsprechend eine superiore Qualität auf, die für lokale wie regionale Agenten unerreichbar bleibt. Das betrifft gewiss auch die Rechnerkapazitäten, wenn globale Supercomputer lokalen Minirechnern gegenüberstehen. Das objektive Wissen wächst somit nur global, und kann lediglich über eine ontologische Weltenverkopplung im Zuge

¹⁴¹⁹ Die Ausnahme davon betrifft den techno-wissenschaftlichen Fortschritt, indem das objektive Wissen jenseits gefundener Inkonsistenzen in der transdisziplinären Wissensbasis und speziellen Forschungsagenten faktisch nur über die lokalen Agentenwelten (W2) infrage gestellt werden kann.

einer *Belief Revision* der subjektiven lokalen Agentenwelten (W2) aktualisiert werden. Entsprechend erklären sich die in Pkt. 7.2 spezifizierten Anforderungen R29 bis R31: Sowohl der *W2/W1-Abgleich zur Belief Revision bzgl. physischer W1-Realität* (R29), der *W2/W3-Abgleich zur Belief Revision bzgl. technologischer W3-Realität* (R30), als auch der *W2/W4-Abgleich zur Belief Revision bzgl. sozialer W4-Realität* (R31) ist immer im Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz zu begreifen. Solche Abgleiche sind prinzipiell notwendig, weil MAS-Agenten in ihren Interaktionen eines *identischen objektiven* Wissens bedürfen, das aktuell bzw. richtig ist. Wenn sie es selbst nicht generieren können, sondern dies der globalen Intelligenz vorbehalten ist, muss es sich um eine Top-down-Koordination handeln. Eine solche Aktualisierung ist in Form eines zentralistischen ontologischen Updates genauso denkbar wie in einem umfassenderen Wechselspiel eines *Abgleichs zur Belief Revision*. Bei letzterem lassen sich etwa die Gründe der Nichtübereinstimmung analysieren und als neuerlicher induktiver Impuls handhaben. – Artificielle Intelligenz im IoX-Hyperspace ist somit immer im Wechselspiel lokaler, regionaler und globaler Agenten zu verstehen. Dabei kommen die induktiven Momente von den lokalen Agenten, und es sind neben globalen Agenten nicht zuletzt wiederum diese, die die globalen Hypothesen umfassend testen. Denn globale Agenten können sie nur auf Basis umfassender Gegenchecks in Bezug auf Widersprüche der transdisziplinären Wissensbasis prüfen; lokale Agenten können in dieser Wechselbeziehung demgegenüber empirisch vor Ort verifizieren bzw. falsifizieren. Bei einem solchen Procedere, das im wissenschaftlichen, technologischen wie praktischen Zusammenhang stehen kann, ist immer McCarthys (1995) "*general world view*" entscheidend. Ist dieser nicht allen Agenten des jeweiligen AI-Anwendungs- bzw. Integrationsszenarios gegeben, ist das semantisch interoperable Wechselspiel von globaler, regionaler und lokaler Intelligenz unter fundamentalen Aspekten unmöglich. Poppers Gedanke des objektiven Wissens steht dabei unmittelbar im Kontext *ratio-empirischer* Metaphysik, was unabhängig von der Tatsache, dass es sich um die Whiteheadsche – nicht um die Bungesche – Variante handelt, elementar ist: Das betrifft nicht nur die Voraussetzung des metaphysischen und epistemologischen Realismus als solchen, sondern genauso das kosmologische Moment, das eine *transdisziplinäre* Wissensrepräsentation und damit auch eine AI-Kernsemantik impliziert. Wenn bei den lokalen bzw. regionalen Agenten Einigkeit bzgl. der fundamentalen Strukturen ihrer Diskurswelt bestehen muss, ist die konzeptuelle Modellierung für ihren spezifischen Realitätsausschnitt (UoD) entscheidend, während die Metaphysik hinsichtlich des Welt- bzw. Realitätsganzen die fundamentalen Strukturen freilegt.

Nicht nur hinsichtlich der Ontologie, sondern damit zusammenhängend auch bezüglich der *konzeptuellen Modellierung* von Architekturen und Systemen bestehen heute zahlreiche Unklarheiten, die im Rahmen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* notwendig aufzulösen sind: Wie in Pkt. 1.1 sowie Pkt. 3 ausgeführt, ist eine generelle Interdependenz zwischen konzeptuellen und semantischen Modellen gegeben, die sich primär dadurch erklärt, dass sie sich auf das gleiche Diskursuniversum (UoD) beziehen. Insofern handelt es sich bei beiden um *Weltmodelle* im Sinne logisch erschließbarer Diskurswelten,¹⁴²⁰ bei denen jedoch methodisch grundlegende Unterschiede bestehen, auf die im Folgenden näher abgestellt wird. In ihrer UoD-Bezogenheit geht es sowohl bei konzeptuellen wie bei semantischen Modellen um die Definition von Entitäten und ihren Beziehungen. Obwohl sich eine solche Definition von Entitäten auf ein identisches Diskursuniversum bezieht, ist sie jedoch bei beiden Modellen von grundverschiedener Funktion und Natur. Mit Kangassalo (1990a: 20) gilt: »Conceptual modelling is a method for *collecting* knowledge about the Universe of Discourse (UoD). This knowledge consists of descriptions of objects and their attributes, and of descriptions of relationships between objects«. ¹⁴²¹ Anhand dieser Definition lässt sich bereits die unmittelbare Verwandtschaft von konzeptuellen Modellen und Ontologien erahnen. Indessen werden die fundamentalen Unterschiede zwischen der *konzeptuellen Modellierung* und dem *Ontology Engineering* auf ihrer Basis kaum deutlich. Allenfalls zeigt sich, dass sich erste auf das Sammeln und letzteres auf das repräsentationale Aufbereiten von Wissen bezieht.¹⁴²² Doch ungeachtet ihrer unmittelbaren Verwandtschaft sind beide gerade *nicht* identisch, sondern vielmehr methodisch und in Funktion von grundverschiedener Natur, worauf deshalb besonders hinzuweisen ist, weil sie häufig verwechselt bzw. synonym genutzt werden.¹⁴²³ Eine solche Gleichsetzung ist jedoch aus mindestens sechs wesentlichen Gründen letztlich vollständig verfehlt:

(i) Die Zwecksetzung von konzeptuellen Modellen und Ontologien ist eine grundsätzlich andere. Denn die Beschreibungen des Diskursuniversums zielen im CM-Fall *primär* nicht auf ein im Detail explizit spezifiziertes formales resp. maschinelles Verständnis, sondern auf ein *kognitives* Verständnis,¹⁴²⁴ auch wenn erstes gegeben sein mag.^{1425, 1426} Im Zent-

¹⁴²⁰ Bei der *konzeptuellen Modellierung* steht die Gestaltung verschiedenster Informations- und Wissenssysteme unterschiedlichster Diskursuniversen im Fokus. Im Rahmen komplexer PLM-Systeme geht es um betriebliche Informations- und Wissenssysteme, die in spezifischen industriellen Kontexten eingesetzt werden und somit auch spezielle Domänen mit umfassen können. In der Luft- und Raumfahrtindustrie also die Luft- und Raumfahrttechnik und verwandte naturwissenschaftliche Bereiche als Wissensdomänen; in der Medizintechnikindustrie die Medizintechnik, die Medizin und das Gesundheitswesen als Wissensdomänen und so fort.

¹⁴²¹ Vgl. Kangassalo (1990a: 20), Hvh. des Verf.

¹⁴²² Vgl. hierzu etwa Jarrar et al. (2003) sowie Richards (2004).

¹⁴²³ So heißt es etwa bei Dietz (2006b: 8): »We shall call such a conceptual model an *ontological model*«, Hvh. im Orig., vgl. hierzu auch Dietz (2006b: 235), vgl. ähnlich Welty/Guarino (2001: 52) sowie Angele et al. (2009); Y. Ding (2001: 378) erachtet in breiter Auslegung des Ontologiebegriffs selbst ER-Modelle als Ontologien. Demgegenüber findet sich etwa bei Garcia et al. (2010: 103) eine Gleichsetzung von *Top-level Ontologien* mit *konzeptuellen Modellen*.

¹⁴²⁴ Vgl. hierzu Ramesh et al. (1999), Siau/Tan (2005), Khatri et al. (2006), Kwon (2011), Stark/Esswein (2012) sowie Wilmont et al. (2013).

rum steht das *kognitive Erschließen von Diskurswelten*, das sich bislang primär auf ein menschliches Verständnis der Welt bezieht, bei dem der Schwerpunkt auf einem gemeinsamen Verständnis der Diskurswelt aller menschlichen Beteiligten liegt. Spätestens mit der kognitiven Robotik steht aber außer Frage, dass die konzeptuelle Modellierung nicht auf eine spezifische Klasse intelligenter Agenten resp. Automaten eingeschränkt werden kann. Der Prozess der konzeptuellen Modellierung als kognitives Erschließen der Welt zielt vielmehr allgemein auf ein *objektiviertes Verständnis der Welt*, mit dem es gilt, ihr möglichst alle möglicherweise fehlerinduzierenden *subjektivistischen* Momente zu nehmen. Dabei spielen, wie im Folgenden gezeigt wird, Ontologien eine zentrale Rolle. Diskursuniversen beziehen sich zwar mit ihrer Herkunft aus der mathematischen Logik auf alle denkbaren Welten, doch geht es in praxi fast ausnahmslos – wenn auch nicht zwingend – um ein gemeinsames Verständnis der *Realität im Allgemeinen* bzw. entsprechend *relevanter Realitätsausschnitte* im Besonderen.¹⁴²⁷ Insofern kann es weder verwundern, dass der ontologiegestützten konzeptuellen Modellierung primär ein philosophisch realistischer Ontologiebegriff zugrundeliegt, noch dass dabei realistische Top-level Ontologien ins Zentrum rücken: »The role that ontology plays in conceptual modeling is to guide the modeling process with a particular philosophy of how to describe the domain of discourse«. ¹⁴²⁸ Und damit ist auch nicht erst in AI-Hinsicht, sondern vielmehr bereits bei der Modellierung der Diskursuniversen, also in CM-Hinsicht die oberste Ontologieebene der Informatik entscheidend: »[E]ffective assessment and development of tools for information systems analysis and design must use an appropriate top-level ontology«. ¹⁴²⁹

In aller Regel bezieht sich die konzeptuelle Modellierung auf spezifische Diskurswelten und damit auf bestimmte Realitätsausschnitte, womit natürlich auch immer die Realität im Allgemeinen berührt ist, indem es etwa um die Frage der grundlegenden Kategorien zur Behandlung der Entitäten wie um ihre Natur an sich geht. Mit Blick auf diese spezifischen Diskurswelten wird die konzeptuelle Modellierung klassisch auch als *fachkonzeptuelle* Modellierung bezeichnet, da Informationsmodelle auf der Ebene von Fachkonzepten entworfen werden. Einen wesentlichen Ursprung haben sie in ihrer Eigenschaft als Kommunikationsbasis zum gemeinsamen Verständnis relevanter Diskurswelten zwischen Fachvertretern von Fachbereichen und IT-Spezialisten. Damit zeigt sich bereits, dass die konzeptuelle Modellierung auf konkrete Anwendungen abzielt; als solche ist sie im Sinne des

¹⁴²⁵ Vgl. hierzu Borgida/Brachman (2010), bei denen die *konzeptuelle Modellierung* direkt in DL erfolgt.

¹⁴²⁶ Vgl. zu *maschinenlesbaren konzeptuellen Modellen* im industriellen Bereich etwa Abele/Grimm (2013).

¹⁴²⁷ Vgl. hierzu etwa Mylopoulos (1992: 51): »Conceptual modeling is the activity of formally describing some aspects of the physical and social world around us for purposes of understanding and communication. Such descriptions [...] require the adoption of a formal notation, a conceptual model in our terminology. [...] [C]onceptual modeling supports structuring and inferencial facilities that are psychologically grounded. After all, the descriptions that arise from conceptual modeling activities are intended to be used by humans, not machines. [...] The adequacy of a conceptual modeling notation rests on its contribution to the construction of models of reality that promote a common understanding of that reality among their human users«, ohne Hvh. des Orig.

¹⁴²⁸ Vgl. Allen/March (2000: 2).

¹⁴²⁹ Vgl. S.K. Milton (2004: 88).

Requirements Engineering etwa nutzungs- resp. nutzerbezogen, funktionsbezogen und/oder kontextbezogen (z.B. branchen- resp. organisationsbezogen). Mit Blick auf agentenbasierte Systeme lässt sich allgemein sagen, dass sie agentenbezogen auf situative und kontextuelle Aspekte abzielt. Klassisch bilden konzeptuelle Modelle aber zumeist spezifische fachkonzeptuelle Modelle, mit deren Hilfe im Sinne des *Requirements Engineering* Nutzer- bzw. Nutzungsanforderungen in das IS- bzw. KS-Systemdesign überführt werden.¹⁴³⁰ Genauer besehen gelangt die konzeptuelle Modellierung also nicht nur aus dem Grunde zur Anwendung, um ein objektiviertes Verständnis der Diskurswelt herbeizuführen, sondern darauf aufbauend vor allem, um die Anforderungen der Diskurswelt adäquat zu interpretieren. Das schließt die sachgerechte Evaluation von Verbesserungsmöglichkeiten realer Systeme im Sinne aktiver technologischer Konstruktion mit ein, etwa im Hinblick auf Rückkopplungen eines konzeptuellen Systementwurfs mit der Systemumwelt.

Für die konzeptuelle Modellierung bestehen genauso zahlreiche Einsatzmöglichkeiten wie für ein auf Diskurswelten bezogenes *Requirements Engineering*.¹⁴³¹ Klassischerweise besitzt sie zwei Schwerpunkte, die für den Integrationsanspruch und die Ontologiefraße komplexer U-PLM-Systeme gleichermaßen von entscheidender Relevanz sind. Das ist zum einen die Modellierung der Enterprise Architecture (Enterprise Modeling) mitsamt ihrer zentralen (semantischen) Interoperabilitätsaspekte;¹⁴³² zum anderen die Softwareentwicklung,^{1433, 1434} beispielsweise das MDA-basierte Software Engineering.^{1435, 1436} Ein Schnittpunkt besteht dabei im ODIS-Engineering resp. der Gestaltung integrierter Informations- und Wissenssysteme (IKS), wie sie U-PLM-Systeme repräsentieren. Daneben bestehen für die konzeptuelle Modellierung weitere vielfältige Einsatzmöglichkeiten, die für komplexe U-PLM-Systeme in ihrer Eigenschaft als Integrationsplattform des Smart Enterprise ebenso ausnahmslos von Interesse sind. Hierzu gehören etwa das Datenbankdesign,¹⁴³⁷ die Orchestrierung von (Semantic) Web Services,¹⁴³⁸ die Datenintegration und Informationsfusion (IF),¹⁴³⁹ das Knowledge Engineering (KE),¹⁴⁴⁰ die Produktmodellierung resp. das Engi-

¹⁴³⁰ Vgl. etwa Loucopoulos (1992) sowie Rolland/Cauvet (1992); vgl. exemplarisch zu ORM Evans (2005).

¹⁴³¹ Vgl. für eine Studie der *praktischen Modellierungszwecke* I. Davies et al. (2006).

¹⁴³² In Pkt. 1.5.2 wurde dargelegt, dass PLM-Systeme als *prozessorientierte Systeme* zu verstehen sind, wobei wiederum die klassischen Prozessziele wie Kosten, Qualität, Zeit und Flexibilität für die Steuerung des Produktlebenszyklus essentiell sind. Vor diesem Hintergrund wird erst richtig ersichtlich, warum die Interoperabilität als solche und speziell die *semantische Interoperabilität* eine derart große Bedeutung für diese Systeme haben. Denn der realisierte Interoperabilitätsgrad ist von wesentlichem Einfluss auf die klassischen Prozessziele: unzureichend interoperable Systeme implizieren höhere Kosten, schlechtere Qualität, größere Zeiterfordernisse (Time to Market, Durchlaufzeiten) wie auch mangelnde Flexibilität.

¹⁴³³ Vgl. etwa Frank/Prasse (1997), Ares/Pazos (1998) oder Becker/Pfeiffer (2007).

¹⁴³⁴ Teils wird konkret auf die Unterstützung des *Requirements Engineerings* abgestellt, vgl. Jackson (1995).

¹⁴³⁵ In der *modellgetriebenen Architektur* (Model Driven Architecture, MDA) wird zunächst im Rahmen der konzeptuellen Modellierung das Fachkonzept entwickelt (CIM (MDA)), vgl. hierzu etwa Pastor/Molina (2007).

¹⁴³⁶ Dabei geht es auch im *ontologiebasierten Software Engineering* zuvorderst um das Problem der sachgerechten wie fundamentalen *Realitätskonstruktion*, vgl. etwa Hesse (2008).

¹⁴³⁷ Vgl. etwa Halpin (2001).

¹⁴³⁸ Vgl. G. Grossmann et al. (2011).

¹⁴³⁹ Vgl. etwa mit Blick auf CPS Solaiman et al. (2015).

neering von Product Service Systems (PSS),¹⁴⁴¹ die Prozessmodellierung,¹⁴⁴² die Modellierung und Simulation (M&S),¹⁴⁴³ Reorganisationsprojekte,¹⁴⁴⁴ die Softwareauswahl,¹⁴⁴⁵ bis hin zur Gestaltung hochskalierender, datenintensiver Web-IS resp. Web-Applikationen.¹⁴⁴⁶

Wenn sich *konzeptuelle Modelle* auf das *kognitive Verständnis von Diskurswelten* beziehen ist absehbar, dass sie mehr und mehr auch für die *kognitive Robotik* relevant werden: Dann bilden sie im Kontext der CPS-Sensorik als Schnittstelle zur Außenwelt in der System-Umwelt Interaktion *Cognitive Maps*,¹⁴⁴⁷ also Repräsentationen von drei- bzw. mehrdimensionaler komplexer Realität.¹⁴⁴⁸ Dabei geht es um Repräsentationen geographischer Räume, um räumlich vorstellbare und logisch strukturierbare Zusammenhänge.¹⁴⁴⁹ Vor dem Hintergrund solcher *Cognitive Maps* sollte klarer werden, dass konzeptuelle Modelle etwas ganz anderes sind als Ontologien, sowohl was den Aspekt der *metaphysisch-existentiellen Ontologie* als vorgeordnete Außenwelt, als auch was jenen der *Wissensontologie* als nachgeordneten Erkenntnis- und Wissenszusammenhang über die Außenwelt betrifft. Genauso wird deutlich, dass *Cognitive Maps* gewissermaßen vermittelnd zwischen diesen Ontologien angesiedelt sind, und dabei im direkten Wechselspiel zu beiden stehen. Mit der großen Relevanz dieser zahlreichen Einzelaspekte für U-PLM-Systeme überrascht es, dass die speziell auf U-PLM-Systeme bezogene systematische konzeptuelle Modellierung bislang noch verhältnismäßig wenig verbreitet ist.¹⁴⁵⁰

Während konzeptuelle Modelle noch primär auf *menschliche* Nutzer zielen, sind es bei semantischen Modellen (Ontologien) hingegen *alle Klassen intelligenter Automaten*, wobei der Schwerpunkt deutlich auf Computern und Künstlicher Intelligenz (AI) liegt. Ontologien stellen detaillierte, *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* dar, die nicht notwendig maschinenlesbar sind, sich aber in ihrer logischen Konsistenz und formalen Stringenz unmittelbar in maschinenlesbare Form transformieren lassen. Dabei stehen Ontologien als *semantische Weltmodelle* im Allgemeinen in direkter Korrespondenz zu *konzeptuellen Weltmodellen* identischer Diskursuniversen, womit das enge Wechselspiel

¹⁴⁴⁰ Vgl. hierzu Fn. 1617.

¹⁴⁴¹ Vgl. etwa Becker/Beverungen/Knackstedt (2010).

¹⁴⁴² Vgl. etwa Yang/Marquardt (2004).

¹⁴⁴³ Vgl. etwa Robinson (2010).

¹⁴⁴⁴ Vgl. Becker/Pfeiffer (2007).

¹⁴⁴⁵ Vgl. Becker/Pfeiffer (2007).

¹⁴⁴⁶ Vgl. hierzu Baresi et al. (2000), Pelechano et al. (2003), Schewe/Thalheim (2005), Paiano et al. (2006) sowie Pastor/Fons et al. (2006).

¹⁴⁴⁷ Diese seien hier als *in Raum und Zeit wahrgenommene* individuelle Entitäten verstanden, die noch nicht (ontologisch) semantisch explizit spezifiziert sind.

¹⁴⁴⁸ Hierbei orientiert sich die CPS- resp. Robotikforschung u.a. an Experimenten mit *Animats* (Artificial Animals), vgl. hierzu etwa S.W. Wilson (1991) und die an gleicher Stelle veröffentlichten zahlreichen weiteren Beiträge. Hier stehen neben Aspekten wie der *System-Umwelt Interaktion*, vgl. Verschure/Pfeiffer (1993), *adaptiven Verhaltens*, vgl. Meyer/Guillot (1991) vor allem auch *kognitive Aspekte* wie das *Cognitive Mapping*, vgl. Prescott/Mayhew (1993), im Vordergrund.

¹⁴⁴⁹ Vor diesem Hintergrund wird auch deutlich, warum *Geographic Information Systems* (GIS) in der CPS-, Robotik- und Ontologieforschung eine wesentliche Rolle spielen, vgl. hierzu etwa Fonseca et al. (2003), Worboys/Hornsby (2004), Worboys (2005) sowie B. Bennett et al. (2008); vgl. hierzu auch Casati et al. (1998) sowie B. Smith/Mark (1999, 2003).

¹⁴⁵⁰ Vgl. etwa Zhang/Fan (2006), Liu/Zeng (2009) sowie Eigner/Mogo Nem (2009).

zwischen Ontologien bzw. dem Ontology Engineering und konzeptuellen Modellen indiziert ist. Da eine semantisch *explizite Spezifikation* formaler Weltmodelle nicht über Lightweight-, sondern nur über explikative *Heavyweight-Ontologien* zu realisieren ist, steht außer Frage, dass das allgemeine Ontologieverständnis bei letzteren anzusetzen hat. In der Tat wird der wesentliche Unterschied zwischen konzeptuellen und semantischen Modellen resp. Ontologien erst dann richtig deutlich, wenn Ontologien im eigentlichen Sinne der *Heavyweight-Ontologie* verstanden werden.¹⁴⁵¹ Denn diese arbeiten im Gegensatz zu Lightweight-Ontologien zusätzlich mit umfassenden Axiomen und Einschränkungen, wodurch die *tatsächlich eindeutige Definition* des Bedeutungsgehalts von Begriffen bzw. Aussagen im Sinne explikativer Ontologie ein automatisches logisches Schließen durch Computer ermöglicht. Vor allem aber stehen *Heavyweight-Ontologien* im Zeichen der Inferenzfunktion, also dem automatischen logischen Schließen, womit sie unmittelbar auf Künstliche Intelligenz und eine entsprechende Wissensrepräsentation angelegt sind. Mit dem Ziel ihrer Wiederverwendbarkeit ist darüber hinaus die Ontologie prototypisch sachgerecht nicht als Anwendungs-, sondern vielmehr als *Referenzontologie* zu verstehen.

Demgegenüber besitzen konzeptuelle Modelle eine grundlegend andere Funktion, indem sie zum einen auf das kognitive Verständnis von Diskurswelten, zum anderen auf den Nutzer resp. die Nutzung, Funktionsanforderungen, Anforderungskontexte und damit insgesamt auf konkrete Anwendungen zielen. Wie oben erwähnt, zielen sie dabei bislang primär auf den menschlichen Nutzer, was jedoch mit der zunehmenden Bedeutung agentenbasierter Systeme wie CPS in Frage stehen sollte. Bisher geht die allgemeine Auffassung über die Natur konzeptueller Modelle dahin, dass sie grundlegende Aspekte komplexer natürlicher bzw. sozialer – i.d.R. realer – Welten beschreiben, und zwar für Zwecke des gemeinsamen Verständnisses menschlicher Akteure über diese Welten und der Kommunikation aller relevanten Gruppen bzw. Beteiligten.¹⁴⁵² Alternativ zu komplexen Welten oder Feldern kann auch davon gesprochen werden, dass sich die konzeptuelle Modellierung auf *komplexe Systeme* bezieht.¹⁴⁵³ Dann wird nochmals klarer, dass es angezeigt ist, diese tradierte Auffassung durch eine neue zu ersetzen, wonach konzeptuelle Modelle auf ein gemeinsames Verständnis des Diskursuniversums *aller Klassen von Agenten* bzw. intelligenter Automaten zielen. Tatsächlich ist etwa das *kognitive Erschließen von Diskurswelten* im Zuge der kognitiven Robotik genauso angezeigt, wie das *gemeinsame Verständnis von Diskurswelten* für Multiagentensysteme.

¹⁴⁵¹ Da konzeptuelle Modelle eine *Terminologie* voraussetzen, vgl. hierzu Mylopoulos (1998), ist letztere deutlich von der *Ontologie* zu unterscheiden, vgl. hierzu Grabar et al. (2012). Eine solche Differenzierung ist aber nur auf Grundlage explikativer *Heavyweight-Ontologien* sachgerecht möglich, die entsprechend die Grundlage für das allgemeine Ontologieverständnis bilden sollte. Demgegenüber eignet sich der Ontologiebegriff Grubers (1993, 1995) kaum, um konzeptuelle Modelle sachgerecht von Ontologien abgrenzen zu können. In dieser Tradition steht etwa explizit Y. Ding (2001: 378), wenn er konstatiert: »any organized set of objects can be considered as an ontology«. Das führt schließlich dazu, dass er neben Katalogen und Thesauri etwa auch ER-Modelle als *Ontologien* einstufen muss.

¹⁴⁵² Vgl. Kung/Sølvberg (1986) sowie Mylopoulos (1992); vgl. hierzu auch Vegetti/Gonnet et al. (2011).

¹⁴⁵³ Vgl. etwa Düsterhöft/Schewe (2011).

Als semantische Modelle im Sinne der Heavyweight-Ontologie sind Ontologien im Allgemeinen ungleich detaillierter bzw. konkreter und damit sehr viel komplexer als konzeptuelle Modelle. Sie spezifizieren im Zuge des *Ontology Engineering* das gleiche Diskursuniversum, unabhängig davon, ob es sich etwa um Kernontologien oder Domänenontologien handelt. Das in Pkt. 1.2 skizzierte Problem *semantischer Heterogenität* ist dabei anders gelagert als jenes *konzeptueller Heterogenität*, denn es ist dadurch bedingt, dass Begriffe unscharf definiert sind oder in ambivalenter Weise genutzt, abgegrenzt und systematisiert werden. Dass sie dennoch unmittelbar zusammenhängen zeigt der Umstand, dass sich beide Probleme erst durch die *Top-level Ontologie* als gemeinsamer Referenzbasis konzeptueller und semantischer Modelle lösen lassen. Das ist allerdings nur dann möglich, wenn es sich um eine *realistische* Top-level Ontologie handelt, mit deren Hilfe sich auch das Problem konzeptueller Heterogenität in seiner allgemeinen Bezogenheit auf *reale* Diskurswelten lösen lässt. Allerdings sollte diese Top-level Ontologie auch mögliche bzw. noch nicht realisierte Welten zulassen, damit sie im Zuge der konzeptuellen Modellierung allgemein anwendbar ist. Damit haben indessen die meisten bisherigen realistischen TLO-Ansätze wie etwa die BWW-TLO oder die BFO-TLO ihre Schwierigkeiten, weil sie im Sinne *streng wissenschaftlicher Ontologie* genauso strikt wie einseitig allein auf *reale* Strukturen abstellen.¹⁴⁵⁴ In *technologischer* Hinsicht, speziell bei PLM-zentrischen Innovationsprozessen, wird das zum Problem, weil sich die Engineeringprozesse echter Innovationen wesensnotwendig in möglichen Welten abspielen, die dann unvermittelt als Produkt- oder Prozessinnovationen in die Realsphäre übertreten. Da die konzeptuelle Modellierung vor allem auf technologische Systeme zielt, sollte eine CM-adäquate Top-level Ontologie nicht nur einen systematischen Realitätsbezug gewährleisten können. Vielmehr sollte sie sich auch mit der für CPS wie für Engineering Artefakte ebenso erforderlichen *Ontologie der Artefakte* arrangieren können, auf die wir in Pkt. 4.6 zurückkommen.

Demgegenüber führen linguistische Ontologien im Rahmen der konzeptuellen Modellierung zu noch weitaus größeren Problemen, weil sie mit ihren fragwürdigen linguistischen Konzepten resp. Konzeptualisierungen keinen systematischen resp. objektivierbaren Realitätsbezug herstellen können.¹⁴⁵⁵ Deshalb kommen sie auch in der CM-Praxis so gut wie nicht zum Einsatz; vielmehr zeigt sich die CM-Ontologie im Großen und Ganzen bestimmt durch den Rückgriff auf *realistische* Top-level Ontologien. Nicht auf Basis *linguistischer Konzeptualisierungen*, sondern vielmehr auf Grundlage *methodisch realitätsbezogener konzeptueller Modelle* lässt sich das Wechselspiel von konzeptuellen und semantischen Modellen mit Bernus (2003: 213) verstehen im Sinne einer *semantischen Konkretisierung konzeptueller Strukturen*: »A complete definition of all enterprise modelling views

¹⁴⁵⁴ Diese beiden TLO-Theorieanwörter sind ungeachtet ihrer gemeinsamen neo-aristotelischen Wurzel in dieser Sache insofern nicht gleichsetzbar, als es sich bei der BWW-TLO um einen *metaphysischen Realismus* handelt, der durch die BFO-TLO abgelehnt wird; hier handelt es sich um eine Spielart des *immanenten Realismus*, die explizit nicht metaphysisch verstanden sein will. Der BFO-Realismus ist ein deskriptiver, der BWW-Realismus ein revisionärer.

¹⁴⁵⁵ Vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 3.3.2.

– function (activity and behaviour), information, resource and organisation – in this way defines all enterprise modelling concepts, and can be called an Enterprise Ontology«. Während Konzepte resp. Konzeptualisierungen im linguistischen Ontologieverständnis keinen systematischen Realitätsbezug zulassen, kommt der *konzeptuellen Modellierung* die Funktion zu, den Bezug auf konkrete reale Diskurswelten als spezifische Realitätsausschnitte für semantische Modelle etwa im Sinne spezifischer Domänen- oder Anwendungsontologien zu sichern: »Conceptual modelling is the addition of more real-world semantics to the computations performed by a computer«. ¹⁴⁵⁶

(ii) Mit dem Ziel eines geteilten Verständnisses des (realen) Diskursuniversums sind konzeptuelle Modelle im Allgemeinen *grafischer* Natur und waren als solche lange Zeit nicht unmittelbar maschinenlesbar. In Bezug auf die Qualität konzeptueller Modelle besteht das Ziel vor allem in der Überwindung der konzeptuellen Heterogenität im Sinne nonkonformer subjektiver Kognitions- und Erkenntnisprozesse. Wie in Pkt. 1.1 dargelegt, ist mit diesem Problem gemeint, dass es bei konzeptuellen Modellen zu einer nicht einheitlichen Abbildung zentraler Konzepte insbesondere realer Sachverhalte kommt. Entsprechend geht es um das Ziel einer Objektivierung der Diskurswelt aller beteiligten Agenten bzw. Akteure, die in der Realisierung eines Paradigmas als geteiltem Weltmodell mündet. Insofern steht außer Frage, dass es für konzeptuelle Modelle wesentlich ist, dass sie für alle beteiligten Agenten mit ihrem je individuellen Wissensstand allgemein verständlich resp. interpretierbar sind. Konzeptuelle Modelle bilden daher i.d.R. zunächst nicht nur *grafische*, sondern auch relativ *abstrakte* Modelle, mit denen sich die zentralen Grundzusammenhänge des jeweiligen Diskursuniversums in einem ersten Schritt ordnen lassen. ¹⁴⁵⁷ Konzeptuelle Modellierungssprachen (CMLs) unterstützen diese ggf. grafische wie relativ abstrakte Modelldarstellung. Hierzu stehen diverse funktions-, daten-, objekt- oder prozessorientierte Ansätze zur Verfügung. Konzeptuelle Modellierungssprachen, ob etwa zur Klassenmodellierung (UML), Datenmodellierung (ERM) oder zur Prozessmodellierung (BPMN) bilden allesamt primär *grafische* Modellierungssprachen. ¹⁴⁵⁸ Das gilt ungeachtet der Tatsache, dass sich solche Modellierungssprachen resp. Notationen auch für detaillierte Modelle anwenden lassen, ¹⁴⁵⁹ und sich auch im Rückgriff auf andere Standards

¹⁴⁵⁶ Vgl. Wieringa (2011: 1).

¹⁴⁵⁷ Vgl. Embley/Thalheim (2011).

¹⁴⁵⁸ Mealys (1967) Überlegungen zur ontologiebezogenen Datenmodellierung waren die ersten Vorboten zur ontologiegestützten *konzeptuellen Modellierung*; wesentlich für ihren Durchbruch war der 1975 veröffentlichte Standard der *Drei-Schema-Architektur* zur Beschreibung von Datenbankschemata nach ANSI/SPARC, der unter anderem ein separates konzeptuelles Schema vorsieht, vgl. hierzu Jardine (1976) sowie Elmasri/Navathe (1994: 26 f.). Neben verschiedenen anderen ähnlich gelagerten Versuchen legte P.P. Chen (1976) das *Entity-Relationship Model* (ERM) vor, in dem der bekannteste Ansatz zur semantischen Datenmodellierung besteht. Ziel dieses Modells ist es, wesentliche semantische Information zu einem Ausschnitt der realen Welt in das Datenmodell zu inkorporieren.

¹⁴⁵⁹ Loucopoulos (1992: 8) differenziert drei CM-Modellierungsdimensionen, nämlich die *Datenmodellierung*, die *Prozessmodellierung* sowie die *Ereignismodellierung*; während die Prozess- und Ereignismodellierung heute einheitlich erfolgt, sind im EA-, EI- bzw. SEI-Zusammenhang weitere Dimensionen zu berücksichtigen. Ganz wesentlich das *Enterprise Modeling* (EM), das mit dem PPR-Framework als zent-

weiter konkretisieren, detaillieren und ergänzen lassen. So sind etwa ER-Konzepte in UML resp. OCL übersetzbar,¹⁴⁶⁰ oder etwa BPMN-Konzepte in SBVR. Historisch betrachtet waren solche konzeptuellen Modelle anfänglich weder unmittelbar in das Systemdesign transformierbar, noch direkt ausführbar oder generell maschinenlesbar. Moderne Ansätze heben diese Trennung jedoch zunehmend auf; das gilt für Datenmodelle,^{1461, 1462} aber auch für spezifische Prozessmodelle.¹⁴⁶³ Gerade mit Blick auf die Grundzusammenhänge sollten sich konzeptuelle Modelle nicht in irrelevanten Details verlieren; Einfachheit bzw. Klarheit vs. Komplexität werden hier in der Regel zugunsten der ersteren entschieden.¹⁴⁶⁴ Im Unterschied zu konzeptuellen Modellierungssprachen sind Wissensrepräsentationssprachen wie etwa CycL (SW-Ontologien) oder etwa PowerLoom (AI-Ontologien) nicht grafischer, sondern formal-maschinenlesbarer Natur, was ebenfalls den grundlegenden Unterschied zwischen konzeptuellen und semantischen Modellen illustriert.

(iii) Mit dem Ziel eines geteilten Grundverständnisses des (realen) Diskursuniversums sind konzeptuelle Modelle oftmals – wenn auch nicht notwendig – in dem Sinne auch abstrakter als Ontologien gehalten, als sie von Details bzw. Detailbeziehungen abstrahieren. Beispielsweise ist das *Enterprise Model* (EM) im Allgemeinen sehr viel abstrakter als die *Enterprise Ontology* (EO).¹⁴⁶⁵ Beide sind für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) gleichermaßen unerlässlich. Während das *Enterprise Model* mitsamt seiner Teilmodelle in integrativer Intention die konkrete Enterprise Architecture (EA) manifestiert,¹⁴⁶⁶ zielt die *Enterprise Ontology* auf die dazu notwendige ontologiegestützte Informationsintegration, indem sie mit Hilfe von Elementen wie Klassen, Relationen, Attributen, Instanzen und Regeln die Bedeutungen und Beziehungen von Daten und Informationen beschreiben. Gleichzeitig unterstützt die *Enterprise Ontology* das Enterprise Modeling wie das Software Engineering insofern, als sie konsistente und allgemein akzeptierte Termini zur Verfügung

ralem Integrationskern neben Prozessmodellen insbesondere auch auf Produkt- und Ressourcenmodelle abzustellen hat.

¹⁴⁶⁰ Vgl. Gogolla (2011).

¹⁴⁶¹ Vgl. exemplarisch zu ORM etwa Pepels/Plasmeijer (2005).

¹⁴⁶² Hier ist auf die mittlerweile veralteten CASE-Ansätze, nachfolgende OO-Methoden objektorientierter Entwicklung (OOA, OOD, OOP) sowie auf die jüngeren MDSD-Ansätze modellbasierender Entwicklung (MDA, MDD, MDE) zu verweisen, vgl. hierzu Pastor/Molina (2007), Aquino et al. (2011) sowie Liddle (2011). OOWS ist die Erweiterung von OO-Methoden für die Web Applikationsentwicklung, vgl. hierzu Pastor/Fons et al. (2006).

¹⁴⁶³ Etwa im Zuge einer *Complex Event Processing* (CEP) Engine, vgl. hierzu Schlegel et al. (2012).

¹⁴⁶⁴ Vgl. hierzu auch Gemino/Wand (2005).

¹⁴⁶⁵ Vgl. etwa Kattenstroth/Heise (2011). Allerdings bestehen auch hier Unklarheiten, etwa wenn Grüninger/Fox (1996: 140) offensichtlich *konzeptuelle* und *semantische Modelle* verwechseln: »An Enterprise Model is a computational representation«, damit setzen sie jedoch das *Enterprise Model* mit der *Enterprise Ontology* gleich, was jedoch mit Blick auf ihre disparaten Zwecksetzungen wenig sinnvoll erscheint. Analoges gilt für die synonyme Behandlung von *Enterprise Model* und *Business Model*, wie es oftmals im Kontext des Zachman EA-Frameworks geschieht, denn auch diese haben völlig andere Zwecksetzungen, vgl. hierzu etwa Gordijn et al. (2000). Auch in diesem Fall ist darauf besonders hinzuweisen, weil sich beide Modellarten gerade wesentlich ergänzen, vgl. hierzu Johannesson (2007).

¹⁴⁶⁶ Die *Teilmodelle* bilden dabei in *technischer* Hinsicht Daten-, Funktions-, und Objekt- resp. Ereignismodelle; in *fachlicher* Hinsicht Produkt-, Prozess- und Ressourcenmodelle einschließlich Organisationsmodellen sowie IT-Modelle.

stellt.¹⁴⁶⁷ Es geht damit um das wechselseitige Zusammenspiel zwischen konzeptuellen (EM) und semantischen (EO) Modellen, wobei Enterprise Models resp. ihre Teilmodelle mit dem Ziel semantischer Interoperabilität oftmals *nutzerorientierte Meta-Wissensstrukturen* aufweisen.¹⁴⁶⁸ Demgegenüber ist die Enterprise Ontology nicht nur durch ein detailliertes semantisches Modell geprägt, sondern sollte im Sinne der Heavyweight-Ontologie bei umfassender Automatisierung auch zusätzliche Axiome und Einschränkungen aufweisen. Liegen konzeptuelle Defekte im konzeptuellen Modell vor, spiegeln sich diese im semantischen Modell; ohne Frage setzen sich diese auch im Rahmen des Systementwurfs in logischen bzw. physischen Modellen resp. Schemata konsequent fort. Analoges gilt für semantische Defekte, denn ohne Frage muss semantische Kompatibilität bestehen zwischen konzeptuellen Modellen und etwa relationalen Schemata im IS-Datenbankdesign.¹⁴⁶⁹ Damit führen konzeptuelle wie semantische Defekte insgesamt unweigerlich zu fehlerhaften IKS-Implementierungen. Vor diesem Hintergrund ist im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* dem *Ontology Engineering* wie der *konzeptuellen Modellierung* gleiche besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

(iv) Das Ziel eines geteilten Verständnisses des Diskursuniversums zwischen den beteiligten Agenten bzw. Akteuren steht in aller Regel in einem konkreten Anwendungszusammenhang. Hierzu zählt etwa der konzeptuelle Systementwurf spezifischer Applikationen oder konkreter Projekte im Software Engineering (SE).¹⁴⁷⁰ Gerade im SE-Bereich verändert sich die Methodik der konzeptuellen Modellierung, die immer fortwährendem Wandel unterliegt,¹⁴⁷¹ gegenwärtig besonders stark. Mit dem expliziten Ziel direkt ausführbarer konzeptueller Modelle werden diese noch stärker zur zentralen Modellklasse der Informatik avancieren.¹⁴⁷² Dabei berührt die direkte Ausführbarkeit unmittelbar das Verhältnis zwischen Modell und formalem Code, und es gilt: »Conceptual modeling is programming« und: »‘the model is the code’«. ¹⁴⁷³ Diese Entwicklungen sind auch mit Blick auf die kognitive Robotik resp. CPS von Relevanz. Insgesamt relativieren sich mit diesen Entwicklungen die oben gemachten Ausführungen in dem Sinne, dass sich konzeptuelle Modelle je nach Anwendungszweck sehr heterogen darstellen können. Auch verschwimmen mit diesen jüngeren Entwicklungen zusehends die Grenzen zwischen konzeptuellen Modellen (CM), Ontologien und konzeptuellen Schemata (CS), da diese immer direkter, umfassender und intensiver miteinander kombiniert werden.

Doch gerade deshalb erscheint es umso notwendiger, in konzeptioneller Hinsicht strikt zwischen ihnen zu differenzieren, um ihre grundlegenden Unterschiede offenlegen zu können. Darin besteht insofern das Gebot der Stunde, als häufig selbst in der Fachdiskussion

¹⁴⁶⁷ Vgl. bereits Fraser (1994).

¹⁴⁶⁸ Vgl. auch Kirikova (2000).

¹⁴⁶⁹ Vgl. An/Hu/Song (2010).

¹⁴⁷⁰ Vgl. etwa Lochmann (2010).

¹⁴⁷¹ Vgl. hierzu Kaschek/Delcambre (2011).

¹⁴⁷² Vgl. hierzu Embley/Liddle/Pastor (2011).

¹⁴⁷³ Vgl. Embley/Liddle/Pastor (2011: 4).

konzeptuelle Modelle mit Ontologien,¹⁴⁷⁴ konzeptuelle Modelle mit konzeptuellen Schemata,¹⁴⁷⁵ und schließlich auch konzeptuelle Schemata mit Ontologien verwechselt werden.¹⁴⁷⁶ Damit steht zu vermuten, dass ihre eigentliche Natur oftmals nicht richtig klar zu sein scheint. Tatsächlich beziehen sich etwa konzeptuelle Schemata und Ontologien auf unterschiedliche epistemische Ebenen, haben verschiedene Objekte zum Gegenstand und werden vor allem vom Grundsatz her mit vollkommen anderen Zielsetzungen entwickelt.¹⁴⁷⁷ Daher lassen sie sich offensichtlich nicht als Äquivalente nutzen. Problematisch sind solche Verwechslungen deshalb, weil die Informatik nicht nur alle drei Grundpfeiler integrierter Informations- und Wissenssysteme in gerade kombinierter Weise benötigt,^{1478, 1479} sondern sie offenbar ihren sachgerechten Einsatz unterminieren, wenn die Natur

¹⁴⁷⁴ Vgl. hierzu Fn. 1423.

¹⁴⁷⁵ Oftmals werden auch *konzeptuelle Modelle* (CM) mit *konzeptuellen Schemata* (CS) gleichgesetzt, vgl. etwa Karakostas/Loucopoulos (1989), was ungeachtet zunehmender CM-Implementierungsnähe wenig zweckmäßig erscheint. Denn CS beschreiben Informationen mit speziellem Blick auf die direkte Implementierung in Bezug auf ihre Speicherung und Manipulation in Datenbanken, vgl. etwa Fonseca et al. (2003). Vgl. hierzu auch Kangassalo (1990b: 330): »A conceptual schema consists of concepts and rules used in the application field and its associated information systems. It describes the semantics of data, but the functions for manipulating the conceptual schema or data corresponding to the conceptual schema are not well developed«; vgl. hierzu ferner Kangassalo/Viitanen (1990: 265): »A conceptual schema (CS) is the conceptual description of the possible states of affairs of the universe of discourse (UoD) including the classifications, rules, laws, etc. [...]. It describes the concepts and rules used in the UoD and which are needed to define the meaning and structure of data stored into the database and manipulated in the information system (IS). These concepts and rules are needed to define semantically correct ways of manipulating that data as well. Therefore the construction of a conceptual schema is an inseparable part of any information system design methodology«, ohne Hvh. des Orig.; vgl. darüber hinaus auch Loucopoulos (1992), Mylopoulos (1992), Rolland/Cauvet (1992) und Palomäki/Radicevic (2006). In der *Drei-Schema-Architektur* zur Beschreibung von Datenbankschemata nach ANSI/SPARC beschreibt das *konzeptuelle Schema* die Struktur der gesamten Datenbank für eine Gruppe von Nutzern, vgl. Elmasri/Navathe (1994: 26). Dabei ist das *konzeptuelle Schema* prinzipiell DBMS-unabhängig zu entwerfen, *ibid.*, p. 455.

¹⁴⁷⁶ Vgl. hierzu exemplarisch Kayed/Colomb (2005: 379): »Ontology in the AI and database sense is an elaborate *conceptual schema* of generic domain concepts and relations with constraint or axioms, and with a formal lexicon or concept-dictionary«, Hvh. des Verf.; vgl. identisch F. Lehmann (1996: 29). Vgl. auch Olivé (2007: 11): »In the field of information systems, ontologies are called *conceptual schemas*, and the languages in which they are written are called *conceptual modeling languages*«, Hvh. im Orig. Vgl. ähnlich Olivé (2005: 4, Fn. 1), hier ist noch von »an (almost) equivalent concept« die Rede; vgl. ferner Theodoratos/Dalamagas (2003: 548): »We view ontologies as *conceptual schemas* that are populated with data. [...] Many real-world ontologies have associated data instances. In this sense, ontologies can be seen as instantiated *conceptual schemas*«, Hvh. des Verf. Schließlich findet sich ein ähnlicher Irrtum bei Antoniou et al. (2005: 1): »Even though ontologies have a long history in Artificial Intelligence (AI), the meaning of this concept still generates a lot of controversy in discussions, both within and outside of AI. We follow the classical AI definition: an ontology is a *formal specification of a conceptualisation*, that is, an abstract and simplified view of the world that we wish to represent, described in a language that is equipped with a formal semantics. In knowledge representation, an ontology is a description of the concepts and relationships in an application domain. Depending on the users of this ontology, such a description must be understandable by humans and/or by software agents. In many other field – such as in information systems and databases, and in software engineering – an ontology would be called a *conceptual schema*«, Hvh. im Orig. Tatsächlich aber ist das konzeptuelle Schema auf die Speicherung in Datenbanken fixiert, während Ontologien Weltmodelle repräsentieren und dabei im Sinne von Referenzontologien auf Wiederverwendbarkeit abstellen, vgl. Fonseca/Davis/Cámara (2003).

¹⁴⁷⁷ Während bei Ontologien *Objekte* im Allgemeinen auf die reale Welt resp. Realität zielen, stellen sie bei konzeptuellen Schemata auf die Verbindung zwischen Ontologien und Daten ab, vgl. auch Fonseca/Martin (2007) sowie Ferreira Rosa da Silva/Cavalcanti (2012).

¹⁴⁷⁸ Vgl. Fonseca/Martin (2007).

dieser Grundpfeiler an sich wie auch die Gesamtarchitektur ihres Zusammenspiels nicht richtig verstanden ist.¹⁴⁸⁰ Analog ist eine Konfusion auch bei einer Reihe von Einzelfragen gegeben, etwa hinsichtlich des Unterschieds zwischen linguistischen Konzepten und realistischen Universalien, auf den wir weiter unten noch zu sprechen kommen.

Wenn auch gewiss von einer weiteren Zunahme der oben erwähnten Runtime-Aspekte auszugehen ist, bleibt davon die Tatsache unberührt, dass die konzeptuelle Modellierung nicht weniger als den konzeptuellen, alles entscheidenden Ausgangspunkt im IS- resp. IKS-Engineering im Zuge der Entwicklung oder der Implementierung von PLM-Systemen bildet. Insofern die konzeptuelle Modellierung für das Engineering solcher Systeme gerade in hochkomplexen Feldern den Ausgangspunkt darstellt, ist es von kritischer Relevanz, die Qualität konzeptueller Modelle umfassend zu sichern: Fehler in dieser frühen Phase der Systementwicklung sind zu vermeiden; gelingt dies nicht, kann dies die Notwendigkeit implizieren, das komplette Informations- resp. Wissenssystem neu zu entwickeln.¹⁴⁸¹ Ontologien, insbesondere Top-level Ontologien, sichern die Qualität konzeptueller Modelle, indem ontologische Theorien als Grundlage für die sachgerechte Repräsentation von Phänomenen in Informations- resp. Wissenssystemen herangezogen werden.¹⁴⁸²

Tatsächlich bildet die konzeptuelle Modellierung heute im Rahmen der *Model-Driven Architecture* (MDA) den Ausgangspunkt für die Softwareentwicklung,¹⁴⁸³ für die Daten-

¹⁴⁷⁹ Das betrifft etwa das *Mapping von Ontologien und konzeptuellen Schemata*, wie es im Zeichen einer sachgerechten Enterprise Integration steht, vgl. hierzu etwa Fonseca/Davis/Câmara (2003).

¹⁴⁸⁰ *Konzeptuelle Modelle* repräsentieren in abstrakter Weise die UoD-Struktur, allerdings in Bezug auf einen konkreten konzeptuellen Systementwurf, wie er sich insbes. im EA- oder SE-Kontext findet. Sie bilden als fachkonzeptueller Entwurf die Diskussionsgrundlage aller Bereiche zur Realisierung eines einheitlichen Gesamtbilds (z.B. abstraktes Modell eines Reiseinformationssystems). *Konzeptuelle Schemata* konkretisieren die UoD-Struktur im Detail; sie zielen auf die Umsetzung des konzeptuellen Systementwurfs, d.h. auf die Implementierung in ein allgemeines Datenbankschema (z.B. konkretes, auf Implementierung angelegtes detailliertes Modell eines Reiseinformationssystems). *Ontologien* repräsentieren demgegenüber weder Konzepte, noch zielen sie an sich auf einen konzeptuellen Systementwurf. Sie sind prinzipiell vollkommen anderer Natur, wenngleich sie sich auf das gleiche UoD beziehen: Sie dienen vielmehr in ihrer für sie elementaren Eigenart als *Referenzontologie* der Wissensrepräsentation mit dem Ziel der Wiederverwendung des Wissens (z.B. als Domänenontologie: allgemeines Domänenwissen über die Reisebranche, vgl. hierzu Sugumaran/Storey (2002)). Im Gegensatz zu Ontologien zielen *konzeptuelle Schemata* immer unmittelbar auf die Entwicklung konkreter Informationssysteme; sie beschreiben die Datenbankstruktur auf höherer Ebene (Datenobjekte, Beziehungen usw.) in systemunabhängiger Weise, also unabhängig von der Implementierung einer spezifischen DBMS-Software, und in diesem Sinne die Informationen, die in Datenbanken gespeichert werden sollen, vgl. Fonseca/Davis/Câmara (2003). In dieser Beschreibung der Datenbankstruktur auf höherer Ebene berücksichtigen sie die Belange spezifischer Organisationen, ihre spezifischen Zwecke und spezifischen Sichtweisen, die etwa von den gemeinlich in der Industrie vertretenen abweichen können. Konzeptuelle Schemata lassen sich nun aus Ontologien generieren, etwa in dem die allgemeine Domänenontologie für den Reisebereich für die Realisierung ein ganz konkretes Reiseinformationssystems Verwendung findet und gegebenenfalls auf die Belange der konkreten Organisation angepasst wird. Die Domänenontologie für den Reisebereich ist also im Sinne einer Referenzontologie wiederverwendbar, auch für Systeme mit ganz anderem Zuschnitt. Demgegenüber ist das konzeptuelle Schema nur sehr eingeschränkt wiederverwendbar, weil es auf konkrete Implementierungszwecke ausgelegt ist.

¹⁴⁸¹ Vgl. Kangassalo (1992/93) sowie R. Weber (2003a).

¹⁴⁸² Vgl. R. Weber (2003b).

¹⁴⁸³ Vgl. etwa Liddle (2011).

bankentwicklung,¹⁴⁸⁴ und neben anderen Dingen auch für die BPM-PLM-Integration. Insofern sind die Übergänge zwischen Konzeptbegriff einerseits und Semantik- und Ontologiebegriffen andererseits fließend, was eine strikte konzeptionelle Abgrenzung einerseits und eine echte systematische Integration der CM- und AI-Welt andererseits umso mehr erforderlich macht. Im Rahmen der konzeptuellen Modellierung läuft eine Konzeptualisierung auf ein abstraktes Modell (Konzept) abstrakter Objekte hinaus;¹⁴⁸⁵ bei diesem handelt es sich um eine mentale Repräsentation,¹⁴⁸⁶ die mittels geeigneter Modellierungssprachen (z.B. ERM, ORM, UML) i.d.R. in grafischer Form visualisiert wird. Ontologien (i.S. von *Referenzontologien*) stehen demgegenüber jenseits *spezifischer* Runtime-Erwägungen.¹⁴⁸⁷ Im Unterschied zu Ontologien, bei denen der Schwerpunkt mit dem Ziel der Wiederverwendung nicht auf Anwendungs-, sondern auf Referenzontologien liegt, besteht der Schwerpunkt bei konzeptuellen Modellen genau umgekehrt weniger in Referenzmodellen, sondern deutlich in Anwendungsmodellen: Konzeptuelle Modelle stehen zumeist im Kontext einer *spezifischen* Enterprise Architecture bzw. einer *konkreten* Enterprise Integration.

(v) Zwar können sich konzeptuelle Modelle prinzipiell auf jedes Diskursuniversum oder auch auf rein technische Anwendungen beziehen; klassischerweise handelt es sich jedoch um "enterprise conceptual models", die im Kontext der Enterprise Architecture (EA) wie der Enterprise Integration (EI) für U-PLM-Systeme in ihrer Eigenart als SEI-Integrationsplattform von zentralem Belang sind.¹⁴⁸⁸ Evermann/Wand (2001) gehen dabei so weit, dass sie *konzeptuelles Modell* und *Enterprise Model* gleich synonym behandeln: Auch wenn eine sachgerechte Behandlung konzeptueller Modelle ein Verständnis als strikt *generische Klasse* erforderlich macht,¹⁴⁸⁹ verkörpern konzeptuelle Modelle tatsächlich in praxi oftmals ein »abstract model of the enterprise«;¹⁴⁹⁰ also jenes o.g. *Enterprise Model* (EM), das bei semantischer Systemintegration mit der *Enterprise Ontology* (EO) zu korrespondieren hat. Das ist aber keine zwangsläufige Erscheinung. Enterprise Models besitzen diverse Teilmodelle, allen voran jene des in Pkt. 2.5 diskutierten PPR-Frameworks, also Produkt-, Prozess-, sowie Ressourcenmodelle, denen entsprechende PPR-Ontologien gegenüberstehen. Insofern avanciert die *konzeptuelle Modellierung* zur Grundvoraussetzung, um Produkt-, Prozess- und Ressourcenmodelle als zentrale Grundlage von PPR-Ontologien in ODIS-Systemen wie dem Closed-loop U-PLM zu definieren. Enterprise Models und Teilmodelle

¹⁴⁸⁴ Vgl. etwa Kovács/Van Bommel (1998).

¹⁴⁸⁵ Kangassalo (1999: 106) spricht bei *Konzeptualisierungen* im Kontext formaler Ontologie von einer *intentionalen Wissensstruktur*.

¹⁴⁸⁶ Margolis/Laurence (2007) betonen die duale Natur, die Konzepte einerseits als *abstrakte Objekte* und andererseits als *mentale Repräsentationen* besitzen.

¹⁴⁸⁷ Vgl. etwa Welty/Guarino (2001: 52): »a conceptual model is an actual implementation of an ontology that has to satisfy the engineering trade-offs of a running application, while the design of an ontology is independent of run-time considerations, and its only goal is to specify the conceptualization of the world underlying such an application«.

¹⁴⁸⁸ Vgl. hierzu Bubenko (2007) sowie Anaby-Tavor et al. (2010).

¹⁴⁸⁹ Ohne Frage bestehen zahllose Anwendungsmöglichkeiten für *konzeptuelle Modellierungen*, die nichts mit *Enterprise Architecture* resp. *Enterprise Integration* zu tun haben.

¹⁴⁹⁰ Vgl. Bubenko (1980: 399).

bilden i.d.R. die weiter unten thematisierten Ist- bzw. Soll-Modelle, die in Bezug auf ihren Realitätsgehalt Verifikations- resp. Falsifikationsmechanismen (Truthmaker) bedürfen, die sie letztlich allein mit einer Referenz auf Wissensontologien erhalten können. Das *Enterprise Engineering* zielt auf eine systematische Weiterentwicklung von EA-, EI- resp. SEI-Szenarien und ihrem primären Ziel semantischer Interoperabilität; somit wird nicht nur deutlich, dass jede konzeptuelle Modellierung *Engineering* ist,¹⁴⁹¹ sondern dass konzeptuelle Modelle mit dem Integrationsgedanken gerade die wesentliche Frage semantischer Interoperabilität fokussieren müssen.¹⁴⁹² Wenn sich die konzeptuelle Modellierung dann im Rahmen anerkannter EA-Referenzkonzepte wie dem Zachman-Framework bewegt,¹⁴⁹³ wird noch offensichtlicher, dass die Zielsetzungen konzeptueller Modelle andere sind als jene von Ontologien. Im Kontext der *Semantic Enterprise Integration* (SEI) bilden konzeptuelle Modelle unter strategischen, prozessualen und funktionalen Aspekten den IS-bezogenen konzeptuellen Systementwurf, während Ontologien als Wissensontologien KS-bezogenen Wissensaspekten verpflichtet sind. Somit fordert eine umfassende semantische Interoperabilität integrierte Informations- und Wissenssysteme (IKS). Entsprechend muss die konzeptuelle Modellierung nicht nur auf die Daten- und Informationsmodellierung abzielen, sondern bereits das "enterprise knowledge management" im Blick haben.¹⁴⁹⁴

(vi) Konzeptuelle Modelle basieren i.d.R. auf realitätsbezogenen sachlogischen *Konzepten*;¹⁴⁹⁵ sie bilden das Ergebnis der konzeptuellen Modellierung des jeweiligen Diskursuniversums. Bei Ontologien handelt es sich demgegenüber um *semantische* Modelle, die grundsätzlich anderer Natur sind als erstere, auch wenn sie unmittelbar mit diesen zusammenhängen. Die maßgeblichen Unterschiede fallen auf Basis von Lightweight-Ontologien wie der defekten linguistischen Ontologiekonzeption Grubers (1993) weniger ins Gewicht. Diese bestehen dann vor allem darin, dass die Konzepte *linguistische* Konzepte bilden, die nicht nur im OLP-Sinne im Kontext einer spezifischen Grammatik stehen, sondern die vor allem semantisch spezifiziert sind. Indessen zeigen sich die eigentlichen zentralen Unterschiede zwischen konzeptuellen und semantischen Modellen erst mit der *Heavyweight-Ontologie*. Deren semantische Spezifikation ist im Zuge der TLO-Referenz zwingend eine *kategoriale*, wobei die obersten Kategorien die TLO-Kategorien bilden. Diese stehen dabei, was oftmals bei der naiven Idee des TLO-Mappings übersehen wird, dezidiert im Zeichen der jeweiligen meta-ontologischen Spezifizierung. Diese ist mindestens implizit immer gegeben, also nicht nur bei metaphysisch strikt wie umfassend verankerten *Top-level Ontologien*, wie sie etwa in Form der BWW-TLO oder der Sowa-TLO gegeben sind. Vor dem Hintergrund der kategorialen semantischen Spezifikation bestimmter Domänen sind im Referenzsinne auch TLO-referenzierende Domänenontologien bei der konzeptuellen

¹⁴⁹¹ Vgl. Thalheim (2011b).

¹⁴⁹² Vgl. Chen et al. (1999).

¹⁴⁹³ Vgl. Zachman (1987), die formalisierte Variante Sowa/Zachmans (1992b) sowie Lapalme et al. (2016).

¹⁴⁹⁴ Vgl. hierzu Loucopoulos/Kavakli (1999).

¹⁴⁹⁵ Vgl. etwa Thalheim (2012).

Modellierung entsprechender Diskursuniversen von Bedeutung.^{1496, 1497, 1498} Insofern ist das Verhältnis von konzeptuellen und semantischen Modellen kein einseitiges.

Eine integrative Ontologiekonzeption, die wie die in Pkt. 3.5 erörterte CYPO *FOX* für *Scientific Ontologies* genauso offen ist wie für ODIS-Ontologien oder etwa AL-Ontologien auf Basis möglicher Welten, hat dabei mit Pkt. 6.2.3 zwischen vier grundlegenden Typen von Kategorien zu differenzieren: (i) *aristotelische* bzw. *faktische Universalien*,¹⁴⁹⁹ (ii) *platonistische* bzw. *mögliche Universalien*,¹⁵⁰⁰ (iii) *Tropen* sowie (iv) *Konzepte*.¹⁵⁰¹ Ein CYPO-konformer TLO-Ansatz weicht damit maßgeblich insbesondere von der BFO-TLO ab, die primär auf aristotelischen Universalien und sekundär auf Tropen (bzw. Husserls *Momenten*) aufbaut, während sie Konzepte genauso rigoros ablehnt wie platonistische Universalien.¹⁵⁰² Wenn Smith (2004) konsequenterweise Grubers (1993, 1995) *Konzepte* in der BFO-TLO im Sinne der *Scientific Ontology* durch *Universalien* ersetzt, wird ein problematisches Ontologieverständnis durch ein nicht weniger problematisches ersetzt. Damit ist die Ontologiedebatte keinen Schritt weiter – bis auf die Erkenntnis, dass offenbar für verschiedene Ontologiezwecke unterschiedliche Kategorien von Belang sind, also konkret Universalien, Tropen und Konzepte. Tatsächlich sind etwa betriebliche ODIS-Ontologien elementar auf Konzepte, und AL-Ontologien genauso elementar auf platonistische Universalien angewiesen; beides lässt sich jedoch auf Basis der BFO-TLO nicht begründen. Damit ist bereits an dieser Stelle evident, dass die BFO-TLO dem Anspruch einer integrativen Ontologiekonzeption nicht genügen kann. Die parallele Berücksichtigung dieser vier grundlegenden Typen von Kategorien ist vielmehr nur dann sachgerecht

¹⁴⁹⁶ Vgl. im Hinblick auf *Domänenontologien* Guizzardi/Halpin (2008: 2).

¹⁴⁹⁷ *Domänenontologien* sind im Gegensatz zu *konzeptuellen Modellen* insofern spezifischerer Natur, als sie in dem Sinne semantisch spezifiziert sind, dass sie *semantische Netze* zur Wissensrepräsentation bilden, die in direkter Weise einer AI-Verarbeitung genügen. Auch wenn sie auf gleiche Realitätsausschnitte zielen, bewegen sich konzeptuelle Modelle also auf einer völlig anderen, sehr viel abstrakteren Ebene und verfolgen eine ganz andere Zwecksetzung. Sie sind insofern konzeptueller Natur, als es bei ihnen um die Visualisierung von Grundzusammenhängen von i.d.R. überaus komplexen Sachverhalten bzw. Systemen geht. Demgegenüber unterscheiden sich *konzeptuelle Modelle* von *Top-level Ontologien* insofern, als Top-level Ontologien zum einen von generischer Natur sind und auf die gesamte, für die Informatik relevante Realität zielen. Konzeptuelle Modelle beziehen sich hingegen in aller Regel auf die Gestaltung konkreter Informations- und Wissenssysteme und damit auf vergleichsweise enge Realitätsausschnitte. Damit verbunden sind Top-level Ontologien zum anderen auf *Kategorien*, nämlich auf Top-level Kategorien mitsamt ihrer Kategoriensysteme bezogen, während konzeptuelle Modelle auf *Klassen*, bzw. in konkreter Anwendungsorientierung auf *Instanzen* zielen.

¹⁴⁹⁸ Konzeptuellen Modellen kommt *gerade in Verbindung mit Domänenontologien* bei der Beschreibung und dem Verständnis komplexer Felder, wie sie im industriellen Kontext regelmäßig gegeben sind, eine essentielle Rolle zu, vgl. etwa Vegetti/Gonnet et al. (2011).

¹⁴⁹⁹ B. Smith (2004) definiert *Universalien* als *Invarianten in der Realität*, vgl. hierzu auch Schwarz/Smith (2008) und Smith/Ceusters (2010); vgl. ferner Pkt. 4.4.

¹⁵⁰⁰ Die Frage, ob es sich um *faktische* oder um *mögliche* Universalien handelt, ist freilich von wesentlicher Bedeutung, wenn auf Basis von Ontologien automatisch logisch geschlossen wird; sie lässt sich in ODIS-Prozessen nur klären, wenn zwischen verschiedenen Ontologietypen differenziert wird, vgl. hierzu Pkt. 3.5, die wiederum auf verschiedene Wahrmacher (Truthmakers) referenzieren, vgl. hierzu Pkt. 6.2.8.

¹⁵⁰¹ Demgegenüber bilden Symbole keine eigene Kategorie, indem diese im Sinne der Semantik entweder unter Universalien, Tropen oder Konzepte fallen.

¹⁵⁰² Vgl. B. Smith (2004, 2006a) sowie Babaie (2011: 19 f.). Dabei ist mit Grenon (2003c, 2008) zusätzlich problematisch, dass in der Informatik unter *Konzepten* vollkommen disparate Sachverhalte verstanden werden.

möglich, wenn ihre Gültigkeit auf bestimmte Welttypen eingegrenzt wird und für diese samt Subtypen genau spezifiziert werden,¹⁵⁰³ wie es mit CYPO *FOX* praktiziert wird. Ontologien bilden somit weder im Sinne linguistischer Ontologien *Hierarchien von Konzepten* noch etwa mit Babaie (2011: 19 f.) im BFO-Sinne *Hierarchien abstrakter Universalien resp. Typen und ihrer Instanzen* mitsamt struktureller Verbindung. Ontologien bilden vielmehr im CYPO-Sinne *Hierarchien spezifischer Welttypen*, die in kategorialer Hinsicht gleichzeitig den Rückgriff auf Universalien, Tropen und Konzepte eröffnen.

Faktische Universalien der Realität werden dabei durch individuelle Entitäten in Raum und Zeit instantiiert, während mögliche Universalien in separaten Welten auf eine potentielle Instantiierung angelegt sind. Solche Übergänge zwischen den in Pkt. 3.5 abgegrenzten Welten sind in praxi regelmäßig im Zuge PLM-zentrischer Innovations- bzw. Produktrealisierungsprozesse gegeben und erforderlich, womit sie entsprechend für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu berücksichtigen sind: Eine *Ontologie des Werdens* hat der Natur der Ontologie nach zwar *nicht* das Entstehen, Verändern und Vergehen von Objekten *zu erklären*, weil das Sache der Einzelwissenschaften ist. Sie muss aber das lebenszyklusorientierte Entstehen, Verändern und Vergehen in systematischer Weise im Sinne kreativer evolutionär-emergentischer Prozesse berücksichtigen können, womit herkömmliche Seins-, Substanz- resp. Objektontologien offenbar ihre grundlegenden Schwierigkeiten haben.

Ontologien zeigen sich mit konzeptuellen Modellen bidirektional insofern unmittelbar verknüpft, als die Typen (Typenontologie) bspw. in Form von *Klassen* (UML), *Objekten* (ORM), oder *Entitäten* (ERM) Bestandteile konzeptueller Modelle sind. Werden formale Ontologien in eine unmittelbar maschinenlesbare Form gebracht, finden sich die Typen semantischer Modelle ebenfalls wieder, etwa in Form von *Elementen* im XML Schema. Insofern zeigt sich, dass die unmittelbare Interdependenz zwischen konzeptuellen und semantischen Modellen gerade darauf zurückgeht, dass solche Modelle mit anderer Zielsetzung geschaffen werden. Daher lassen sich konzeptuelle Modelle und Ontologien weder substituieren noch sollte es angezeigt sein, sie synonym zu verwenden. Im Kontext der für U-PLM-Systeme als Integrationsplattform zentralen Enterprise Architecture resp. Enterprise Integration zeigt sich das umfassende Wechselspiel zwischen konzeptuellen und semantischen Modellen in Form der Interaktion und Interdependenz von Enterprise Model und Enterprise Ontology. Analoges gilt für ihre PPR-orientierten Teilmodelle, indem das umfassende Wechselspiel zwischen *Produktmodellen* und *Produktontologien*, jenes zwischen *Prozessmodellen* und *Prozessontologien*, oder jenes zwischen *Ressourcenmodellen* und *Ressourcenontologien* genauso zu spezifizieren ist, wie das Verhältnis zwischen den drei PPR-Dimensionen. Dabei lässt sich das umfassende Wechselspiel von konzeptuellen Modellen und Ontologien insgesamt durch folgende acht Aspekte charakterisieren, die nicht nur die Konfusion zwischen ihnen erklären helfen, sondern allesamt direkt oder indirekt mit der Top-level Ontologie in Verbindung stehen:

¹⁵⁰³ Vgl. Pkt. 6.2.3.

(i) es handelt sich um ein *mehrdimensionales* Wechselspiel, d.h. dass einerseits Ontologien (insbes. Top-level Ontologien) im Zuge der Erstellung konzeptueller Modelle eingesetzt werden,^{1504, 1505} andererseits Ontologien (insbes. Domänenontologien) aber zuweilen auch auf Grundlage konzeptueller Modelle entwickelt werden,¹⁵⁰⁶ und diesen im *Ontology Engineering* damit nachgelagert sind;

(ii) in diesem Wechselspiel gelangen die verschiedensten Ontologiearten zur Anwendung,¹⁵⁰⁷ allen voran Top-level Ontologien,¹⁵⁰⁸ aber auch Kernontologien,¹⁵⁰⁹ Domänenontologien,¹⁵¹⁰ Aufgabenontologien,¹⁵¹¹ oder aber – jenseits der Wiederverwendung, also aller vorgenannten *Referenzontologien* – auch Anwendungsontologien;¹⁵¹²

(iii) analog zu den Ontologien ist auch in Bezug auf konzeptuelle Modelle zwischen Referenzmodellen und Anwendungsmodellen zu differenzieren, woraus sich auch hier ein jeweils unterschiedlicher Status konzeptueller Modelle ableitet;

(iv) erfolgt die konzeptuelle Modellierung mithilfe von Ontologien, können letztere sowohl zur einfachen Validierung konzeptueller Modelle eingesetzt werden,¹⁵¹³ aber auch umgekehrt als Basis einer direkten Generierung von konzeptuellen Modellen fungieren;¹⁵¹⁴

(v) im Zuge der Validierung können sich Ontologien auf konzeptuelle Modelle,¹⁵¹⁵ auf konzeptuelle Modellierungssprachen,¹⁵¹⁶ oder aber im Sinne dezidierter Modellierungsregeln auf den fachkonzeptuellen Modellierungsprozess und seine Methodik beziehen;¹⁵¹⁷

(vi) konzeptuelle Modelle können sich auf jedes beliebige Diskursuniversum (UoD) beziehen, neben SE-Kontexten handelt es sich oftmals jedoch im Sinne der oben erwähnten "enterprise conceptual models" um EA-Kontexte; sie können aber auch lediglich EA-Teilaspekte adressieren, und dabei im Sinne des in Pkt. 2.5 diskutierten PPR-Frameworks insbesondere auf die Service- bzw. Produktdimension (PSS),^{1518, 1519} die Prozessdimension oder die Ressourcendimension abzielen;

¹⁵⁰⁴ Vgl. etwa Shanks et al. (2008, 2010) sowie McCusker et al. (2011).

¹⁵⁰⁵ In diesem Sinne wird von *Ontology-Driven Conceptual Analysis* (ODCA), vgl. etwa Guarino/Welty (2000c), bzw. von *Ontology-Driven Conceptual Modeling* (ODCM), vgl. etwa Verdonck (2014) sowie Verdonck et al. (2014), gesprochen. Die natürliche Verbindung zwischen konzeptuellen Modellen und Ontologien besteht dabei darin, dass jedes konzeptuelle Modell notwendig *ontologische Annahmen* trifft, vgl. Mylopoulos (1998) sowie Mylopoulos/Borgida (2006: 30).

¹⁵⁰⁶ Vgl. exemplarisch Tamma/Bench-Capon (2001b), Jarrar et al. (2003) oder Spaccapietra et al. (2004).

¹⁵⁰⁷ Vgl. zur Abgrenzung der *Ontologiearten* Pkt. 3.3.1.

¹⁵⁰⁸ Vgl. etwa Wand/Monarchi et al. (1995).

¹⁵⁰⁹ Vgl. etwa Christophoulou et al. (2004) sowie Verdonck (2014).

¹⁵¹⁰ Vgl. etwa Wimmer/Wimmer (1992) sowie Gailly/Poels (2010).

¹⁵¹¹ Vgl. etwa Martins/Falbo (2008).

¹⁵¹² Vgl. etwa Fonseca et al. (2003).

¹⁵¹³ Vgl. Shanks/Tansley/Weber (2003).

¹⁵¹⁴ Vgl. etwa Sugumaran/Storey (2002), Jin/Wan/Yue (2007) oder Mezgár/Kincses (2007).

¹⁵¹⁵ Vgl. etwa Shanks et al. (2003).

¹⁵¹⁶ Vgl. etwa Opdahl/Henderson-Sellers (2002).

¹⁵¹⁷ Vgl. hierzu etwa Soffer/Hadar (2007).

¹⁵¹⁸ Vgl. etwa Felfernig et al. (2001).

¹⁵¹⁹ Insbesondere mit Blick auf die *Produktdimension* ist herauszustellen, dass die konzeptuelle Modellierung komplexer Produkte im Ontologiekontext von Innovationsprozessen regelmäßig im Zeichen der *Nicht-existenz spezifischer Objekte* sowie der *Ontologie der Artefakte* (vgl. hierzu Pkt. 4.6) steht. Insbesondere

(vii) insgesamt kommen konzeptuellen Modellen im IS-Kontext damit mindestens drei Rollen zu, nämlich eine deskriptive, eine normative sowie – im Implementierungssinne – eine institutionelle;¹⁵²⁰

(viii) es kommen sowohl *realistische* Ontologien,¹⁵²¹ vereinzelt aber auch *linguistische* Ontologien zum Einsatz,¹⁵²² jeweils bezogen auf die verschiedensten Ontologiearten.¹⁵²³ Realistische Ontologiekonzepte beziehen sich ausschließlich (z.B. BWW, BFO) bzw. primär (z.B. CYPO) auf die aktuelle Welt, während linguistische Ontologiekonzepte oftmals generell auf Basis möglicher Welten operieren (z.B. DOLCE).¹⁵²⁴ Dabei zielt der bereits unter Pkt. 3.1 erörterte Möglichkeitsbegriff nicht auf eine Variation der aktuellen Welt, sondern auf die rein logische Möglichkeit. Diese soll die konzeptuelle Modellierung auch für irrealer Welten öffnen, was selbst vor Phantasiewelten nicht Halt macht. Allerdings besteht heute für die *realistische* Auslegung konzeptueller Modelle ein breiter Konsens;¹⁵²⁵ bereits P. Chen (1976) unterstreicht wiederholt den Realitätsbezug des ERM, und auch M. Jackson (1978) spricht durchgängig von Modellen der Realität. Dabei gilt dieser Grundsatz sowohl für abstrakte Modelle als auch für konkrete *Instanzen* dieses Modells.¹⁵²⁶

Analoges gilt im CM-Kontext für CM-adäquate Ontologien; so wird etwa im *Ontology Summit 2012 Communiqué* betont: »[O]ntologies explicitly represent *real-world semantics* of the systems«. ¹⁵²⁷ Gerade mit Blick auf die EM-bezogene integrierte Informationsmodellierung werden explizit *realistische* Modelle eingefordert.¹⁵²⁸ Mit Wand/Monarchi et al. (1995) gilt: »The fundamental assumption behind the use of ontology is that an information system represents a perceived *real-world system*«. ¹⁵²⁹ Analog dazu heißt es bei R. Weber (2003a): »My argument that ontological theories provide the foundation for conceptual modelling research, practice, and pedagogy rests on a single, fundamental proposition — namely, that the *essence* of an information system is that it is a *representation* of some other real-world system«. ¹⁵³⁰ Auch M.G. Bennett (2013: 258) konstatiert: »[T]o be an ontology is to be a formal expression of real-world subject matter«. Diese Sichtweise korrespondiert mit jener B. Smithens, der gleichermaßen Verfechter des *realistischen* Ontologiekonzepts der Informatik ist, wonach das Ziel der Ontologie in nichts anderem als der *Realitätsrepräsentation* besteht.¹⁵³¹ Ferner existiert Korrespondenz insofern, als bei

mit Blick auf ontologiegestützte Design- oder Machbarkeitsstudien ist dabei herauszustellen, dass sich der Übergang von und zu fiktiven Modellen als fließend gestalten kann.

¹⁵²⁰ Vgl. Wieringa (1989).

¹⁵²¹ Vgl. etwa Shanks/Nuredini/Weber (2005).

¹⁵²² Vgl. etwa Becker/Niehaves/Pfeiffer (2008).

¹⁵²³ Vgl. hierzu auch B. Smith (2004).

¹⁵²⁴ Vgl. zum Widerstreit *linguistischer* und *realistischer* Ontologien Pkt. 3.3.2.

¹⁵²⁵ Vgl. Scheer (1990b), Mylopoulos (1992), Wand/Storey/Weber (1999), Juristo/Moreno (2000), R. Weber (2003a), Guizzardi (2005), Becker/Pfeiffer (2007) sowie Wieringa (2011).

¹⁵²⁶ Vgl. Bubenko (1980: 396).

¹⁵²⁷ Vgl. T. Schneider et al. (2012: 359), Hvh. des Verf.

¹⁵²⁸ Vgl. etwa Mertins et al. (1991).

¹⁵²⁹ Vgl. Wand/Monarchi et al. (1995: 287), Hvh. im Orig.

¹⁵³⁰ Vgl. R. Weber (2003a: 2), Hvh. im Orig.

¹⁵³¹ Vgl. B. Smith (2008b).

R. Weber (2003a) ein qualitativ gutes Informationssystem eine gute Repräsentation voraussetzt, während sich bei B. Smith (2008b) gute Ontologien dadurch auszeichnen, dass sie Repräsentationen der Realität sind. Dies ist um den Hinweis zu ergänzen, dass die inkommensurablen Top-level Ontologien in ihrer grundlegenden Repräsentationsqualität deutlich differieren. Damit avanciert in nahezu allen Fällen konzeptueller Modellierung der *rigorose* Realitätsbezug zum methodischen Postulat. Insofern verwundert es nicht, dass heute gerade auf Grundlage dieses Realitätsbezugs, den Informations- resp. Wissenssysteme fast immer besitzen,¹⁵³² auch ein breiter Konsens zur Notwendigkeit einer ontologischen Fundierung der konzeptuellen Modellierung besteht.^{1533, 1534} Mit Blick auf den Realitätsbezug wird dabei explizit ein klassisch philosophischer, d.h. realistischer Ontologiebegriff zugrundegelegt,¹⁵³⁵ der zumeist dem Standpunkt *revisionärer Metaphysik* entspricht.¹⁵³⁶

Damit wird deutlich, dass die ontologische Fundierung der konzeptuellen Modellierung im Allgemeinen nur auf Basis des *realistischen* Ontologiebegriffs durchführbar ist, der in diesem Unterfangen auch regelmäßig Verwendung findet. Hingegen kommen linguistische Ontologiekonzepte wie jenes Grubers (1993, 1995) für eine solche Fundierung allein schon deshalb nicht in Frage, weil sie nicht systematisch an der Realitätsrepräsentation orientiert sind. Somit wird im Vorgriff auf Pkt. 3.3.2 bereits an dieser Stelle deutlich, dass das linguistische Ontologiekonzept Grubers nicht nur an sich vollkommen unzureichend ist, weil es weder im Sinne einer durchgängigen TLO-Referenz eine ontologische Systematik bietet noch die Basis einer integrierenden Ontologiekonzeption bilden kann. Vielmehr scheitert es damit offenbar auch an dem zwingenden Allgemeingültigkeitskriterium. Tatsächlich handelt es sich um ein Ontologieverständnis, auf dessen Grundlage keine fundamentale ontologische Evaluierung konzeptueller Modelle resp. Modellierungssprachen möglich ist,¹⁵³⁷ worin jedoch ein wesentlicher Anwendungsbereich eines allgemein verwendbaren Ontologiekonzepts besteht. Der Gruberschen Ontologiedefinition fehlt sowohl der notwendige realitätsbezogene Überbau als auch die erforderliche konzeptionelle Tiefe, die neben

¹⁵³² Vgl. Milton (2007).

¹⁵³³ Vgl. etwa Guarino/Schneider (2003: 12): »There is a growing awareness amongst conceptual modellers [sic!] that their tools (languages and methodologies) are in need of theoretical elucidation and foundation. Conceptual modeling frameworks, e.g. ER or UML, presuppose ontological notions such as entity, object, class, attribute, association, and aggregation, which are still used in a more or less intuitive and unreflected way. Furthermore, the design and maintenance of large scale information systems presupposes well-understood and reusable top-level ontologies«.

¹⁵³⁴ Zu dieser Auffassung gibt es nur ganz vereinzelte Contra-Positionen, etwa jene von Wyssusek/Klaus (2005a, 2005b); sie meinen, eine ontologiebasierte konzeptuelle Modellierung sei prinzipiell unmöglich, vgl. Wyssusek/Klaus (2005a). Als zentrales Argument führen sie dazu an, dass weder formale Sprachen noch formale Ontologien dabei helfen würden, das Problem der Subjektivität und des linguistischen Relativismus zu überwinden, vgl. Wyssusek/Klaus (2005b: 338). Das aber wird im Allgemeinen genau umgekehrt gesehen, vgl. hierzu auch die Repliken Opdahls (2006) sowie Wand/Webers (2006).

¹⁵³⁵ Vgl. etwa Wand/Storey/Weber (1999) oder Evermann/Wand (2005).

¹⁵³⁶ Das gilt allen voran für die BWV-TLO, aber auch für Ansätze wie etwa die 4D-Ontologie; bei anderen TLO-Theorieanwärttern stellt sich die Sachlage oftmals nicht ganz so klar dar; zumeist handelt es sich bei ihnen um neo-aristotelische Ansätze, die letztlich Objekt- resp. Substanzontologien markieren. Im Fall der DOLCE-TLO handelt es sich zwar um einen philosophisch gehaltenen Ansatz, der jedoch nicht der *revisionären*, sondern der *deskriptiven* Metaphysik zuzurechnen ist; vgl. Pkt. 6.2.2.

¹⁵³⁷ Vgl. zu Evaluierungskriterien konzeptueller Modellierungssprachen Halpin (2001: 56).

der notwendigen Klärung meta-ontologischer Aspekte eine Integration verschiedenster Ontologietypen zulässt und damit erst eine vollumfängliche Interoperabilität wie Transdisziplinarität ermöglicht. Diese Qualitäten kann eine Ontologiekonzeption allein dann erfahren, wenn ein *realistisch-metaphysisches Ontologieverständnis* zugrundegelegt wird, das sich in integrierten Smart Web Szenarien mehr und mehr durchsetzt. Bzw. wenn es im Kontext von U-PLM- und anderen Informations- und Wissenssystemen um Aspekte wie CPS, CAS oder Multiagentensysteme (MAS) und damit um ein postklassisches, integriertes CM- und AI-Verständnis geht. In der Tat gründet die bisherige Akzeptanz des Gruberschen Ontologieverständnisses offensichtlich darauf, dass es bisher noch nicht Gegenstand einer tieferen Reflexion gewesen ist – denn es kann weder einer solchen Reflexion noch einem postklassischen CM- bzw. AI-Verständnis standhalten. Überhaupt ist es als allgemeines Ontologieverständnis ungeeignet – was in Pkt. 3.3.2 genauer dargelegt wird.

Wenn mit dem mehrdimensionalen Wechselspiel zwischen konzeptuellen Modellen und Ontologien deutlich wird, dass sich diese Interdependenz zwischen allen Ontologiearten bewegt, also etwa von der Top-level Ontologie über die Kernontologie oder Domänenontologie bis hin zur Anwendungsontologie, wird allein schon zum Zwecke der Enterprise Integration eine *integrierte Ontologiekonzeption* notwendig, die alle Ontologiearten systematisch aufeinander abstimmen kann. Indem sich die konzeptuelle Modellierung primär auf das reale Sein bezieht, bietet sich zudem ein *einheitlicher Ontologiebegriff* an, der nicht mehr länger zwischen einer philosophischen und einer linguistischen Variante trennt, worauf wir weiter unten noch näher eingehen. Insgesamt ist für das Wechselspiel zwischen konzeptuellen Modellen und Ontologien damit vor allem die *philosophisch* fundierte Top-level Ontologie entscheidend, weil diese nicht nur über die fundamentalen Kategorien für alle Klassen, Objekte oder Entitäten von Relevanz ist, sondern gerade auch im Hinblick auf alle meta-ontologischen Aspekte, die durch die konzeptuelle Modellierung genauso wesensnotwendig zu berücksichtigen sind. Die Top-level Ontologie ist deshalb von eminenter Bedeutung, weil sie die einzige Ontologieart ist, die de facto *universal* ist in dem Sinne, als ihre generischen und abstrakten Sachverhalte im transdisziplinären wie philosophischen Sinne für alle Welten, alle Diskursuniversen und damit letztlich für alle Disziplinen, für Wissenschaft, Technologie und Praxis einheitlich vorausgesetzt werden können.¹⁵³⁸ Entsprechend ist die Top-level Ontologie auch für die Klärung grundsätzlicher Fragen der konzeptuellen Modellierung unverzichtbar, etwa für die in Pkt. 4.5 behandelte Mereologie (Teil-Ganzes-Beziehungen),^{1539, 1540} für Fragen der quantitativen Repräsentation,¹⁵⁴¹ aber auch für Aspekte wie Identität, Einheit, Starrheit oder Abhängigkeit,¹⁵⁴² genauso wie etwa

¹⁵³⁸ Vgl. hierzu auch Mizoguchi/Kitamura (2001), S.M. Richard (2006: 105) sowie Lim et al. (2011: 8 f.).

¹⁵³⁹ Vgl. etwa Artale et al. (1996), Guarino/Pribbenow/Vieu (1996), Guizzardi (2007b), Keet/Artale (2008) sowie Herre (2010b).

¹⁵⁴⁰ Teilweise werden dazu auch mathematische Theorien, etwa die *Kategorientheorie* herangezogen, vgl. etwa Frederiks et al. (1997).

¹⁵⁴¹ Vgl. etwa Guizzardi (2010).

¹⁵⁴² Vgl. etwa Guarino/Welty (2000c, 2002).

zur Klärung funktionaler Beziehungen von Systemen einschließlich funktionaler resp. sozialer Rollen.¹⁵⁴³ Diese sind für alle IoX- bzw. U-PLM-Systeme wesentlich.¹⁵⁴⁴ Wie im vierten und sechsten Teil dargelegt, handelt es sich bei diesen meta-ontologischen Aspekten neben klassisch ontologischen auch um umfassende epistemologische und wissenschaftstheoretische Grundsatzentscheidungen, die für konzeptuelle Modelle gleichermaßen wie für alle Ontologien entscheidend sind. Damit wird deutlich, dass sie sich einheitlich allein über die Top-level Ontologie der Informatik steuern lassen, damit das mehrdimensionale Wechselspiel von konzeptuellen Modellen und Ontologien tatsächlich ein kohärentes Ganzes bilden kann, das dabei auf den gleichen Axiomen beruht.

Im Kontext der konzeptuellen Modellierung werden Top-level Ontologien bisher insbesondere dazu herangezogen, CM-relevante Referenzmodelle sowie alternative Modellierungsmethoden resp. konzeptuelle Modellierungssprachen (ERM,¹⁵⁴⁵ EERM,¹⁵⁴⁶ UML,¹⁵⁴⁷ ORM/NIAM,¹⁵⁴⁸ ORM2,¹⁵⁴⁹ Telos,¹⁵⁵⁰ usw.) zu evaluieren und für letztere entsprechende Nutzungsrichtlinien zu entwickeln.¹⁵⁵¹ Da mit Blick auf die Enterprise Integration von U-PLM-Systemen das PPR-Framework auch für die konzeptuelle Modellierung grundlegend ist, zielt eine solche Evaluierung auf Basis von Top-level Ontologien neben allgemeinen konzeptuellen Modellierungssprachen insbesondere auch auf Modellierungsnotationen (BPMN, EPC usw.) zur Prozessmodellierung. Faktisch werden heute für solche Evaluierungen im Rahmen konzeptueller Modellierungen vollkommen unterschiedliche Top-level Ontologien eingesetzt. Dabei kommt fast das gesamte Spektrum realistischer wie linguistischer TLO-Ansätze zum Zuge. Konkret werden zur ontologischen Fundierung der konzeptuellen Modellierung etwa folgende Top-level Ontologien im Sinne von TLO-Theorieanwärttern regelmäßig bemüht: BFO,¹⁵⁵² BWW,¹⁵⁵³ DOLCE/OntoClean,¹⁵⁵⁴ GOL/GFO,¹⁵⁵⁵

¹⁵⁴³ Vgl. etwa Van Heijst et al. (1997b), Boella et al. (2007), Vieu et al. (2008) sowie West (2008).

¹⁵⁴⁴ Vgl. Smirnov/Levashova et al. (2010).

¹⁵⁴⁵ Vgl. P. Chen (1976).

¹⁵⁴⁶ Vgl. Thalheim (2011a).

¹⁵⁴⁷ Vgl. OMG (2011b); vgl. ergänzend Felfernig et al. (2001), Letters (2006) sowie zur Reflexion auf Basis der BWW-TLO Evermann/Wand (2001). UML stellt insbesondere im Bereich des objektorientierten Softwareentwurfs den akzeptierten Standard dar, vgl. etwa Allweyer (2009: 9).

¹⁵⁴⁸ Vgl. zu NIAM Gielingh et al. (1991) sowie Weber/Zhang (1996); vgl. zu ORM Keet (2005), Jarrar (2005), Henricksen et al. (2005) sowie Halpin (2006, 2007).

¹⁵⁴⁹ Vgl. Halpin (2005b, 2007) sowie Casini/Mosca (2013).

¹⁵⁵⁰ Vgl. Koubarakis et al. (1989), Mylopoulos/Borgida et al. (1990) sowie Mylopoulos (1992).

¹⁵⁵¹ Vgl. Guizzardi/Halpin (2008).

¹⁵⁵² Vgl. B. Smith (2004), Grenon/Smith (2004) sowie McCusker et al. (2011).

¹⁵⁵³ Vgl. Wand/Weber (1988, 1989b, 1990a, 1990b, 1990c), Takagaki (1990), Takagaki/Wand (1991), Wand/Monarchi et al. (1995), R. Weber (1997a), Opdahl/Sindre (1997, 2007), Opdahl/Henderson-Sellers (1999, 2001, 2002, 2004, 2005), Green/Rosemann (2000, 2002, 2004a, 2004b, 2005), Bodart et al. (2001), Evermann/Wand (2001, 2005), Rosemann/Vessey/Weber (2004), Rosemann/Vessey et al. (2004), Evermann (2005a, 2005b, 2009), Recker/Indulska et al. (2005, 2006, 2008), Rosemann/Green/Indulska (2005), Gehlert/Pfeiffer (2007), Green/Rosemann/Indulska (2007), H. Zhang et al. (2007), Zur Mühlen et al. (2007), Recker/Niehaves (2008), Rosemann/Green et al. (2009), Aagesen/Krogstie (2010), Becker et al. (2010), Siau (2010), Zur Mühlen/Indulska (2010), Fickinger/Recker (2013), Liao et al. (2013), Penicina (2013) sowie Reinhartz-Berger et al. (2013).

¹⁵⁵⁴ Vgl. Guizzardi/Wagner et al. (2004).

¹⁵⁵⁵ Vgl. Guizzardi/Herre/Wagner (2002a, 2002b), Herre/Heller (2005), Heußner (2008) und Herre (2010a).

OCHRE,¹⁵⁵⁶ SUMO,¹⁵⁵⁷ UFO,¹⁵⁵⁸ oder aber bspw. auch die Chisholm-Ontologie.¹⁵⁵⁹ Dabei zeigt sich in diesem Bereich die realistische wie revisionäre BWW-TLO, die auf der nicht unumstrittenen materialistischen Ontologie Bunges (1977a) aufbaut, als mit Abstand am weitesten verbreitet.¹⁵⁶⁰ Andere Autoren suchen Teile diverser Top-level Ontologien wie BWB, GOL/GFO, UFO sowie DOLCE für eine experimentelle Top-level Ontologie zu kombinieren, die nicht auf Modellierungssprachen, sondern auf nachgeordnete Phasen des Systementwurfs und der Implementierung zielt.¹⁵⁶¹ Darüber hinaus sind weitere TLO-Theorieanwärter, etwa die Sowa-TLO für die konzeptuelle Modellierung insofern von unmittelbarer Relevanz, als diese auf Basis konzeptueller Graphen eine direkte Verbindung zwischen graphentheoretischen Konzepten und semantischen Netzen anvisiert.¹⁵⁶² Damit geht es auch hier um die Verbindung zwischen konzeptuellen und semantischen Modellen.

Im Zuge der ontologischen Evaluierung resp. Fundierung der konzeptuellen Modellierung ist das in Pkt. 1.2 erörterte Inkommensurabilitätsproblem der Top-level Ontologien offenbar in mehrfacher Hinsicht von essentieller Relevanz. Das betrifft etwa zum einen die konkrete Frage, *welcher* der zahlreichen TLO-Theorieanwärter sich für diesen Zweck besser eignet als konkurrierende TLO-Ansätze. Wenn Fettke/Loos (2003b) mit Blick auf den Einsatz von Top-level Ontologien im Kontext der konzeptuellen Modellierung am Ende ihrer ontologischen Evaluierung von Referenzmodellen auf Basis der BWB-TLO die Frage offenlassen, »welchen Einfluss konkurrierende ontologische Ansätze auf die Ergebnisse einer ontologischen Evaluierung ausüben«, sollte vor diesem Hintergrund kein Zweifel daran bestehen, dass dies ein ganz entscheidender ist. Wenn Top-level Ontologien sich als *fundamental inkommensurabel* erweisen, steht außer Frage, dass sich diese Inkommensurabilität auch unmittelbar auf die Ergebnisse solcher Evaluierungen auswirkt: Eine auf Stabilität ausgelegte substanzontologische Top-level Ontologie führt freilich zu anderen Schlüssen als eine auf Wandel angelegte prozessontologische Top-level Ontologie. Genauso führt etwa ein auf komplexe Entitäten spezialisierter TLO-Anwärter in diesem Zusammenhang selbstredend zu anderen Evaluationsergebnissen als ein TLO-Anwärter, bei dem sich die Frage komplexer Entitäten erst gar nicht wesentlich stellt. Ein TLO-Ansatz mit hochkomplexer Struktur stellt offensichtlich ganz andere Anforderungen etwa mit Blick auf die Vollständigkeit als eine simpel strukturierte TLO-Variante. Es sei hier an den in Pkt. 3.1 erwähnten *internen Realismus* Putnams (1987, 1990) erinnert: »how many objects there are in the world [...] is relative to the choice of a conceptual scheme«,¹⁵⁶³ was

¹⁵⁵⁶ Vgl. L. Schneider (2003a, 2003c).

¹⁵⁵⁷ Vgl. Farrar (2003).

¹⁵⁵⁸ Vgl. Guizzardi/Wagner (2004, 2005a, 2005b, 2010), Bergholtz et al. (2013), Guizzardi et al. (2013) sowie Melo/Almeida (2014).

¹⁵⁵⁹ Vgl. Milton et al. (1998), Milton/Kazmierczak/Keen (2002) bzw. Milton/Kazmierczak (2004).

¹⁵⁶⁰ Vgl. Bonfatti/Pazzi (1995), Gregersen/Jensen (1999), Green/Rosemann (2000), Opdahl/Henderson-Sellers (2002), Fettke/Loos (2005) sowie Fettke (2006).

¹⁵⁶¹ Vgl. Bräuer/Lochmann (2007).

¹⁵⁶² Vgl. hierzu Sowa (1992a, 2000, 2006b, 2008).

¹⁵⁶³ Vgl. Putnam (1987: 32).

durchaus auf die Wahl von Top-level Ontologien beziehbar ist. Insgesamt ist festzustellen, dass die teils hochgradig divergenten Top-level Ontologien jeder ontologischen Analyse von vornherein ihren Stempel aufsetzen, und dieser kann nur jener der Informatik sein. Insofern jeder TLO-Ansatz metaphysisch disponiert ist, bleibt daraus zu schließen, dass der richtige TLO-Ansatz für solche ontologischen Analysen mit Blick auf Cyber-physische Systeme (CPS) notwendig unter dem Regime der Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik als Cyber-Physik steht. Damit wird das Kriterium der CYPO-Konformität maßgeblich.

Zum anderen erfährt das Inkommensurabilitätsproblem dadurch seine unmittelbare Relevanz, als damit verbunden von verschiedener Seite eine komparative Kritik einzelner Ansätze unternommen wird. Dabei wird etwa die BWW-TLO mit der Chisholm-TLO,¹⁵⁶⁴ die BWW-TLO mit der DOLCE-TLO,¹⁵⁶⁵ die DOLCE-TLO mit der OCHRE-TLO,¹⁵⁶⁶ die DOLCE-TLO mit der BFO-TLO,¹⁵⁶⁷ oder die OCHRE-TLO mit der BFO-TLO konfrontiert.^{1568, 1569} Es kann bislang nicht davon gesprochen werden, dass solche TLO-Vergleiche für Zwecke der konzeptuellen Modellierung mit einem insgesamt aussagekräftigen Ergebnis abgeschlossen werden konnten. Wie im folgenden Pkt. 3.2.3 und insbesondere in Pkt. 3.2.4 dargelegt, bedarf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* indessen *einer* IoX-adäquaten Top-level Ontologie, die in integrierter Weise sowohl die Referenzbasis für die ontologische Fundierung der konzeptuellen Modellierung als auch gleichzeitig für eine realitätsgerichtete Wissensrepräsentation stellt, die jedoch etwa mit Blick auf Innovationsprozesse oder alternative Steuerungsszenarien aber auch *mögliche Welten* zulassen muss.¹⁵⁷⁰ In einem solchen integrierten Ansatz kommt der konzeptuellen Modellierung naturgemäß die primäre Rolle zu, wobei mit Herre/Heller (2005: 266) gilt: »Testing and proving the usability of top-level ontologies in conceptual modeling of real domains is an important step in establishing them as an integral part of *Ontological Engineering*«. ¹⁵⁷¹

Indem komplexe konzeptuelle Modelle auf Basis konzeptueller Modellierungssprachen entwickelt werden, bildet die Evaluierung letzterer an für sich den richtigen Ansatzpunkt einer ontologischen Analyse. Allerdings sind solche Analysen letztlich wenig aussagekräftig, wenn prinzipiell unklar ist, welcher der konkurrierenden TLO-Ansätze den für die Zwecke der Informatik tatsächlich sachgerechten "*general world view*" in sich verkörpert. Mit Blick auf die bereits im Grundsatz konfligierenden TLO-Ansätze sind solche Evaluie-

¹⁵⁶⁴ Vgl. I. Davies et al. (2003) sowie Milton (2004).

¹⁵⁶⁵ Vgl. Colomb/Ahmad (2010).

¹⁵⁶⁶ Vgl. L. Schneider (2003a).

¹⁵⁶⁷ Vgl. etwa Masolo et al. (2003) sowie Oberle (2006).

¹⁵⁶⁸ Vgl. etwa Masolo et al. (2003) sowie Oberle (2006).

¹⁵⁶⁹ Das relativiert sich insofern, als L. Schneider selbst mittlerweile die BFO favorisiert, vgl. Schneider/Brochhausen (2011).

¹⁵⁷⁰ Dies ist insofern selbstverständlich, als sich jede konzeptuelle Modellierung auf Diskursuniversen (UoD) bezieht, deren Idee auf Booles (1854) *Universe of Discourse* (UoD), das eine logico-mathematische Diskurswelt meint, zurückgeht. Im universalen Leibnizschen (1714a) Sinne beziehen diese automatisch *mögliche Welten* mit ein. Damit muss es schließlich um *cyber-physische Welten* gehen, die sich sachgerecht allein über Whiteheads universalen Gedanken zellulärer Automaten erschließen lassen.

¹⁵⁷¹ Hvh. im Orig.

rungen kaum wirklich aufschlussreich. Vielmehr sind zunächst einmal die TLO-Ansätze an sich einer solchen Evaluierung und Selektion zu unterziehen; erst dann lassen sie sich selbst für solche Zwecke nutzen. Denn über ihre meta-ontologischen Aspekte weisen die einzelnen TLO-Ansätze vollkommen differente fundamentale Weltmodelle auf. Substanzontologische TLO-Ansätze vermitteln eine substanzontologische Weltperspektive, prozessontologische TLO-Theorien entsprechend eine prozessontologische; mögliche Welten werden durch bestimmte TLO-Ansätze erst gar nicht zugelassen. Bei anderen liegt der Fokus etwa allein auf dem materiellen Sein, was etwa im Kontext Cyber-physischer komplexer Systeme (CPS) oder künstlicher Welten offensichtlich eine fragwürdige Vorbedingung darstellt. So gesehen lassen sich solche ontologische Evaluierungen offensichtlich kaum durchführen, ohne die wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen TLO-Ansätzen in essentieller Weise zu berücksichtigen. Letztlich wird die ontologiebasierte konzeptuelle Modellierung also immer durch eine Top-level Ontologie bestimmt, unabhängig davon, ob dieser Rückgriff explizit oder implizit geschieht. Anders gewendet setzt jedes konzeptuelle Modell *notwendig* eine ganze Reihe metaphysischer Annahmen voraus,¹⁵⁷² wobei es mit Blick auf funktionierende Systemintegrationen bei verteilten Systemen gelten sollte, diese im Zuge eines spezifischen TLO-Rekurses explizit zu machen.

Für U-PLM-Systeme ist die konzeptuelle Modellierung elementar, und zwar mindestens in dreifacher Hinsicht: (i) für U-PLM-Systeme als Integrationsplattform der Smart Factory bzw. des Smart Enterprise insgesamt: Ohne konzeptuelle Modelle ist weder eine systematisch entwickelte Enterprise Architecture (EA) noch eine durchgreifende Semantic resp. Smart Enterprise Integration (SEI) möglich. Analoges gilt für die PPR-Teilmodelle, also etwa im Hinblick auf Produkt- oder Prozessmodelle. In global verteilten komplexen PLM-Systemen stellt sich dabei gerade im Kontext dieser Systeme das Problem eines geteilten Verständnisses relevanter (realer) Diskursuniversen. (ii) Die konzeptuelle Modellierung bildet den Ausgangspunkt für das Software Engineering (SE) allgemeiner PLM-Softwarelösungen, einschließlich branchenspezifischer Modifizierungen. Sie gestaltet sich bei der Entwicklung von PLM-Software deshalb äußerst anspruchsvoll, weil die konzeptuelle Modellierung nicht nur zugleich auf integrierte Prozess- und Wissenssysteme und damit auf den unmittelbaren Übergang zur Wissensrepräsentation abzustellen hat, sondern auch eine Vielzahl von Teilmodellen integrieren muss (PPR-Framework; BOL-, MOL-, EOL-Phase usw.). In allgemeiner Hinsicht geht es dabei um Fragen etwa von PLC- oder EI-Konzepten und damit um eine allgemeine PLM-Diskurswelt, während branchenspezifische Anpassungen etwa konkret auf die Diskurswelt der chemischen Prozessindustrie oder der Medizintechnik und die jeweilige Methodik ihrer Innovationsprozesse abzustellen haben. (iii) Nicht nur Teile von Closed-loop U-PLM-Systemen in ihrer Eigenschaft als Integrationsplattform (z.B. Smart Factory mit CPPS, intelligente PEID-Produkte in integrierter

¹⁵⁷² Vgl. hierzu etwa Hirschheim et al. (1995) sowie R. Weber (1997a, 1997b); vgl. dazu ferner Henderson-Sellers (2013a, 2013b).

MOL-Phase) sowie eine Reihe auf ihrer Basis entwickelter komplexer Produkte bilden CPS. Vielmehr stellen U-PLM-Systeme mit Verweis auf Pkt. 1.5.1 insgesamt komplexe Cyber-physische Systeme dar, was auch in EA- bzw. SEI-Hinsicht (vgl. Pkt. (i)) sowie in SE-Hinsicht (vgl. Pkt. (ii)) entsprechend zu berücksichtigen ist. Damit hat die konzeptuelle Modellierung der relevanten Diskurswelten nicht nur insgesamt darauf abzustellen, dass U-PLM-Systeme CPS bilden, sondern es gilt vielmehr, Diskurswelten für *jedes* einzelne der in das Gesamtsystem eingebetteten CPS in konzeptuelle Modelle zu fassen. D.h., dass für *jeden* intelligenten Automaten oder kognitiven Roboter entsprechende Diskurswelten zu modellieren sind. Für eine selbststeuernde Interaktion mit ihrer Umwelt benötigen CPS als aktiver Part stetig wandelnder Diskursuniversen nicht nur Ontologien, sondern auch ein eigenes, ggf. dynamisch evolvierendes konzeptuelles Modell. Das steht schon für McCarthy (1995) außer Frage: »[A] robot, if it is to have human level intelligence and ability to learn from its experience, needs a *general world view* in which to organize facts«. ¹⁵⁷³ Wenn es um eine solch *allgemeine* Weltsicht geht, ist evident, dass CPS sowohl ihre konzeptuellen Modelle als auch ihre Wissensontologien allein auf eine geeignete *Top-level Ontologie* als allgemeiner Referenzebene beziehen können. Genauso steht außer Frage, dass für die CPS-Selbststeuerung wie für ihr Objektverständnis insbesondere Ereignisse mitsamt der ihnen übergeordneten Prozesse im Sinne von McCarthys (1995) "facts" den zentralen Ansatzpunkt bilden. Mit diesen drei zusammenhängenden Argumenten zeigt sich nicht nur die generelle Notwendigkeit der ontologiegestützten konzeptuellen Modellierung für PLM-Systeme, sondern auch, dass sie insgesamt ein aufschlussreiches *IoX-Referenzszenario* für diesbezügliche Diskussionen der Informatik bilden.

Komplexe Cyber-physische Systeme (CPS), wie sie die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* mit Blick auf alle PLM-relevanten Industrien – von der Automobilindustrie bis zur Luft- und Raumfahrtindustrie – notwendig vorauszusetzen hat, führen damit in Kernbereichen der konzeptuellen Modellierung (z.B. EA/EI, SE) zum Erfordernis, eine vollständig neue Sicht auf diese zu entwickeln. Analog des im nachfolgenden Pkt. 3.2.3 dargelegten *postklassischen AI-Verständnis*, das führende Fachvertreter bereits teilen, konstituiert sich auch mit Blick auf das CM-Verständnis ein grundlegender Änderungsbedarf. Dieser erweist sich bei genauerer Betrachtung als derart einschneidend, dass parallel zur AI-Sphäre auch von einem *postklassischen CM-Verständnis* gesprochen werden muss: Natürlich müssen in integrierten Systemwelten auch die AI- und CM-Ansätze konvergieren, womit ein *postklassisches AI-Verständnis* im Grunde selbstverständlich auf ein korrespondierendes *postklassisches CM-Verständnis* hinausläuft. Indem CPS bzw. CPPS der Smart Factory für die Diskurswelten moderner PLM-Systeme immer bestimmender werden, hat auch die konzeptuelle Modellierung dieser Diskurswelten entsprechend auf die Natur von CPS resp.

¹⁵⁷³ Vgl. McCarthy (1995: 2041), Hvh. des Verf.

CPPS abzustellen. Das ist etwa dann notwendig, wenn konzeptuelle Modelle auf die Modellierung moderner Produktionssysteme zielen.¹⁵⁷⁴

Worin bestehen nun die notwendigen wie einschneidenden Änderungen im tradierten CM-Verständnis? Worin bestehen sie, wenn sämtliche IS- bzw. IKS-Systeme nicht nur mit Pisanelli et al. (2002: 125) als ontologiebasierte Systeme zu verstehen sind, sondern diese darüber hinaus im Zeichen intelligenter Produkte, intelligenter Prozesse und intelligenter Ressourcen zunehmend selbst zum aktiven, selbststeuernden und rückkoppelnden Bestandteil ihrer Diskurswelten avancieren und damit diese selbst beeinflussen? Worin bestehen diese Änderungen im Hinblick auf McCarthys (1995) "*general world view*", wenn multisensorbasierte intelligente Automaten, Multi-Robot Systeme (MRS) oder Multiagentensysteme vielfältige Aktoren Cyber-physischer komplexer Systemen (CPS) bilden? – Mit den folgenden zehn Punkten werden Antworten auf diese Fragen gegeben, auf deren Basis der grundlegende Wandel zum *postklassischen CM-Verständnis* deutlicher wird:

- i. CPS kombinieren *reale und virtuelle Welten*,¹⁵⁷⁵ indem virtuelle Welten prinzipiell mögliche Welten mit umfassen, wird eine darauf abstellende integrierte Ontologiekonzeption erforderlich. Eine adäquate Modellierung dieser Welten kann allein auf Basis einer universalen Perspektive gelingen, die für virtuelle und physische Welten gleichermaßen geeignet ist: das läuft auf eine *universale komplexe Systemperspektive* hinaus, auf deren Grundlage auch die notwendigen Übergänge zwischen aktueller Welt und möglichen Welten gegeben sind. Dabei gibt die Top-level Ontologie die fundamentale Weltansicht für die konzeptuelle Modellierung vor: »Cyber-Physical Systems (CPS) interact with real world entities, and must hold internal representations of these entities in order to handle them appropriately«. ¹⁵⁷⁶ Insofern erfordert ein *postklassisches CM-Verständnis* offenbar eine Top-level Ontologie, die nicht nur gleichzeitig auf reale wie physische Welten abstellen kann, sondern die dabei insbesondere auch dem Komplexitätsgesichtspunkt von CPS Rechnung trägt. Entsprechend gilt dies auch für virtuelle wie für künstliche Welten. Mit Cyber-physischen komplexen Systemen ist evident, dass McCarthys (1995) "*general world view*" systematisch auf die Belange der *Theorie komplexer Systeme* abzustellen hat. Tatsächlich tendiert die Forschungspraxis im Bereich der CPS, CPPS, CPSS, MRS, AI und MAS schon gegenwärtig in genau diese Richtung.¹⁵⁷⁷ Da diese Systeme allesamt auf *komplexe Systeme* rekurren, ist absehbar, dass sich diese Entwicklung noch deutlich verstärken wird. Damit unterscheidet sich ein *postklassisches CM-Verständnis* insofern in radikaler Weise von der klassischen Variante, als das Dis-

¹⁵⁷⁴ Vgl. hierzu etwa Nguyen/Bérard (1991).

¹⁵⁷⁵ Vgl. etwa K.-J. Park et al. (2012: 1): »CPS mainly take into account the interaction between the physical elements in the real world and the computing elements in the cyber space«.

¹⁵⁷⁶ Vgl. Mordecai et al. (2013: 4505).

¹⁵⁷⁷ Vgl. etwa Kiss (1991), Prieto et al. (2008), Poole/Mackworth (2010), Weichhart/Naudet (2014) sowie Solaiman et al. (2015).

kursuniversum (UoD) als Ausgangspunkt der Modellierung in vollkommen anderer Weise erfasst wird als bisher. Denn im Sinne der *Theorie komplexer Systeme* lässt es sich nicht mehr als *einfaches UoD* behandeln, das als Menge gerade interessierender Entitäten aufgefasst wird. Vielmehr ist das Diskursuniversum als *komplexes UoD* zu modellieren, das eine speziell auf *komplexe Entitäten* abstellende mereologische Perspektive einfordert,¹⁵⁷⁸ was in Pkt. 4.5 näher thematisiert wird. Darüber hinaus wird mit dem Voraussetzen *komplexer UoD* die Notwendigkeit einer in Pkt. 6.2.7 näher thematisierten *emergentistischen Mehrebenenontologie* impliziert, wie sie durch Emmeche et al. (1997, 2000) und andere als *Ontology of Levels* in der Komplexitätsforschung vertreten wird, und etwa mit Herre (2010a) oder Obrst/Cassidy (2011) auch bereits für die *Top-level Ontologie* eingefordert wird. Denn einzelne modellierte Diskursuniversen stehen kaum isoliert für sich, sondern bilden vielmehr Bestandteile eines systemischen Ganzen. Eine systematisch auf CPS-Belange abstellende *emergentistische Top-level Mehrebenenontologie* existiert derzeit nicht; in ihr liegt jedoch die Basis zur Realisierung echter MAS-Superintelligenz.

- ii. CPS sind selbst *aktiver Part der Diskurswelt* (UoD); als solche sind sie kontextsensitiv (CAW-Ontologien) resp. situationssensitiv (SAW-Ontologien),¹⁵⁷⁹ indem sie vermittels von Multisensorsystemen (Sensorontologie) über kognitive Funktionen verfügen. Sie bedeuten gegenüber der Modellierung herkömmlicher *Embedded Systems* insofern einen Paradigmenwechsel für das *Systems Engineering*, als sie nicht nur fundamental transdisziplinär sind, sondern bei ihnen auch die herkömmliche Differenzierung von Design vs. Implementierung sowie Betrieb vs. Wartung zugunsten eines *integrierten, selbstorganisierten Lebenszyklus* entfällt.¹⁵⁸⁰ Insofern sich das CPS-Engineering modellintensiv gestaltet, sind damit auch unmittelbare Konsequenzen für die konzeptuelle Modellierung verbunden. CPS sind dabei auf Basis einer hybriden Agentenarchitektur nicht nur zur Wahrnehmung ihrer physischen Umgebung imstande. Sie können die dabei gewonnenen Daten resp. Informationen im Sinne höherer Informationsfusion (HLIF) im Wechselspiel von lokaler und globaler Intelligenz auch weiter verarbeiten. Dabei wird auch ein TLO-referenzierendes Ontologie-Mapping mit Wissensontologien technologischer bzw. wissenschaftlicher Provenienz möglich. Auf dieser Grundlage einer hybriden Agentenarchitektur ist eine umfassende Inferenz möglich, womit sie schließlich auf Basis genauso weitreichender Selbststeuerung ihre physische Umgebung auch koordiniert beeinflussen können.¹⁵⁸¹ Neuronale Netze und induktives bzw. implizites Wissen reichen in CPS-Kon-

¹⁵⁷⁸ Vgl. hierzu auch Junkkari (2012), insbes. pp. 207 f.

¹⁵⁷⁹ Vgl. etwa Teslya et al. (2014).

¹⁵⁸⁰ Vgl. Schätz (2014).

¹⁵⁸¹ Vgl. auch Mainzer (2010: 13).

texten deshalb nicht aus, weil die Erschließung der Cyber-Physik genauso wie andere Sachverhalte objektiven Wissens nicht in einem konstruktivistischen Modus möglich ist. Entscheidend ist dabei die Abstimmung von CPS-Agenten bei gleichzeitiger unmittelbarer physisch-kausaler Relevanz. Das IoV-Szenario, bei dem vollautomatische Fahrzeuge als jeweils unbekannte CPS-Agenten in interaktive Koordination treten, illustriert die koordinative CPS-Problematik bei mobilen Robotern. Im Grunde ist es in allen anderen AI-Szenarien nicht anders: es ist nicht nur sinnlos, sondern mit Verweis auf den ratio-empirischen Zusammenhang auch unmöglich, dass einzelne Agenten McCarthys (1995) "*general world view*" isoliert bzw. lokal für sich entwickeln. Regionale Intelligenz scheitert daran genauso; denn es ist unmöglich, sich *ad hoc*, d.h. in Echtzeit über die fundamentalen Belange der Cyber-Physik zu einigen. Wissenschaftliche Gesetze sind Allaussagen; sie besitzen universale Gültigkeit und sind demgemäß auch nicht regional erschließbar. Objektives Wissen erfordert vielmehr im Ganzen immer die globale Perspektive und ist entsprechend mit globaler Intelligenz korreliert. Entsprechend erfordert auch McCarthys (1995) "*general world view*" jene *globale Intelligenz*, die im Whitehead-Popperschen Sinne des Ratio-Empirismus im CPST- bzw. IoX-Hyperspace zu begreifen ist. Bei Whitehead ist insgesamt die *Subjekt-Objekt-Dichotomie* aufgehoben und das ist in Bezug auf die globale Intelligenz genauso erforderlich. Das erklärt sich dadurch, dass sie immer im Wechselspiel mit der lokalen bzw. regionalen Intelligenz zu begreifen ist. Die globale Intelligenz ist also dem jeweiligen Diskursuniversum selbst inhärent. Insofern CPS-Agenten neben den Ontologien auch konzeptueller Modelle bedürfen, wird es notwendig, die *Subjekt-Objekt-Dichotomie* insgesamt aufzuheben, während diese gerade für das klassische konzeptuelle Modellierungsverständnis konstituierend ist. Dieses tradierte Verständnis korrespondiert mit ding-, substanz- bzw. objektorientierten TLO-Ansätzen, deren grundsätzliches Weltverständnis einschließlich der Frage der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* in Pkt. 6.1.1 jenem prozessontologischer TLO-Ansätze gegenübergestellt wird. Offensichtlich wird damit eine neue integrierte TLO-basierte Ontologiekonzeption erforderlich, die diese Anforderungen als gemeinsame Referenzbasis für konzeptuelle und semantische Modelle berücksichtigen kann. McCarthys (1995) "*general world view*" für AI-Systeme wie CPS impliziert dabei, dass eine solch integrierte TLO-basierte Ontologiekonzeption im Zuge der konzeptuellen Modellierung jenes postcartesische Weltverständnis vermitteln kann, das CPS in essentieller Weise einfordern. Denn CPS sind nicht nur als *Smart Embedded Systems* in weitere technische Umgebungen eingebettet; vielmehr beziehen sich diese gerade auf die Diskurswelt, in der sie ihre Intelligenz ausspielen. Es ist also die Diskurswelt, mit der sie nicht nur situations- wie kontextabhängig im

Sinne von Ereignissen bzw. ganzer Prozesse in permanenter Wechselwirkung stehen, sondern die sie prinzipiell auch selbst – durch aktives physisches Eingreifen ggf. auch wesentlich – verändern können. Für die konzeptuelle Modellierung resultieren daraus grundlegende Änderungen, weil sie damit nicht mehr um eine Auseinandersetzung mit zentralen metaphysischen Dispositionen umhinkommt. Darauf kommen wir im vierten Teil im Rahmen der Reflexion der Bedeutung der metaphysischen Ontologie für die Informatik zurück, wenn es gilt, ein für semantische Maschinen, intelligente Automaten resp. CPS generell adäquates postcartesisches Weltverständnis zur konzeptuellen Modellierung relevanter Diskurswelten zu entwickeln. Dieses setzt eine prozessmetaphysische Grundlegung voraus, die die gängige Subjekt-Objekt-Dichotomie im klassischen CM-Verständnis überwinden kann.

- iii. CPS repräsentieren *selbstorganisatorische Systeme*; als solche benötigen sie analog zum postklassischen CM-Verständnis mit Mainzer (2014b) auch ein neues resp. postklassisches AI-Verständnis, das im Zeichen von Selbstorganisation und kontrollierter Emergenz steht. Das klassische CM-Verständnis entspricht im Zeichen der Subjekt-Objekt-Dichotomie insofern nicht CPS-Belangen, als IS- bzw. KS-Systeme nicht einen *passiven*, sondern einen *aktiven* Teil des Diskursuniversums darstellen. Intentionale CPS-Multiagentensysteme (MAS) bedürfen im Sinne der starken Agententechnologie einer eigenen, auf evolutionären Wandel abstellenden fundamentalen Repräsentation des Diskursuniversums. Dazu ist eine *prozessorientierte* Top-level Ontologie erforderlich, weil CPS – wie die Informatik an sich – an *Prozessen* orientiert sind. Indem kontext- resp. situationsbezogene CAW- resp. SAW-Ontologien durchgängig auf TLO-Ansätzen aufbauen,¹⁵⁸² wird es erforderlich, dass diese mit McCarthys (1995) "*general world view*" der AI-Systeme und der hierfür bemühten CM-Ansätze übereinstimmen; ergo muss alles einheitlich auf dem *gleichen* TLO-Ansatz aufbauen. Daraus folgt, dass sich jeder TLO-Theorieanwärter an den verschiedensten Integrations- und Anwendungsszenarien zu bewähren hat, wenn die Top-level Ontologie als *universale Referenzbasis* verstanden werden muss.¹⁵⁸³
- iv. CPS sind an *prozessualen Ereignissen*, nicht an isolierten Ereignissen zentriert; damit sind sie insgesamt *prozessorientiert*.¹⁵⁸⁴ Als intelligente, agentenbasierte Systeme muss McCarthys (1995) "*general world view*" eine Perspektive stetigen Wandels vermitteln; für intelligente CPS ist die Annahme, dass diese auf Basis einer statischen *Objektwelt* operieren, widersprüchlich. Sie bedürfen vielmehr evolutionär voranschreitender *prozessualer Weltmodelle*, in der sich die Objekte erst nach und nach herausbilden bzw. zusammenfügen. Demgemäß konstituiert

¹⁵⁸² Vgl. etwa Smirnov et al. (2014).

¹⁵⁸³ Dabei weist bereits der I40-Kontext ein Spektrum solcher Szenarien auf, vgl. BMWi (2016a).

¹⁵⁸⁴ Vgl. etwa Talcott (2008), Y. Tan et al. (2008) oder Yue et al. (2010).

sich die Objektwelt erst über die Prozesswelt. Alle modernen TLO-Ansätze setzen zwar bereits Objekte *und* Ereignisse voraus,¹⁵⁸⁵ womit in diesem Erfordernis an sich Konsens besteht. Unklar bis strittig ist hingegen zum einen die Frage ihres Verhältnisses, zum anderen damit zusammenhängend die Frage nach dem Verhältnis zwischen Ereignis und Prozess.¹⁵⁸⁶ Weil von dieser Frage unmittelbar in Pkt. 6.1.1 diskutierte Gegensatz zwischen Objekt- und Prozessontologie berührt ist, besteht in ihr die gegenwärtig wohl entscheidendste bzw. folgenreichste Frage in der Ontologieforschung überhaupt, auch wenn dies bislang selten registriert wird. Zumindest wird sie im TLO-Kontext mit Galton/Mizoguchi (2009) gestellt, wenn auch nicht hinreichend beantwortet. Diese auf den ersten Blick unbedeutende Frage ist in Wahrheit entscheidend; denn von ihr hängt wesentlich das gesamte Ontologieverständnis der Informatik ab. Während sie für das klassische, insbesondere auf mehr oder minder statische Entitäten und Objekte fixierte CM-Verständnis nicht weiter von Relevanz ist, ändert sich das in einem prozessorientierten CM-Verständnis ganz grundsätzlich: *lebenszyklusorientierte* U-PLM-Systeme sind auch als solche zu modellieren; es stehen also konzeptuelle Strukturen in Frage, in denen Entitäten nicht einfach gegeben sind, sondern in denen Objekte aus Prozessen emergieren, in denen Objekte ständigem Wandel unterliegen und auch wieder vergehen (Objektlebenszyklen).¹⁵⁸⁷ Es geht um konzeptuelle Strukturen, in denen alles Geschehen, alle Phänomene *ereigniszentriert* sind, wobei die Ereignisse aber nicht für sich stehen, sondern Teil ganzer Lebenszyklen sind; sie sind notwendig eingebettet in Prozesse. Im exemplarischen Fall von U-PLM-Systemen geht es dabei nicht nur um Produktlebenszyklen, sondern genauso um Prozesslebenszyklen, Ressourcenlebenszyklen, Organisationslebenszyklen usw. Analoges gilt mit Blick auf die für sie elementare *Enterprise Architecture* (EA), die in modernen EA-Ansätzen ebenfalls seit längerem im Sinne eines *Enterprise Lifecycle* konzipiert wird. Auch in anderen wesentlichen CM-relevanten Bereichen, etwa im Software Engineering ist mit Softwarelebenszyklen eine ähnliche Perspektive üblich. Was das Verhältnis von Objekt und Ereignis anbelangt, stehen sich zwei TLO-relevante philosophische Positionen unversöhnlich gegenüber: etwa mit Bunge (1977a), der eine eigene Kategorie des Ereignisses ablehnt auf der einen, und etwa mit Whiteheads Schüler Davidson (1980) auf der anderen Seite, der eine eigene Kategorie des Ereignisses vehement bejaht. Diese Frage ist nicht nur für die konzeptuelle Modellierung an sich elementar, sondern dieser Streit findet sich auch *explizit* im Zuge der *konzeptuellen Modellierung* wieder, indem die BWW-TLO die Posi-

¹⁵⁸⁵ Vgl. im HLIF-Kontext etwa S. Das (2008).

¹⁵⁸⁶ Vgl. dazu etwa P.M. Simons (2007a).

¹⁵⁸⁷ Zwar gibt es bereits erste Ansätze zu solchen *Objektlebenszyklen*, vgl. etwa Herzberg et al. (2013); allerdings werden diese noch nicht ontologisch sachgerecht im Sinne der *TLO-EO-Verkopplung* konzipiert.

tion Bunges (1977a) in dieser Sache explizit in die konzeptuelle Modellierung übernimmt.¹⁵⁸⁸ Demgegenüber vertreten etwa Geerts/McCarthy (2002) im Zuge der Referenz der REA-EO auf die Sowa-TLO, die wiederum auf Whitehead (1929a) aufbaut, eine dazu diametral entgegengesetzte Auffassung, indem Ereignisse hier eine eigenständige Kategorie bilden. Wenn festzustellen ist, dass die Position Bunges (1977a) und der BWV-TLO in dieser Sache weder haltbar ist noch für die Informatik überhaupt als sinnvoll vorausgesetzt werden kann, ist der Disput damit keineswegs gelöst. Geht es dann um *Prozesse*, die für das *postklassische CM-Verständnis* unverzichtbar sind, setzt sich die Kontroverse überganglos fort. So werden Prozesse bei Galton (2006b) im TLO-Kontext als Kontinuanten verstanden, was sich hier, wie in den nachgenannten Fällen mit einigen philosophischen Ansätzen deckt,¹⁵⁸⁹ bei B. Smith (2012c) demgegenüber jedoch als Okkurrenten, während im gleichen TLO-Ansatz Objekte im Sinne von 3D-Objekten als Kontinuanten behandelt werden.¹⁵⁹⁰ Schließlich entfallen bei Batres et al. (2007), die sich bezeichnenderweise praxisnah auf die chemische Prozessindustrie beziehen, alle Kontinuanten; es gibt allein Okkurrenten: Hier ist Alles *Prozess*, und damit existieren lediglich 4D-Objekte.¹⁵⁹¹ Damit zeigt sich das Inkommensurabilitätsproblem einmal mehr. Indessen lässt sich im Zuge der konzeptuellen Modellierung komplexer Informations- und Wissenssysteme über diese grundlegenden Fragen natürlich nicht hinweggehen; vielmehr zeigen die genannten Ansätze die *an sich* bestehende Problematik bei der Erfassung von Diskursuniversen überhaupt erst auf. Mit anderen Worten würden dem konzeptuellen Modellierer die damit für vollautomatisierte Systeme verbundenen Probleme ansonsten kaum bewusst werden. Bei einfachen Diskursuniversen und einfachen Systemen lassen sie sich teils auch einfach ausblenden. Nicht aber bei den heute komplexen Diskursuniversen, komplexen Systemen und Vollautomatisierung auf Basis Künstlicher Intelligenz. Mit den exemplarisch genannten Ansätzen sind sie nun auch von unmittelbarer Relevanz, weil auf ihrer Basis *de facto* unterschiedlich modelliert resp. evaluiert wird. Im Kontext der ebenso explizit TLO-bezogenen CPS- resp. kognitiven Robotik-Forschung geht es ebenfalls um die *Natur der Prozesse*; hier stehen sich vor allem zwei Paradigmata gegenüber: (a) die BFO-TLO, die auf einer *prozessualisierten Substanzontologie* aufbauend die gleichzeitige Voraussetzung von Objekten und Prozessen über zwei duale, jedoch letztlich separat bleibende Modi betreibt. Dazu unterscheidet sie, wie oben erwähnt, zwischen endurantistischen Kontinuanten (SNAP) und

¹⁵⁸⁸ Vgl. etwa Wand/Storey/Weber (1999: 510).

¹⁵⁸⁹ Im Fall Galtons (2006b) lassen sich etwa die philosophischen Ansätze von Zemach (1970), Seibt (1990b) sowie Stout (1997) anführen.

¹⁵⁹⁰ In Pkt. 6.2.5 ist zu klären, ob sich eine solche Praxis tatsächlich begründen lässt.

¹⁵⁹¹ Mit ihrer *Mereotopologie* bauen sie dabei auf Whitehead (1929a) auf, vgl. Stell/West (2004).

perdurantistischen Okkurrenten (SPAN).^{1592, 1593} Sprachphilosophisch ist ein solcher Dualismus möglich, während er unter dem Gesichtspunkt der Cyber-Physik illegitim ist. Die Informatik muss jedoch im CPS-Kontext auf letzterer aufbauen, womit die erste Position unhaltbar ist. Es mag eine philosophische Position sein; sie ist aber nicht jene der Informatik, wenn es um "*Reality Computing*" geht. Unter die zweite Position fallen (*b*) Ansätze, die auf *Prozessontologien* aufbauen, womit ein monistischer Ansatz angelegt ist,¹⁵⁹⁴ in dem Objekte in ihrer prinzipiell prozessualen Natur im Sinne von 4D-Objekten prozessual behandelt werden. Alles Geschehen im Diskursuniversum besteht hier *einheitlich* im Zeichen unaufhörlicher cyber-physischer Werdeprozesse, in denen die universale Einheit aller Natur, allen Denkens und aller Erkenntnis, sowie aller Artefakte besteht. Mit anderen Worten werden in Prozessontologien *Objekte* gerade nicht als Kontinuanten, sondern als *Okkurrenten* aufgefasst.¹⁵⁹⁵ Insgesamt zeigt sich, dass das gleichzeitige Voraussetzen von Objekten und Ereignissen resp. Prozessen sowohl in Objektontologien als auch in Prozessontologien möglich ist, allerdings in beiden Ansätzen Identität und Wandel grundsätzlich anders gehandhabt werden. Mit Blick auf die Evaluierung der TLO-Theorieanwörter ist diese überaus elementare Frage näher zu untersuchen, was in Pkt. 6.1.1 (Objekt- vs. Prozessontologie) resp. in Pkt. 6.2.5 (Endurantismus vs. Perdurantismus) vollzogen wird. Wenn Al-Debei et al. (2012) den Widerstreit von *Endurantismus vs. Perdurantismus* direkt auf die *konzeptuelle Modellierung* resp. einzelne Modellierungssprachen beziehen, zeigt sich, dass die Relevanz der Thematik in Teilen der Informatik verstanden ist.

- v. CPS erfordern eine neue *prozesszentrierte konzeptuelle Modellierungsmethodik*; gängige Modellierungssprachen wie ER-Modelle sind für das postklassische CM-Verständnis ungeeignet,¹⁵⁹⁶ weil ihre Grammatiken nicht einmal die Repräsentation von *Ereignissen* an sich erlaubt, geschweige denn *prozessualer Ereignisse*. Sie verlangen entsprechend nach einer neuen *prozesszentrierten Semantik*. Eine *ereigniszentrierte Semantik* (Event-based Semantics), wie sie bereits für CPS ins Spiel gebracht wird,¹⁵⁹⁷ ist nur dann akzeptabel, wenn *Ereignisse strikt prozessual* konzipiert werden, was nicht immer der Fall ist. Im Hinblick auf McCarthys (1995) "*general world view*" und eine entsprechende konzeptuelle Modellierung von Diskursuniversen gilt mit Whitehead (1938), »that nothing is

¹⁵⁹² Vgl. Worboys/Hornsby (2004), Worboys/Duckham (2006) sowie Little/Rogova (2009).

¹⁵⁹³ Vgl. zur Debatte um den *Endurantismus vs. Perdurantismus* Pkt. 6.2.5.

¹⁵⁹⁴ Vgl. etwa Lambert (1996), Nowak (2001) sowie Dawson (2011).

¹⁵⁹⁵ Vgl. auch Nowak (2001).

¹⁵⁹⁶ Erste neue CM-Modellierungssprachen wie etwa die *Multiagent-based Integrative Business Modeling Language* (MibML) wurden bereits entwickelt, vgl. hierzu H. Zhang et al. (2007).

¹⁵⁹⁷ Vgl. etwa Talcott (2008).

finally understood until its *reference to process* has been made evident«. ¹⁵⁹⁸ Werden Ereignisse demgegenüber isoliert gehandhabt, wird dies den verschiedensten CM-relevanten Lebenszyklen, wie Prozesslebenszyklen, Produktlebenszyklen oder dem *Enterprise Lifecycle* gerade nicht gerecht. In fundamentaler Hinsicht kann eine solche *prozesszentrierte Semantik* allein durch eine *prozesszentrierte Top-level Ontologie* gestellt werden.

- vi. CPS verlangen insofern nach Feyerabends (1975) "*anything goes*", als sie keine zu eng konzipierten TLO-Ansätze zulassen. Exemplarisch lässt sich die Relevanz dieser Forderung anhand der BWW-TLO aufzeigen: Diese stellt in ihrem Rekurs auf Bunge (1977a) letztlich nicht nur lediglich eine prozessualisierte Objekt- resp. Substanzontologie dar, die "Ontologie" in einer entsprechend *auf Beständigkeit* orientierten Perspektive auf "*Furniture of the World*" reduziert. Für CPS und die kognitive Robotik ist eine solche auf Beständigkeit abstellende ontologische Perspektive indessen offenbar vollkommen ungeeignet. Sie benötigen vielmehr – wie die Informatik insgesamt – das genaue Gegenteil: eine auf *kontinuierlichen Wandel* abstellende durchgängige Lebenszyklus- und Prozessperspektive, in der das Beständige allein im temporären Sinne verstanden wird. So sind alle Objekte in Produktlebenszyklen und Produktionsprozessen gerade auch deshalb im temporären Sinne zu verstehen, als die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ihre reale Emergenz, Veränderung und ihr Vergehen repräsentieren muss: denn diese evolutionären Prozesse bilden die ganze Realität, die es auch als Ganzes zu repräsentieren gilt. Die bisher im Zuge der konzeptuellen Modellierung vor allem genutzte BWW-TLO ist aber auch deshalb zu eng konzipiert, weil sie ihr Fundament mit Bunge (1977a) in einer *materialistischen Ontologie* besitzt. Gemäß dieser wird schon die CPS-Existenz an sich negiert, als sie in letzter Konsequenz auf ihre physische Bestandteile reduziert wird, nämlich insofern, als bei Bunge (1977a) *nur materielle Entitäten* als reale Entitäten akzeptiert werden. Offenbar sind solche Annahmen indessen für McCarthys (1995) "*general world view*" vollkommen ungeeignet; hier geht es weniger um Materie als um logisch-prozessuale Form. Insofern stellt sich mit der BWW-TLO in Pkt. 6.1.2 insgesamt der Widerstreit von *Form vs. Materie*. Indem bei der ontologischen Evaluierung der konzeptuellen Modellierung vor allem auf die BWW-TLO zurückgegriffen wird, muss diese Praxis speziell im Hinblick auf CPS, IKS und verwandte Systeme äußerst bedenklich erscheinen. Denn sie wird dem postklassischen CM-Verständnis in gleich mehrfacher Hinsicht nicht gerecht.
- vii. CPS erfordern eine *Prozessmetaphysik*, die nicht nur die fundamentalen prozessorientierten Kategorien zugrundelegt, sondern auch alle damit zusammenhängenden meta-ontologischen Aspekte zu klären hilft. Da es bei CPS um *prozes-*

¹⁵⁹⁸ Vgl. Whitehead (1938: 46), Hvh. des Verf.

suale Ereignisse (processual events) geht, lässt sich weder eine Objekt- noch eine objektbezogene Ereignisontologie für Zwecke der CM-Fundierung voraussetzen. Somit stehen in Bezug auf McCarthys (1995) "*general world view*" auch prozessualisierte Objekt- resp. Substanzontologien vollends in Frage, auf denen jedoch alle heute führenden TLO-Theorieanwärter beruhen (vgl. hierzu Pkt. 6.1.1). CPS setzen einen TLO-Ansatz voraus, der nicht nur eine spezielle Komplexitätsperspektive offeriert, sondern der auch die verschiedensten Ontologietypen resp. Wissensarten zu integrieren imstande ist. Das allerdings gibt es in der Informatik bislang nicht einmal im Ansatz. Indessen ist darin die Grundvoraussetzung tatsächlich intelligenter Cyber-physischer Systeme (CPS) zu sehen, indem diese in wissenschaftlicher, technologischer und selbst in praktischer Hinsicht nicht auf naivem *Common Sense* operieren können. Somit läuft eine integrierte Lösung, auf die es in der Informatik ankommt, letztlich in Richtung der in Pkt. 3.5 umrissenen *integrierte CYPO-Ontologiekonzeption*, die als *Vier-Welten-Ontologie* dem CPST- bzw. IoX-Hyperspace entsprechen kann.

- viii. CPS basieren auf *Multisensorsystemen*, teils auf *Multimodalen Sensorsystemen*, die eine multimodale Wahrnehmung eröffnen. Mit ihnen werden verschiedene *Sensorontologien* relevant, die – wie die W3C *SSN Sensor Ontology* – zuweilen bereits eine TLO-Referenz aufweisen. Hier ist zunächst ihre Vereinbarkeit mit McCarthys (1995) "*general world view*" zu klären, der durch den fundamentalen Rekurs der konzeptuellen Modellierung auf einen spezifischen TLO-Ansatz explizit oder implizit gesetzt wird. Indem Multisensorsysteme Bestandteile von IKS, CPS resp. kognitiver Robotik darstellen, aktualisieren sich für solche Systeme jeweils automatisch die ihnen zugrunde liegenden konzeptuellen Modelle. Vor diesem Hintergrund lassen sich Diskursuniversen kaum mehr im Sinne eines *statischen Seins von Objekten* verstehen; vielmehr sind sie im Sinne eines auf evolvierende Veränderung abstellenden *stetigen Werdens von Objekten* zu modellieren.¹⁵⁹⁹ Damit wird nicht nur eine Emergenzperspektive, sondern insgesamt eine Evolutions- resp. Lebenszyklusperspektive evolvierender Prozesse erforderlich. Ferner erfordern Multisensorsysteme über Sensorontologien hinausgehend spezielle Ontologien für die Situations- (SAW) resp. Kontextwahrnehmung (CAW). Mit ihrer Unterstützung lassen sich relevante Umwelten, die unter das UoD fallen, durch die Systeme selbst evolutionär modellieren.
- ix. CPS basieren auf *agentenbasierten Systemen*, insbesondere auf *Multiagentensystemen* (MAS).¹⁶⁰⁰ Dabei handelt es sich nicht nur um adaptive Systeme, sondern insgesamt um lernfähige Systeme, wobei sich diese Lernfähigkeit implizit wie explizit darstellt. Es gibt also verschiedene Lernmodi, genauso wie es verschie-

¹⁵⁹⁹ Dieses Erfordernis wird bereits in CPS-relevanten *GIS-Kontexten* erkannt, vgl. z.B. Reitsma et al. (2009).

¹⁶⁰⁰ Vgl. zu MAS etwa J. Liu (2001), Tamma/Bench-Capon (2001a), Van der Hoek/Wooldridge (2008) sowie Suryanarayanan et al. (2013).

dene Intelligenzmodi gibt. Agenten stehen bei vorauszusetzender hybrider Agentenarchitektur also sowohl im Zeichen des ANN-basierten *Deep Learning* wie im Zeichen des *Ontology Learning*; indessen ist insbesondere letzteres auf Basis expliziten Wissens für die *Superintelligenz* erst konstituierende reflexive Intelligenz entscheidend. Für McCarthys (1995) "*general world view*" ist mit Blick auf Multiagentensysteme impliziert, dass die postklassische konzeptuelle Modellierung sowohl auf *Multiagenten-Architekturen* als auch damit zusammenhängend speziell auf *komplexe adaptive Systeme* (CAS) abzustellen hat. Entsprechend sind alle bisher bemühte Methoden konzeptueller Modellierung einer Revision zu unterziehen; darauf sind sie im Allgemeinen nicht ausgelegt.

- x. CPS zielen auf *höhere Informationsfusion* (HLIF); insgesamt ist die *Daten- resp. Informationsfusion* (IF) eine notwendige Voraussetzung sowohl zur CPS-Nutzung von *Multisensorsystemen* (vgl. Pkt. viii),¹⁶⁰¹ als auch von *Multiagentensystemen* (vgl. Pkt. ix).¹⁶⁰² Im Hinblick auf die konzeptuelle Modellierung sind CPS zwingend als *kombinierte Informations- und Wissenssysteme* (IKS) zu behandeln, womit eine unmittelbare wie systematische Verknüpfung mit dem *Ontology Engineering* angezeigt ist. McCarthys (1995) "*general world view*" hat hier in seiner AI-Bezogenheit darauf abzustellen, dass solche HLIF-Prozesse *transdisziplinärer* Art sind, indem Daten, Informationen und Wissen aus heterogensten Quellen kombiniert werden. Mit diesem für CPS typischen Moment der Transdisziplinarität stellt sich nicht nur die in Pkt. 6.1.3 untersuchte Frage nach Klassifikation vs. Kategorialanalyse, sondern auch jene in Pkt. 5.1 erörterte nach den elementaren Unterschieden von Quines *Naturalismus* und der *universalen Ontologie* als allgemeinsten Theorie im platonistischen Sinne Whiteheads.

In gleicher Weise, in der U-PLM-Systeme als CPS in *technologischer* Hinsicht ein direktes, TLO-basiertes Zusammenspiel von *postklassischer konzeptueller Modellierung* und *postklassischer AI-Wissensrepräsentation* erfordern, gilt dies analog in *wissenschaftlicher* Hinsicht auch für die *Semantic E-Sciences*. In wissensintensiven Industrien wie der Biotechnologie sind seit jeher im Zuge von Innovationsprozessen gemeinsame Forschungsprojekte zwischen Wissenschaft und Praxis üblich. Porto/Spaccapietra (2011) und Porto et al. (2012) haben dargelegt, dass die *konzeptuelle Modellierung* eine notwendige Vorbedingung einer *Semantic E-Science* ist. Auch in diesem Fall geht es um die Notwendigkeit einer metaphysisch fundierten Weltansicht. Diese bezieht sich nicht nur auf fundamentale Fragestellungen, etwa ob eine Objekt- oder eine Ereignisontologie zugrundezulegen ist, was für wissenschaftliche Untersuchungen genauso entscheidend ist wie zahlreiche andere meta-ontologischen Aspekte. Vielmehr muss sie sich analog zum CPS-Kontext auch hier mit der Wechselwirkung zwischen realen und möglichen resp. künstlichen Welten ausei-

¹⁶⁰¹ Vgl. etwa Khaleghi et al. (2013).

¹⁶⁰² Vgl. etwa Gorodetsky et al. (2005), Sobh (2009) sowie Rodríguez et al. (2015).

nersetzen, etwa in der AL-Forschung. Diese metaphysische Fundierung kann die konzeptuelle Modellierung nur durch Referenz auf eine Top-level Ontologie erhalten, die auch mögliche Welten zulässt. Das ist etwa bei der BWV-TLO oder der BFO-TLO in ihrer streng realwissenschaftlichen Ausprägung nicht der Fall. Entsprechend überrascht es nicht, wenn Porto et al. (2012) auf der Sowa-TLO aufbauen, da diese nicht nur prozessual gehalten ist, sondern auch mögliche Welten zulässt.

Eine *postklassische konzeptuelle Modellierung* wird deshalb unabdingbar, weil es nicht ausreichend ist, den CM-Prozess auf die blinde Anwendung einmal entwickelter CM-Modellierungssprachen zu beschränken, selbst wenn diese auf TLO-Basis fortwährend evaluiert werden. So lässt sich natürlich auf Basis objektorientierter TLO-Ansätze genauso wenig wie auf Basis objektorientierter CM-Modellierungssprachen feststellen, dass nicht Objekte, sondern *prozessuale Ereignisse* für alle modernen praktischen, technologischen und wissenschaftlichen Diskurswelten die fundamentale Basis bilden. Mit der Fixierung auf solche Ansätze ist man notwendig in der klassischen Objektwelt gefangen. Das Erfordernis zum Wechsel zeigen erst praktische Prozessgesichtspunkte, Technologien wie komplexe Cyber-physische Systeme bzw. die kognitive Robotik, oder aber Schlüsseltheorien wie die Relativitäts-, die Quanten- oder die Evolutionstheorie. Popper/Eccles (1977) haben bereits darauf hingewiesen, dass es keine selbstidentischen Entitäten gibt, die allem Wandel der Zeit widerstehen. Das (Diskurs-) Universum ist gerade nicht als stationäre Ansammlung von Dingen resp. Objekten aufzufassen. Nicht nur mit Bunge (1977a) "*Furniture of the World*", die der für die CM-Evaluierung am meisten genutzten BWV-TLO zugrunde liegen, sondern auch im Zuge der heutigen konzeptuellen Modellierung wird aber genau das behauptet: »an information system represents knowledge about *things* in some domain«. ¹⁶⁰³ Mit Popper/Eccles (1977) gilt es jedoch vielmehr, das (Diskurs-) Universum im Sinne Whiteheads (1929a) zu verstehen als »interacting set of events or processes«. ¹⁶⁰⁴ Dabei handelt es sich selbstverständlich nicht allein um eine wissenschaftlich-metaphysische Position im Sinne *allgemeinster Theorie*; denn diese steht mit Whitehead (1933: 164) immer im Zeichen des »interplay between science and metaphysics«.

Entsprechend wird dies in der Wissenschaft seit langem so gesehen, etwa durch den Physikochemiker und Nobelpreisträger Prigogine, ¹⁶⁰⁵ der mit der in seiner *Theorie dissipativer Strukturen* konstatierten Irreversibilität physikochemischer Prozesse den *Zeitpfeil der Natur* begreifbar werden lässt. ^{1606, 1607, 1608} Für die Ontologie, die an sich eine *Theorie der*

¹⁶⁰³ Vgl. Kwon (2011: 361), Hvh. des Verf.

¹⁶⁰⁴ Vgl. Popper/Eccles (1977: 7).

¹⁶⁰⁵ Vgl. Prigogine (1945, 1947, 1955, 1973a, 1981b, 1984b).

¹⁶⁰⁶ Es steht außer Frage, dass diese *Irreversibilität*, der *Zeitpfeil der Natur* wie auch das nunmehr für die gesamte Naturwissenschaft geltende *Evolutionssparadigma* in einer Reihe anderer naturwissenschaftlicher Theorien bzw. Ansätze der Komplexitätsforschung behandelt wird. Der Zeitpfeil ist der kosmischen Evolution und damit allen Lebensprozessen inhärent; daher ist er für die gesamte Natur zwingend vorauszusetzen, vgl. hierzu P. Davies (2003b). Mit Blick auf die Physik ist dabei zu verweisen auf die Arbeiten etwa von Schrödinger (1944), Whyte (1955c), Gell-Mann (1994), P.W. Anderson (1972, 1991), Haken (1973a, 1973b, 1975), Jantsch (1981a), Ebeling/Feistel (1982, 1994) oder P. Davies (2003a,

Objekte darstellt, ist das natürlich allein schon mit Blick auf die *Natur der Objekte* von unmittelbarem Belang, und entsprechend stellt Prigogine (2000b: 834) vor dem Hintergrund seiner naturwissenschaftlichen Arbeiten schließlich fest: »The ontologies of the past, since Parmenides, were ontologies of being, the ontology of the future will be – I think – an ontology of becoming, and the program of physics for the next century will be a program for the study of the mechanisms of becoming«. Dabei rekurriert Prigogine (1979a) genauso wie Popper/Eccles (1977) explizit auf Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik.

Blickt man in die Praxis, stellt sich das gleiche Bild, nämlich in den Fällen, in denen die Praxis "Ontologie" richtig hinterfragt. Das kommt zwar selten genug vor, aber speziell in Industrien mit sicherheitskritischen Prozessen aus gutem Grund dafür umso öfter. Denn

2003b, 2004b). Indem Prigogine (1973a: 71) feststellt, »that there is a close connexion between dissipative structures and biological organization«, sei nicht nur auf Darwin (1859), Bertalanffy (1929, 1951d, 1953, 1955a), Pittendrigh (1958), Mayr (1959, 1974a, 1979), Ayala (1970, 1982), Dobzhansky (1973, 1974, 1977), Mayr/Provine (1981) oder etwa Doolittle (1984) verwiesen, sondern auch auf jüngere Ansätze wie etwa jene von Goodwin (1993, 1994a, 1994b) oder Lewontin (2000, 2003). Analoges gilt auch für die biophysikalische Chemie etwa mit den Arbeiten von Eigen (1971, 1973, 1987) bzw. Eigen/Schuster (1977, 1978a, 1978b).

¹⁶⁰⁷ Selbstverständlich existiert dieser Zeitpfeil auch in allen *sozioökonomischen Prozessen, Ereignissen und Objekten*; bereits die Schumpetersche (1934, 1939) *Theorie wirtschaftlicher Entwicklung* ist nicht nur im Sinne von Strukturgleichheiten in vielerlei Hinsicht mit Prigogines *Theorie dissipativer Strukturen* verwandt. Gerade auch moderne Ansätze werden seit langem im Sinne ungleichgewichtiger *dissipativer Strukturen* konzipiert, vgl. etwa Jantsch (1975), Zeleny (1985), Arthur (1988a, 1988b, 1989a, 1989b), Kauffman (1988b), Nicolis/Prigogine (1989: 238), U. Witt (1995), Loistl/Betz (1996: 12), Laszlo (1998), Dux (2000) oder Priddat (2000). Mit P. Allen (2001b: 348) ist damit in der Tat festzustellen: »It is the entry into the social sciences of the philosophical revolution that Prigogine [...] wrote about in physics some twenty years ago. It is the transition in our thinking from 'being to becoming'«. Prigogine (1997: 7) nimmt eine kosmologische Position ein, wenn er herausstellt: »[W]e are actually at the beginning of a new scientific era. We are observing the birth of a science that is no longer limited to idealized and simplified situations but reflects the complexity of the real world, a science that views us and our creativity as part of a fundamental trend present at all levels of nature«. Zweifelsohne ist dabei *methodologisch* betrachtet mit Mainzer (1994a: 282) eine universale Anwendbarkeit gewährleistet: »The crucial point of the complex system approach is that [...] the development of political, social, or cultural order is not only the sum of single intentions, but the collective result of nonlinear interactions«. Ökonomische Systeme bilden mit Foster (2004a) entsprechend "*Fourth order complex systems*" und somit ist die ökonomische Disziplin mit Foster (2004b) als *Komplexitätsökonomik* zu verstehen, wie sie das *Santa Fe Institute* (SFI) im agentenbasierten CAS-Sinne seit langem richtig konzipiert, vgl. etwa Arthur (1988c, 1993a, 1993b, 1995, 1999), Arthur/Holland et al. (1996), Arthur/Durlauf/Lane (1997) sowie Kauffman/Lobo/Macready (2000). Andererseits reicht der *methodologische* Standpunkt nicht aus, indem die *ontologische* Basis unabdingbar ist, was mit Dopfer/Potts (2004: 197 f.) inzwischen auch Fachwissenschaftler im Zeichen eines *evolutionären Realismus* erkennen: »All science requires ontology. [...] Now although the ontology of a natural domain such as physics is very far from trivial (e.g. Bunge 1977[a]), the ontology of higher orders of emergent complexity – such as relating to life, consciousness or human institutions – represent an even greater challenge still«. Analog dazu verlangt Lawson (2004: 329) eine »reorientation of social theory in general, and of economics in particular, towards an explicit, systematic and sustained concern with ontology«. Wenn schließlich U. Witt (2004: 129) ebenfalls von ökonomischer Seite eine *einheitliche* ontologische Basis für alle evolutionären Phänomene fordert, wird nicht nur deutlich, dass eine solch wissenschaftsadäquate *universale Ontologie* nicht ohne eine ratio-empirische Metaphysik realisierbar ist, sondern vielmehr, dass sich dabei gerade die Whiteheadsche in ihrer Eigenschaft als organismisch-systemische Kosmologie anbietet. Denn nur diese kann alle evolutionären Phänomene auch im Bereich von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* durchgängig adressieren, was die Bungesche ungeachtet ihrer physikalischen Defekte nicht kann.

¹⁶⁰⁸ Für *Technologien* steht die *Existenz des Zeitpfeils* wie die Gültigkeit eines *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigmas* auch jenseits ihrer naturwissenschaftlichen Grundlagen vollends außer Frage, wenn sie die *Invention artifiziieller Systeme* zum Gegenstand haben.

hier – wie in sämtlichen PLM-relevanten Industrien – sind ontologische Fehler unverzeihlich, möglicherweise fatal. Es verwundert daher nicht, dass auch hinsichtlich des ISO-Standards 15926 mit Batres et al. (2007) und Stell/West (2004) in der petrochemischen Prozessindustrie keine Veranlassung gesehen wird, den ontologischen Ansatzpunkt in angeblich selbstidentischen Entitäten zu suchen. Auch in ihrer 4D-TLO wird in einer explizit metaphysischen Perspektive – teils ebenfalls im Rekurs auf Whitehead (1929a) – konsequent an Prozessen und 4D-Objekten angesetzt.

So ist auch der damit zusammenhängende ewige Streit um *Endurantismus* vs. *Perdurantismus* letztlich nichts weiter als eine Scheindebatte, was in Pkt. 6.2.5 anhand eines kurzen Rückgriffs auf die Nichtgleichgewichtsthermodynamik resp. die Komplexitätsforschung erläutert wird. Die Bewandnis der genannten strikten Prozesspositionen von Popper/Eccles (1977), Prigogine (2000b) oder Batres et al. (2007), die *wissenschaftlich zwingend* ist, liegt nämlich genau in ihren – den genannten Autoren einschlägig bekannten – Sachverhalten begründet. Andererseits beruht die gegenteilige Auffassung entweder auf ihrer Unkenntnis oder mindestens auf einem schwerwiegenden epistemologischen Fehler. Dieser entspricht der Inferiorität des in Pkt. 3.2.3 behandelten *Alltagswissens* (*Common Sense-Knowledge*) resp. entsprechender *Common Sense-Ontologien*; die Bezeichnung ihres Hauptbereichs, *Naïve Physics*, ist dabei wörtlich zu nehmen: der Name ist in der Tat Programm, und das führt weder zu guten Ontologien noch zur sachgerechten Ontologiekonzeption, und schließlich auch zu einer auf ihrer Grundlage völlig fehlgeleiteten ontologiegestützten konzeptuellen Modellierung. Tatsächlich verkennt das naive Programm die *Natur der Objekte*, nicht zuletzt mit der Voraussetzung von 3D-Objekten, die etwa bei Strawson (1959) im Denkschema deskriptiver Metaphysik *sprachphilosophisch* legitimiert werden, demgegenüber aber *wissenschaftlich* wie im CPS-Kontext nicht legitimierbar sind.

Das ist nicht nur von folgenschwerer Konsequenz für den Großteil der bisherigen TLO-Theorieanwärtler, sondern auch für die Informatik insgesamt. Sie ist in dieser Sache nicht gut beraten, sich in ihrer allgemeinen Ontologiediskussion auf naive Konzepte zu stützen; bei Ontologien für autonome intelligente Systeme wie CPS oder CPPS sind damit folgenschwere Konsequenzen keinesfalls ausgeschlossen. Das Problem besteht hier in mangelhafter ontologischer Aufklärung: Grubers (1993, 1995) linguistische 3D-Auffassung wurde explizit in die Ontologie des *Semantic Web* übernommen; semantische Standards wie RDF und OWL wurden für den Cyberspace entwickelt; sie waren jedoch nie auf Cyber-physische Systeme zugeschnitten. Mit dem *Internet der Dinge* (IoT) werden sie heute *de facto* in letztlich unreflektierter Weise in das "*Reality Computing*" übernommen. Solange sich diese Praxis auf einfache Aspekte wie die technische Dokumentation bezieht, ist dies im Allgemeinen unproblematisch. Allerdings steht der IoT-Konnex im Zeichen ODIS-basierter Prozessintelligenz, was auf Basis linguistischer 3D-Konzepte keinesfalls unproblematisch ist. Vielmehr muss die Informatik in dieser Sache einen radikal anderen Ansatz wählen, der die notwendige wissenschaftliche Präzision in die Ontologiedebatte bringt. Wie in Pkt.

4.1 erörtert, liegt nicht zuletzt hier der Zweck der metaphysischen Ontologie für die Informatik. – Offensichtlich sind Diskursuniversen im Zuge der *konzeptuellen Modellierung* gerade mit Blick auf evolutionär-komplexe Systeme wie IKS, CPS oder autonome Roboter grundsätzlich anders zu modellieren als es heute noch gemeinhin geschieht. Indem Objekte in einem *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigma*,¹⁶⁰⁹ das seit längerem – insbesondere im Zuge der Komplexitätsforschung – auch durch die Physik geteilt wird,¹⁶¹⁰ im Sinne von 4D-Objekten konsequent in *Lebenszyklen* zu modellieren sind, wird die grundlegende *Natur von Objekten*, in Frage gestellt. Damit jedoch geht es auch um ihre Bedeutung, um ihre Semantik. Nach der Physik ist es auch für die Informatik an der Zeit, sich diesem *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigma* konsequent zu stellen, indem sie die für sie zentralen Objekte *in allen Bereichen* im Sinne von *Objektlebenszyklen* behandelt. Das gilt vor allem mit Blick auf konzeptuelle Modelle als für sie zentraler Modellklasse, bei denen diese Forderung auf Grundlage des *klassischen CM-Verständnisses* versagt bleibt. Mit konsequent *lebenszykluszentrierten* U-PLM-Systemen und ihrer Stellung als zentraler Integrationsplattform für Daten, Information und Wissen ist das klassische CM-Verständnis nicht mehr haltbar.

Zwar bestehen bereits seit längerem CM-Ansätze wie die *Object-Process Methodology* (OPM),¹⁶¹¹ die das Diskursuniversum gleichzeitig unter Gesichtspunkten von Objekten *und* Prozessen (bzw. Ereignissen) modellieren, doch ist auch hier mit der Priorität der Objekte für CPS-basierte U-PLM-Systeme letztlich der falsche Ansatzpunkt gewählt. Vielmehr ist insgesamt eine Modellierungsperspektive erforderlich, die bereits in CM-Prozessmodellen angewandt wird. Dabei kommen direkt ausführbare Notationen wie die BPMN-Notation zum Einsatz, auf deren Grundlage die in Pkt. 1.5 umrissene BPM-PLM-Integration zu realisieren ist. Für solche im Rahmen der Prozessmodellierung eingesetzten Notationen ist es charakteristisch, dass *Ereignisse Priorität gegenüber Objekten* besitzen. Auch werden dabei Ereignisse in ihrem Wechselspiel mit Aktoren bzw. Aktivitäten nicht isoliert behandelt, sondern über Vor- und Rückkopplungen oder raum-/zeitlich sequentieller bzw. paralleler Lokalisierung grundsätzlich im Sinne *prozessualer Ereignisse* verstanden. Insofern erscheint es angezeigt, U-PLM-Systeme in ihrer Eigenschaft als integrierte Prozess- und Wissenssysteme im Zeichen von Ereignis- resp. Prozessmodellen methodisch in Richtung des CEP-basierten ED-BPM zu entwickeln. Semantisch wäre dies über eine Ereignis- und Situationssemantik abzustützen. Im Kontext des IoX-Hyperspace sollte bei der konzeptuellen Modellierung insgesamt die ED-SOA-Perspektive in den Mittelpunkt rücken.

Die *konzeptuelle Modellierung* zielt primär auf *technologische* Systeme, deshalb sollte sie sich auch an deren Natur orientieren. Technologien sind mit ihrer intendierten Steue-

¹⁶⁰⁹ Vgl. hierzu etwa Zeleny (1977), Jantsch (1980, 1981b, 1981c, 1981d, 1982) sowie Laszlo (1987, 1994); dabei steht dieses Unterfangen selbstverständlich im Zeichen der *Transdisziplinarität* wie der *Einheit von Wissenschaft und Technologie*, vgl. etwa Laszlo/Margenau (1972).

¹⁶¹⁰ Vgl. hierzu Fn. 1606.

¹⁶¹¹ Vgl. Dori (2002, 2011).

rung und Veränderung der Realität offensichtlich *primär an Ereignissen*, erst *sekundär an Objekten* orientiert, indem sie generell darauf zielen, »to control and change reality through the design of artificial systems and plans of action based on scientific knowledge«. ¹⁶¹² Dabei umfassen Technologien mit Agassi (1966) »applied science, invention, implementation of the results of both applied science and invention, and the maintenance of the existing apparatus, especially in the face of unexpected changes, disasters, and so forth«. ¹⁶¹³ Technologien zielen also mit Bunge (2001c) auf das »design of things or processes of possible practical value to some individuals or groups with the help of knowledge gained in basic or applied research«, ¹⁶¹⁴ wie es gerade auch für komplexe U-PLM-Systeme kennzeichnend ist. Mit ihren wissensintensiven Innovationsprozessen, ihrem elementaren Stellenwert für das Ingenieurwesen und die produzierende Industrie sowie mit ihrer Transformation wissenschaftlichen Wissens in komplexe Engineering Artefakte repräsentieren sie gewissermaßen nicht weniger als den Prototypen der Technologiedisziplin.

Insgesamt wird im Kontext von Wissenschaft und Technologie offensichtlich, dass sich die konzeptuelle Modellierung keineswegs allein auf den Modellierungsprozess als solchen und entsprechend auf eine ontologische Evaluierung von CM-Modellierungssprachen beschränken kann. Mit McCarthys (1995: 2041) "*general world view*" für AI-Systeme wie CPS, MRS und MAS kommt man nicht umhin, sich mit den fundamentalen Aspekten von Weltmodellen eingehend auseinanderzusetzen. Es ist also notwendig eine Ebene höher zu gehen: Denn selbstverständlich stellen sich genauer besehen in jedem Einzelfall einer konzeptuellen Modellierung *immer* diese fundamentalen Fragen bezüglich der Natur des jeweiligen Diskursuniversums, auch wenn sie in praxi oftmals nicht gesehen oder einfach übergangen werden. In praxi wird zumeist einfach dem jeweilig eingesetzten Modellierungswerkzeug vertraut, das jedoch in ontologischer Hinsicht inferior sein kann. Nicht immer werden Notationen bzw. Sprachen auf Basis eines TLO-Ansatzes evaluiert, und jenseits der 4D-Ansätze ist ein solches Unterfangen für die CPS-basierten Zwecksetzungen der Informatik in keiner Weise erhellend. Eine Evaluierung auf Basis eines nichtadäquaten TLO-Ansatzes zieht potentiell irreführende Rückschlüssen nach sich; insofern stiftet eine solche TLO-Referenz keinen Nutzen, sondern verkehrt diesen ggf. ins Gegenteil. Bisher waren solch defizitäre Evaluierungen zumeist unproblematisch, weil tradierte Informationssysteme vergleichsweise geringe ontologische Anforderungen stellen. Doch bei zunehmender Vollautomatisierung kritischer Prozesse wird eine solche Praxis genauso zunehmend inakzeptabel. Das betrifft nicht nur die Prozesse oder die Modellierung von Objekten, sondern vielmehr auch den Umgang hinsichtlich der Datenintegration resp. Informationsfusion, wenn diese aus heterogensten Quellen verteilter Systeme stammen. Es steht außer Frage, dass sich weder eine stabile wie vollumfängliche IS-Interoperabilität noch eine KS-Transdisziplinarität herstellen lässt, wenn in verteilten Systemen auf inkorrekt

¹⁶¹² Vgl. Bunge (2001c: 351).

¹⁶¹³ Vgl. Agassi (1966: 348).

¹⁶¹⁴ Vgl. Bunge (2001c: 350), ohne Hvh. des Orig.

TLO-Basis genauso wie bei zu hohen Freiheitsgraden modelliert wird. Heterogene Teilmodelle sind dann das Ergebnis. Damit ist offensichtlich sowohl die semantische Interoperabilität als auch die Transdisziplinarität bereits in der konzeptuellen Modellierung angelegt. Insofern ist McCarthys (1995) "*general world view*" für die CM-Sphäre genauso vorauszusetzen wie für die KR-Sphäre. Dabei ist unbestreitbar, dass sich das IKS-Engineering in beiden Sphären nur auf ein und denselben "*general world view*" beziehen kann. Dazu aber wird mit Verweis auf Pkt. 4.1 ein Rückgriff auf eine metaphysisch fundierte Top-level Ontologie unumgänglich, wenn es gilt, gleichzeitig die integrierte Referenzbasis für die konzeptuelle Modellierung *und* die damit direkt verknüpfte wie interdependente Wissensrepräsentation zu stellen.

Ontologien werden gerade auch aus dem Grunde zur Reflexion konzeptueller Modelle herangezogen, um ihnen ihr möglicherweise fehlerinduzierendes *subjektivistisches* Moment zu nehmen.¹⁶¹⁵ Dazu lassen sich im Grunde sämtliche Ontologiearten, also gerade etwa auch Domänenontologien heranziehen; der Top-level Ontologie bleibt dabei im Sinne der allgemeinsten Theorie die Aufgabe vorbehalten, ein wissenschaftskorrespondierendes Kategoriensystem zur Verfügung zu stellen, dessen "*general world view*" auf Grundlage eines metaphysischen Systems dezidiert zu begründen ist. Paiano et al. (2006) setzen die ontologische Evaluierung auf Basis der BWV-TLO im Kontext des Engineerings von Web Applikationen dazu ein, verschiedenste subjektive Entwürfe zur Domänenrepräsentation unter *objektivistischen* Gesichtspunkten zu untersuchen, um auf ihnen die weitere Systementwicklung basieren zu lassen. Im Sinne Bunges läuft dieses Unterfangen darauf hinaus, auf Grundlage der Top-level Ontologie sachgerechte Realitätsrepräsentationen zu identifizieren und fehlerbehaftete subjektivistische Momente auszuschalten. Es steht außer Frage, dass eine vollständig wissenschaftskonforme Beschreibung komplexer Diskursuniversen kaum *ad hoc* gelingen kann. Vielmehr bedarf sie einer Top-level Ontologie als Referenzbasis, die als *allgemeinste Theorie* sowohl eine generelle wissenschafts- als auch technologiekonforme Weltsicht vorgeben kann. Ohne eine solche Referenz der konzeptuellen Modellierung auf die Top-level Ontologie ist nicht nur eine Objektivierung ihrer subjektiven Momente schwierig, sondern es sollte auch deutlich werden, dass sich eine vollumfängliche IS-Interoperabilität wie KS-Transdisziplinarität kaum herstellen lässt, ohne dass fundamentale Fragen wie jene nach Priorität von Ereignissen vs. Objekten oder jene nach dem Verhältnis von Ereignissen und Prozessen geklärt sind.

In mannigfacher Hinsicht wird deutlich, dass U-PLM-Systeme mitsamt der Smart Enterprise Integration (SEI) ein sachgerechtes *IoX-Referenzszenario* nicht nur zur Diskussion ontologischer Grundsatzfragen, sondern auch der für die Informatik ebenso bedeutsamen konzeptuellen Modellierung bilden. Denn mit ihnen rückt das Große und Ganze samt seiner Zusammenhänge in den Fokus der Betrachtung, womit sich im Sinne einer allgemeingültigen Gesamtlösung die in der Diskussion oftmals zu beobachtende Überbewertung von

¹⁶¹⁵ Vgl. Gehlert/Pfeiffer (2007).

Detailproblemen vermeiden lässt. Dabei lässt sich nicht nur die konzeptuelle Modellierung technologischer Systeme mit der PLM-CPS-Kombination an einem technologischen Prototypen festmachen. Vielmehr bilden U-PLM-Systeme auch für Zwecke der Diskussion der konzeptuellen Modellierung im Rahmen des Software Engineering dann den sachgerechten Ansatzpunkt, wenn es um integrierte Informations- und Wissenssysteme geht. Darüber hinaus zielt die konzeptuelle Modellierung insbesondere auch auf die Aspekte der Enterprise Architecture (EA) bzw. Enterprise Integration (EI) bzw. auf Teilaspekte davon wie etwa Prozessmodelle, die in U-PLM-Systemen als SEI-Integrationsplattform der Smart Factory ebenfalls das richtige Referenzszenario finden. Schließlich bilden Closed-loop U-PLM-Systeme mit Verweis auf Pkt. 1.5 als wesentlich auf Prozessintelligenz abstellende integrierte Prozess- und Wissenssysteme eine geeignete Perspektive für die notwendige, in vielen Ansätzen jedoch sträflich vernachlässigte tiefgreifende Integration von konzeptueller Modellierung und AI-Wissensrepräsentation. Denn die konzeptuelle Modellierung von U-PLM-Systemen fordert *per se* ein Modellierungsverständnis ein, das nicht nur auf den IS-, sondern insbesondere auch auf den KS-Aspekt abstellt. Mit anderen Worten beziehen sich die Fragen konzeptueller Modellierung im U-PLM-Szenario notwendig auf integrierte Informations- und Wissenssysteme (IKS), und damit auf das Wechselspiel von konzeptueller Modellierung und Wissensrepräsentation.¹⁶¹⁶ Schon Speel et al. (2001) weisen auf den zentralen Stellenwert der konzeptuellen Modellierung für das KS-Engineering hin, und vor diesem Hintergrund wird nachvollziehbar, wenn verschiedene KE-Methoden bereits *modellbasierte* Ansätze darstellen.¹⁶¹⁷

Insofern diverse TLO-Ansätze in ihrer Eigenschaft als PLMS- resp. CPS-Referenzbasis letztlich eine sehr unterschiedliche Eignung aufweisen, zeigt sich das in Pkt. 1.2 erörterte Inkommensurabilitätsproblem im Zuge der konzeptuellen Modellierung insbesondere mit Blick auf die jeweils zugrundegelegte Spezifizierung fundamentaler Fragen zu McCarthys (1995) "*general world view*". Dabei geht es nicht nur um unterschiedliche Sichtweisen auf den in Pkt. 4.4 diskutierten allgemeinen Umgang mit Entitäten, Universalien und Einzel dingen, der etwa mit Pkt. 4.5 von direkter Konsequenz für die Behandlung komplexer Entitäten ist oder von direkter Auswirkung auf die in Pkt. 4.6 dargestellte, besonders CPS-relevante *Ontologie der Artefakte*. Als genauso entscheidend erweist sich die in Pkt. 6.1.1 diskutierte Frage nach Objekt- vs. Prozessontologie, die in Pkt. 6.1.2 erörterte Frage nach Form vs. Materie oder die unter Pkt. 6.2 behandelten weiteren meta-ontologischen Kriterien. Insgesamt beeinflusst das TLO-Inkommensurabilitätsproblem damit maßgeblich die konzeptuelle Modellierung, wie es auch Richards/Simoff (2001) implizit feststellen:

»However, there is no ontology that is accepted as the definitive categorical scheme, different systems of ontology delineate different categories, which reflects the multiple views to the world that

¹⁶¹⁶ Vgl. hierzu etwa Abdullah et al. (2005).

¹⁶¹⁷ Hierzu gehören etwa KADS bzw. CommonKADS, vgl. Schreiber/Akkermans et al. (2000), einschließlich CML, vgl. hierzu Valente et al. (1993) sowie Schreiber/Wielinga et al. (1994), MIKE oder KARL, vgl. Neubert (1993) sowie Angele/Fensel et al. (1998); oder etwa das Wissensmodell von Protégé, vgl. etwa Noy/Ferguson/Musen (2000) sowie Gennari et al. (2003: 110 f.).

each of us possesses. [...] There is no general agreement on a specific ontology for categorising reality, which affects conceptual modelling.¹⁶¹⁸

Damit bleibt auch hier die Frage, wie mit dem TLO-Inkommensurabilitätsproblem im Kontext der konzeptuellen Modellierung umzugehen ist. Es gibt nicht wenige Informatiker, die meinen, diese fundamentalen Fragen einfach ausklammern zu können, nicht zuletzt, weil sie oftmals nicht wissen, wie sie mit ihnen umgehen sollen. Am einfachsten gelingt dies dadurch, dass man gleich auf die ganze Top-level Ontologie verzichtet, wie es insbesondere in den Reihen der AI-Disziplin auf Basis linguistischer Ontologiekonzepte wie dem Gruberschen (1993) auch zu beobachten ist. Damit verschiebt man aber nur das Problem. Vielmehr ist mit zunehmender Vollautomatisierung und semantischer Systemintegration von CPS, MRS, IKS oder verwandter Systeme abzusehen, dass genau das Gegenteil eintreten wird: die hier behandelten fundamentalen meta-ontologischen Fragen werden genauso wie die Top-level Ontologie mit zunehmender Bedeutung von IS-Interoperabilität und KS-Transdisziplinarität immer mehr in das Zentrum des Interesses rücken. Vor allen Dingen zeigt das TLO-Inkommensurabilitätsproblem im Kontext der konzeptuellen Modellierung deutlich, dass auch die in Pkt. 1.2 erörterte Strategie eines *Ontologie-Mapping heterogener Top-level Ontologien* allein schon deshalb nicht in Frage kommt, weil im Sinne von McCarthys (1995) "general world view" letztlich nur genau *eine* Top-level Ontologie explizit oder implizit eine in sich konsistente konzeptuelle Modellierungspraxis bestimmen kann. Somit bleibt allein der Weg, die meta-ontologischen Fragen im Diskurs zu klären, die fundamentalen Kategorien im Diskurs zu bestimmen, um auf diese Weise eine für den jeweiligen Anwendungskontext adäquate, besser jedoch: eine *für die Informatik insgesamt* adäquate Top-level Ontologie zu selektieren. Daran führt letztlich kein Weg vorbei. Das gilt umso mehr, als mit dem nachfolgenden Pkt. 3.2.3 deutlich wird, dass sich das TLO-Inkommensurabilitätsproblem konsequent von der konzeptuellen Modellierung zur AI-Wissensrepräsentation in verschiedenster Hinsicht weiter fortsetzt. Hier zeigt es sich insbesondere insofern, als im Rahmen wissenschaftlicher wie technologischer Ontologien auf verschiedenste inkommensurable Top-level Ontologien referenziert wird, die sich auch mit Blick auf die Wissensrepräsentation dadurch auszeichnen und unterscheiden, dass sie einen je spezifischen "general world view" einnehmen. Indessen ist das TLO-Inkommensurabilitätsproblem auch im Kontext der Wissensrepräsentation allein über den oben beschriebenen Weg zu überwinden, wobei das *postklassische AI-Verständnis* ebenso ganz neue Anforderungen für die Top-level Ontologie bereithält.

Im Vorgriff auf zwei nachfolgende Kontroversen sind schließlich noch zwei wesentliche Details der konzeptuellen Modellierung zu klären, die beide für die Selektion einer IoX-adäquaten Top-level Ontologie von zentraler Relevanz sind und sich im Kontext von U-PLM-Systemen leicht aufhellen lassen: Diese betreffen (i) mit der *Frage des Realitätsbezugs konzeptueller Modelle* einmal den in Pkt. 3.3.2 behandelten Widerstreit

¹⁶¹⁸ Richards/Simoff (2001: 122).

zwischen linguistischen und realistischen Ontologien bzw. den in Pkt. 6.2.2 dargestellten Gegensatz von deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik, sowie damit zusammenhängend (ii) mit der Frage des *Modellbegriffs konzeptueller Modelle* die in Pkt. 6.2.6 beleuchtete Kontroverse um den Realismus vs. Konstruktivismus. Mit Blick auf den (i) *Realitätsbezug* wurde oben bereits herausgestellt, dass für die *realistische* Auslegung sowohl von konzeptuellen Modellen wie von Ontologien ein breiter Konsens besteht. Dennoch stellt sich die Frage, ob es richtig ist, eine solche Realitätsrepräsentation wie Henderson-Sellers (2011: 94) zum *generellen Charakteristikum* der konzeptuellen Modellierung erklären zu wollen, wenn es heißt: »Models all have one thing in common: they are representations of conceptualizations of the real world«.

Tatsächlich existieren in dieser Sache Gegenpositionen, wenn im Kontext linguistischer Ontologien das genaue Gegenteil behauptet wird, nämlich, dass sich die konzeptuelle Modellierung gerade *nicht* auf Realitätsrepräsentationen beziehen müsse. So vertritt beispielsweise Wyssusek (2006b: 146) unter expliziter Bezugnahme auf Gruber (1993) die Auffassung, dass der Realitätsbezug keine zwingende Voraussetzung der konzeptuellen Modellierung sei: »limiting conceptual modelling to the representation of reality is an unnecessary constraint«. Die Argumentation läuft bei Wyssusek darauf hinaus, dass die konzeptuelle Modellierung auch auf Repräsentationsstrukturen zielen könne, die die Basis für Phantasterei, Fiktion oder Mythologie stellen. Im Einklang damit steht die gebräuchliche Ontologiedefinition Grubers (1993), die weder einen systematischen Realitätsbezug von Ontologien impliziert noch an sich Konzeptualisierungen etwaige Grenzen setzt. Damit besteht Offenheit für Wyssuseks Argumente der Fiktion oder Mythologie, wobei Wyssuseks Position nicht umsonst auf Grubers Ontologieverständnis aufbaut. Das kann allein auf einem *linguistischen* Ontologieverständnis gelingen, für das Wyssusek votiert.¹⁶¹⁹

Es geht damit nicht wie bei Wand/Monarchi et al. (1995: 287) und den meisten anderen Fällen konzeptueller Modellierung um die *aktuale Welt*, sondern vielmehr explizit um *mögliche Welten*. Auch wenn die durch Wyssusek angeführten Beispiele wenig überzeugen, weil sie kaum gängige Anwendungen der konzeptuellen Modellierung darstellen, ist ihm in dieser Sache dennoch grundsätzlich rechtzugeben. In diesem Zusammenhang ist nicht die Koexistenz aktueller und möglicher Welten das Problem konzeptueller Modelle resp. von Ontologien, sondern vielmehr die Vermischung aktueller mit möglichen Entitäten, weil dies offenbar mögliche Fehlschlüsse nach sich ziehen kann. Offenbar sind damit also beide Welten strikt voneinander abzugrenzen, während es insbesondere mit Blick auf Innovationsprozesse dennoch Übergänge geben muss, die sich allein durch Referenz auf eine einheitlich genutzte Top-level Ontologie herstellen lassen. Darauf kommen wir in Pkt. 3.5 zurück. Allerdings entpuppt sich schon diese erste Streitfrage bei genauerer Analyse insofern als Scheindebatte, weil es ganz verschiedene konzeptuelle *Modellarten* gibt, von denen sich mindestens vier wie folgt differenzieren lassen:

¹⁶¹⁹ Vgl. Wyssusek (2005).

- (a) *Ist-Anwendungsmodell* (Ist-Modell mit *konkretem* realen Kontext),¹⁶²⁰
- (b) *Soll-Anwendungsmodell* (Soll-Modell mit *konkretem* realen Kontext),¹⁶²¹
 - (ba) mit Bezug auf ein Ist-Modell (Variation),
 - (bb) ohne Bezug auf ein Ist-Modell (freier Entwurf),
- (c) *Referenzmodell* (allgemeiner bzw. *abstrakter* realer Kontext),
- (d) *Fiktivmodell* (logisch denkbare Szenarien möglicher Welten).¹⁶²²

Alle vier Modellarten lassen sich dabei mit der aus der mathematischen Logik stammenden Idee des *Universe of Discourse* (UoD) vereinbaren, auf die die konzeptuelle Modellierung immer zielt. Diesem liegt *im logico-mathematischen Sinne* immer eine *Faktenbasiertheit* zugrunde, was impliziert, dass sich diese Fakten in einzelnen *faktenbasierten* konzeptuellen Modellierungssprachen wie ORM/NIAM *nicht zwingend* auf die Realität beziehen,¹⁶²³ sondern bei gegebener logischer Widerspruchsfreiheit vielmehr auf ein beliebig definierbares UoD. Mit anderen Worten kann es sich auch um Fakten *möglicher Welten* handeln. Fakten setzen in der Informatik wie in der Analytischen Philosophie also nicht notwendig eine *reale* Existenz als vielmehr lediglich eine *definitorische Existenz* voraus.¹⁶²⁴

¹⁶²⁰ Ist-Modelle (*as-is models*) sind im Allgemeinen *deskriptiver* Natur.

¹⁶²¹ Soll-Modelle (*to-be models*) sind tendenziell *präskriptiver* Natur.

¹⁶²² Ohne Frage ist etwa mit Wysusek (2006b: 143) eine konzeptuelle Modellierung logisch widerspruchsfreier fiktiver Welten denkbar, was auf *fiktive Modelle* hinausläuft, vgl. hierzu etwa Barn/Barn (2013) sowie Frigg (2010). Solche Modelle sind insbesondere auch im Zuge von Computersimulationen und Computerexperimenten von Relevanz und können bei der wissenschaftsbasierten Entwicklung komplexer Produkte erforderlich werden (z.B. AL-Forschung im Bereich Biotech). Allerdings beziehen sich solche Forschungen i.d.R. zumindest indirekt doch auf die Realität, was entsprechende TLO-Übergänge zwischen aktueller und möglichen Welten einfordert; vgl. hierzu die Modelldiskussion bei Casti (1997).

¹⁶²³ Im Unterschied zu herkömmlichen konzeptuellen Modellierungssprachen wie ERM oder UML sind *faktenbasierte Modelle* eigenschaftsfrei in dem Sinne, dass sämtliche Fakten *als Relationen* behandelt werden, vgl. etwa Halpin (2007).

¹⁶²⁴ Entsprechend sollten solche Fakten *nicht* generell im Sinne Quines *Werte gebundener Variablen* missverstanden werden. In Pkt. 3.1 wurde bereits dargelegt, dass die Ontologie auf die Frage der Existenz zielt; im Vorgriff auf Pkt. 3.3 sei hier bereits deutlich gemacht, dass sich realistische Ontologien auf die *reale*, subjektunabhängige Existenz beziehen, während linguistische Ontologien im Sinne des UoD auf der *definitorischen* Existenz aufbauen. Neben anderen hat Wittgensteins (1921: § 1.1) *Tractatus logico-philosophicus* diesen Weg für die Analytische Philosophie in entscheidender Weise geebnet, wenn gilt: »Die Welt ist die Gesamtheit der Tatsachen, nicht der Dinge«. Wittgensteins Tatsachenontologie bedeutet deshalb im Sinne Kants den Primat der Epistemologie über die Ontologie, als sich Entitäten *prinzipiell* geistabhängig definieren. Die *Ontologie der Fakten* ist in der Mögliche-Welten-Semantik der linguistischen Ontologie also keine Ontologie zwingend realer Fakten, wie es für den klassisch-metaphysischen Ontologiebegriff zutreffend ist. Diese *definitorische "Existenz"* von *Fakten möglicher Welten* beruht dabei lediglich darauf, dass sie einfach postuliert, auf Basis von Hypothesen vermutet oder ggf. auch einfach fiktiv angenommen wird, vgl. Rescher (1979: 175). Wichtig ist dabei zu erkennen, dass diese definitorische "Existenz" allein auf den *deskriptiven Mechanismen der Sprache* beruht, vgl. Rescher (1979: 174 f.). Darin besteht offenbar eine Besonderheit der Analytischen Philosophie bzw. von Strawsons (1959) *deskriptiver Metaphysik*. Diese definitorische "Existenz" hängt also an der Sprache wie an Denkprozessen, und damit ist sie in der Informatik kennzeichnend für linguistische Ontologien, wie sie speziell im Bereich der AI-Ontologie zum Zuge kommen. Gelangen im Zuge der konzeptuellen Modellierung Ontologien zum Einsatz, ist dies ganz offensichtlich von sehr wesentlicher Bewandnis. Wenn es mit Blick auf die *Smart Enterprise Integration* dabei vor allem um Fragen wie die *Vollständigkeit von Ontologien* (Ontological Completeness) bzw. *Eindeutigkeit von Ontologien* (Ontological Clarity) geht, ist evident, dass auf Basis einer *allgemeingültigen* Top-level Ontologie diese Fragen nur dann erörterbar sind, wenn es sich dabei um eine *realistische* Ontologie handelt.

Wenn Wyssusek in der Frage des Realitätsbezugs grundsätzlich rechtzugeben ist, erweist es sich jedoch als folgenschwerer Trugschluss, gerade aus diesem nicht für notwendig gehaltenen Realitätsbezug konzeptueller Modelle eine Verzichtbarkeit von Top-level Ontologien für die konzeptuelle Modellierung schlussfolgern zu wollen, wie es bei ihm geschieht.¹⁶²⁵ Während die Bewandnis von Top-level Ontologien bei konzeptuellen Modellen mit Realitätsbezug außer Frage steht, stellt sie sich hingegen insbesondere bei Fiktivmodellen. Allerdings benötigen auch diese fundamentale Kategorien, und oftmals besitzen sie einen Übergang zu anderen Modellarten, was allerdings erst dann offensichtlich wird, wenn man bessere Beispiele als Wyssuseks (2006b: 143) "*fairy ontology*" bzw. "*fairy information system*" bemüht. Vielmehr offenbaren solche für den praktischen IS-Kontext kaum geeignete Beispiele allenfalls die Begrenztheit des Gruberschen (1993) linguistischen Ontologieverständnisses, auf das sie sich explizit berufen: Dass nämlich in der Gruberschen Ontologiekonzeption Phantasterei, Fiktion oder Mythologie *in genau der gleichen Weise* wissensrepräsentiert werden wie geprüfte, objektiv nachvollziehbare industrielle Fakten oder wissenschaftlich allgemein bewährte, d.h. nicht falsifizierte Hypothesen, wird durchaus dann zum Problem, wenn in praxi verschiedenste Ontologien auf Basis der Gruberschen Ontologiekonzeption verknüpft werden. Oder wenn unterschiedliche Beteiligte an verteilten Orten an den gleichen Ontologien arbeiten, und Objekte aus der aktuellen Welt mit Objekten möglicher Welten vermengt werden. Werden solche Ontologien etwa für Steuerungszwecke im industriellen Einsatz genutzt, verantwortet die dadurch auftretenden Probleme letztlich die Informatik als Disziplin. Denn es sind ihre Ontologiekonzepte, die in ihren Reihen breite Akzeptanz finden. Wyssuseks (2006b) "*fairy ontology*" bewirkt somit letztlich genau das Umgekehrte des ursprünglich Intendierten: sie führt Grubers Ontologiekonzept *ad absurdum* – zumindest was seinen professionellen Einsatz in Wissenssystemen bei kritischen Prozessen anbelangt. Insgesamt ist dabei zu konstatieren:

»[I]n current practice, knowledge representation approaches usually focus on syntactic and formal aspects of concept modelling, with the sole intention to enable computer-to-computer communication. The complementary real-world semantics (of elicitation) and the pragmatics (of application) of these models are often weak or even completely ignored. Consequently, the cost of misinterpretation of available data is very high, and has vast economic consequences. Furthermore, this leads to unnecessary and expensive demands for changes to the ontologies.«¹⁶²⁶

Unter Rückgriff auf überzeugendere Beispiele als jenen von Wyssusek, die sich mit Blick auf Imagination, Kreativität und Invention in PLM-zentrischen Innovationsprozessen reichlich finden, wird deutlich, dass *Fiktivmodellen* durchaus in den ureigensten Feldern konzeptueller Modellierung eine wesentliche Funktion zukommen kann: etwa mit Blick auf Produktmodelle bei radikaler Produktinnovation oder im Zuge von Prozessmodellen bei radikalen Geschäftsmodellinnovationen. Tatsächlich sind bei komplexen U-PLM-Systemen nicht nur alle vier oben genannten Modellarten von prinzipieller Relevanz, sondern sie spielen hier auch noch in verschiedenster Weise direkt ineinander: Ist- und Soll-

¹⁶²⁵ Vgl. hierzu Wyssusek (2006a, 2006b). Dieser Irrtum erklärt sich primär dadurch, dass Wyssuseks Kritik auf die BWW-TLO fixiert ist, die nur *aktuale*, nicht aber *mögliche Welten* zulässt.

¹⁶²⁶ De Leenheer/Christiaens (2009: 172).

modelle finden sich etwa im Rahmen der Enterprise Architecture, Referenzmodelle im Zuge industriespezifischer PLM-Lösungen, während Fiktivmodelle im fortgeschrittenen Stadium von Innovationsprozessen unvermittelt in Anwendungsmodelle übergehen.

Analog dazu entpuppt sich auch die zweite Streitfrage, die sich letztlich um den *Modellbegriff konzeptueller Modelle* dreht, insofern als Scheindebatte, als sich auch diese im Kontext der obigen vier Modellarten leicht auflösen lässt: Ausgangspunkt dieser Debatte ist die oftmals vertretene Auffassung, wonach jedes Modellsystem ein komplexitätsreduziertes *Abbild* der (betrieblichen) Realität repräsentiere.¹⁶²⁷ Entsprechend mündet die Frage des *Modellbegriffs* der konzeptuellen Modellierung unversehens im alten Widerstreit der Modelldiskussion zwischen dem *abbildungstheoretischen* und *konstruktionstheoretischen* Modellverständnis. Tatsächlich werden heute im Rahmen der konzeptuellen Modellierung beide Positionen der Modelldiskussion bemüht: Während es im Sinne des klassischen Modellbegriffs der *passivistischen Abbildungsthese* bei Robinson (2010: 1) heißt: »Conceptual modelling is the abstraction of a simulation model from the part of the real world it is representing ('the real system')«, insistiert Moody (2005) im Zeichen des jüngeren Modellbegriffs der *aktivistischen Konstruktionsthese* darauf, »that conceptual modelling is a design discipline and that conceptual models are design artifacts used to actively *construct* the world rather than simply describe it«. ¹⁶²⁸ Bekanntlich stehen sich diese Positionen seit langer Zeit unversöhnlich gegenüber, während im Kontext von U-PLM-Systemen deutlich wird, dass sich beiden Positionen *sachlogisch* nicht notwendig widersprechen, sondern sich vielmehr komplementieren. Insofern *beide* Positionen in EA-Kontexten von U-PLM-Systemen zum Einsatz gelangen, wird damit die Notwendigkeit einer Synthese der disparaten epistemologischen wie ontologischen Positionen indiziert. Auch dieser Widerstreit lässt sich erst richtiggehend lösen, wenn er auf die oben vier abgegrenzten Modellarten bezogen wird. Möglichst exakte digitale Abbilder spielen etwa bei (a) *Ist-Modellen* der digitalen Fabrik eine wichtige Rolle; sie haben genauestens mit den realen Prozessen zu korrespondieren, womit offenbar die *Abbildungsthese* von Relevanz ist. In Pkt. 6.2.6 wird deutlich, dass diese nicht notwendig einen *naiven Realismus* voraussetzt, der unhaltbar ist. Gleichzeitig steht außer Frage, dass eine ontologische Fundierung entsprechender konzeptueller Modelle zwingend eine Ontologie im klassischen Existenzsinne einfordert.

Demgegenüber laufen (bb) *Soll-Modelle als freier Entwurf* unmittelbar auf eine aktive Konstruktionsleistung hinaus. Allerdings lassen sich selbst hier nicht die Argumente des Realismus ausschalten, da solche Entwürfe nicht nur explizit auf objektiv relevante reale Kontextfaktoren abstellen sollten, sondern sich insgesamt an der Realität zu bewähren haben und sich präzise in diese einfügen müssen. Das impliziert das Erfordernis, dass die an der konzeptuellen Modellierung beteiligten bzw. von ihr betroffenen Individuen ein geteiltes Verständnis des jeweils relevanten Realitätsausschnitts besitzen, worauf sich das im

¹⁶²⁷ Vgl. Sinz (1998).

¹⁶²⁸ Vgl. Moody (2005: 244), Hvh. im Orig.

ersten Teil erörterte *Problem konzeptueller Heterogenität* bezieht. Dabei steht außer Frage, dass ein solch geteiltes Verständnis bei komplexen Welten ein entsprechendes Wahrheitskonzept (Wahrmacher) erfordert, das in fundamentaler Hinsicht allein über realistische Top-level Ontologien, und in fachlicher Hinsicht im Allgemeinen über Domänenontologien realisierbar ist. Mit anderen Worten verlangen konzeptuelle Modelle resp. konzeptuelle Modellierungssprachen realitätsbezogene Wahrmacher (Truthmaker), insofern sie sich an den Fakten der Realität zu bewähren haben. Diese erhalten sie in Form der metaphysischen Top-level Ontologie als allgemeinsten Theorie im Zeichen der Korrespondenztheorie, bzw. in Form der Domänenontologie entweder im Zeichen der Konsensstheorie (technologische Ontologien) oder der Korrespondenztheorie (wissenschaftliche Ontologien). Die Rolle insbesondere der Top-level Ontologie wie weiterer Ontologien im Rahmen der konzeptuellen Modellierung besteht damit vor allem in der systematischen wie rigorosen Überprüfung des Realitätsbezugs. Damit bedürfen CM-Ontologien zwingend einer *realistischen* Ontologieauffassung, was bei ihrer Berücksichtigung in einer integrierten Ontologiekonzeption eine genauso zwingende Restriktion markiert. Ferner zielt eine solche ontologische Evaluierung im Zuge der konzeptuellen Modellierung auf methodische bzw. inhaltliche Erwägungen, etwa bezüglich der ontologischen Vollständigkeit, der ontologischen Eindeutigkeit bzw. Klarheit sowie der Komplexität. Es steht hier also eine Validierbarkeit bzw. Falsifizierbarkeit *realer Fakten* in Frage, der Ausschluss des Kontrafaktischen bzw. Nicht-Realfaktischen, um eine empirische Korrespondenz zwischen konzeptuellen Modellen und Realität sicherstellen zu können. Demnach kann der Wahrmacher hier nicht allein auf logischer Widerspruchsfreiheit oder reiner Konsensbasis aufbauen.¹⁶²⁹

Im PLM-Kontext kann es sich bei solchen aktiven Konstruktionsleistungen etwa um radikal neue Produkt- oder Prozessmodelle handeln, deren Modellierung aufgrund der komplett fehlenden Ist-Referenz auf wesentliche Aspekte der *Konstruktionsthese* hinausläuft. Somit finden in der EA-Welt von PLM-Systemen nicht nur präskriptive *und* deskriptive konzeptuelle Modelle Verwendung, sondern es stehen vor allem auch die Abbildungs- *und* die Konstruktionsthese Seite an Seite, da sie in einer aufgeklärten Variante jeweils für bestimmte Modellarten vorauszusetzen sind. Beide Positionen relativieren sich in praktischer wie sachlogischer Hinsicht in dem Sinne, als im Zuge des *Enterprise Engineering* sowohl möglichst genaue passive Abbildungsleistungen als auch möglichst kreative, aktive Konstruktionsleistungen im Zuge der konzeptuellen Modellierung zu erbringen sind. Allein auf diese Weise kann sie zur Optimierung resp. Höherentwicklung von U-PLM-Systemen bzw. ihrer PPR-Teilmodelle beitragen. Das setzt allerdings eine erkenntnistheoretische Synthese voraus, die letztlich allein im *kritischen Realismus* bestehen kann, der nicht nur wichtige Annahmen des Realismus, sondern genauso gewichtige Argumente des Konstruktivismus zu berücksichtigen weiß. Auf diesen sowie auf die allgemeine Debatte um den Realismus vs. Konstruktivismus kommen wir in Pkt. 6.2.6 zurück.

¹⁶²⁹ Vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 6.2.8.

3.2.3 Ontologien zur AI-Wissensrepräsentation komplexer IoX-Systeme

»*Foundational ontologies are indispensable for fixing the meaning of high-level predicates that represent formal relations pervading reality as a whole. They are reference ontologies and hence embody a realist stance.*«

—Luc Schneider (2003b: 3)

Während das Web 3.0 im Zeichen der *Linked Open Data* (LOD) mit Choudhury (2014) als *Web of Data* verstehbar ist, sind seiner Auslegung als *Web of Knowledge Connections* bei Aghaei et al. (2012) mit der Idee des *Semantic Web* (SW) enge Grenzen gesetzt. Es kann dabei um nicht mehr gehen als um die Semantik, nämlich um den Bedeutungsgehalt einer Information. Indessen zeigt sich mit dem Web 4.0, das demgegenüber mit Aghaei et al. (2012) als *Web of Intelligence Connections* auffassbar ist, nicht nur das Erfordernis der AI/KR-Integration, sondern vielmehr erst das komplette Bild der Informatik. Denn ihr Kulminationspunkt liegt weder in Daten noch in Informationen, sondern im Wissen.¹⁶³⁰ Daten und Informationen sind nichts als Mittel zu seinem Zweck. Die weitreichenden Konsequenzen dieser in der Informatik oftmals verdrängten These zeigen sich erst mit dem unaufhaltsamen Durchdringen Artifizierlicher Intelligenz (AI) in praktisch alle Bereiche – und in nahezu alle Computersysteme. Mit dem Wissen erklimmt die Informatik eine neue Stufe ihrer Entwicklung, wobei sich nunmehr ganz andere Fragen stellen, als sie viele Informatiker bislang sehen. Ohne Zweifel blendet die Fixierung auf Signale, Daten oder Informationen eine Vielzahl von Fragen aus, die sich erst mit dem Wissen stellen. Bei diesen Fragen handelt es sich indessen nicht etwa um nachrangige Spezialfragen, die Informatiker problemlos Dritten überlassen könnten. Vielmehr handelt es sich zwar um neue, aber gewiss um *ureigenste Kernfragen der Informatik*, wenn ihre eigentliche AI-basierte Konstitution nicht allein auf Daten und Informationen, sondern vor allem auf *Wissen* beruht.

Die natürliche Entwicklung der Informatik führt – historisch wie künftig – zu immer intelligenteren Systemen, und diese zentrieren sich mit Brachman/Levesque (2004) um das *Wissen*: »One striking aspect of intelligent behavior is that it is clearly conditioned by *knowledge*: for a very wide range of activities, we make decisions about what to do based on what we know (or believe) about the world, effortlessly and unconsciously.«¹⁶³¹ Dabei handelt es sich bei der *AI-zentrischen Informatik* keineswegs um eine unerwartete Erscheinung;¹⁶³² vielmehr war diese Entwicklung seit McCulloch/Pitts (1943) für sie immer vorgezeichnet.¹⁶³³ Nur hat sich die Disziplin zunächst notwendig auf die erforderliche Erarbei-

¹⁶³⁰ Vgl. speziell für den IoT-Kontext etwa Kyriazis/Varvarigou (2013).

¹⁶³¹ Vgl. Brachman/Levesque (2004: 1), Hvh. des Orig.

¹⁶³² Wir teilen hierbei die Position McCarthys (1963a: 66): »The subject of computation is essentially that of artificial intelligence since the development of computation is in the direction of making machines carry out ever more complex and sophisticated processes, i.e. to behave as intelligently as possible«.

¹⁶³³ Programmatik und Name der Forschungsdisziplin der *Künstlichen Intelligenz* (Artificial Intelligence) gehen auf den berühmten zweimonatigen *Dartmouth Workshop* im Jahre 1956 zurück, wie er durch McCarthy et al. (1955) geplant wurde. Für diese lieferten wiederum McCulloch/Pitts (1943) die Basis, indem sie ein Modell eines künstlichen neuronalen Netzes schufen, das neben der Neurophysiologie und der Berechenbarkeitstheorie reeller Zahlen von Turing (1936) auf der formalen Logik von Whitehead/Russell (1910-13) beziehungsweise auf der Booleschen (1847, 1854) Algebra basiert.

tung der Grundlagen konzentrieren müssen. Insofern standen auch zunächst Daten und Informationen im Mittelpunkt. Sie bleiben als Basis etwa mit der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) operational von Relevanz, während es mit der Dominanz intelligenter Systeme für die Informatik in letzter Konsequenz doch nur immer um eines gehen kann, nämlich um *Wissen* und im Sinne reflexiver Intelligenz um *Erkenntnis*. Mit ihnen geht es um *Ontologien*, und deshalb sind inzwischen auch letztere omnipräsent. Die in Pkt. 1.2 skizzierte *ontologische Revolution* der Informatik steht deshalb vor allem im Zeichen der *Top-level Ontologie*, weil sie es ist, mit der die Ressource Wissen für die Informatik erst richtiggehend steuerbar und im Sinne von Heavyweight-Ontologien für stabile, vollautomatische wie hochintelligente Prozesse einsetzbar wird. Es ist die *Top-level Ontologie*, die die heute immer mehr in den Vordergrund rückenden *integrierten Smart Web Szenarien* erst eröffnet. Tatsächlich im engeren Sinne des Begriffs als *intelligent* zu verstehende Systeme benötigen mit McCarthy (1995) zweifellos einen formalen, in allen ontologischen, epistemologischen wie wissenschaftstheoretischen Facetten rigoros geklärten "*general world view*", den sie allein im Zuge des Einsatzes von *Top-level Ontologien* erhalten können.

Auch wenn sie ebenfalls für Daten resp. Informationen die Referenzbasis bildet, ist es doch erst das Wissen, das die einschneidende Bedeutung der *Top-level Ontologie* im Kontext intelligenter Systeme wie CPS, IKS oder MAS begründet. Indem der Kulminationspunkt des Wissens erst langsam erreicht wird, überrascht es nicht, wenn die fundamentale Bedeutung, die die *Top-level Ontologie* als oberste Ontologieebene und ontologischer Referenzpunkt der Informatik für diese besitzt, in ihren breiten Reihen erst ganz allmählich klar zu werden beginnt. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass nicht nur alle fundamentalen Fragen der konzeptuellen Modellierung, sondern mit dem Wissen gerade auch zentrale Belange der AI-zentrierten Informatik auf Sachverhalte hinauslaufen, die bisher die Philosophie exklusiv für sich reklamiert hat. Sie wurden aus der Philosophie mit übernommen, aus der mit Mealy (1967) der Ontologiebegriff der Informatik stammt. Es handelt sich jedoch um die ureigensten Sachverhalte der Informatik, denn zwischen den Disziplinen lässt sich in Wirklichkeit natürlich gar nicht trennen. Eine informationszentrische ratio-empirische Metaphysik als Cyber-Physik ist unmittelbar mit den Struktur- und Erfahrungswissenschaften interdependent, und entsprechend eng sind die Bande zwischen Whiteheadscher Metaphysik und Informatik. Denn letzte ist metaphysisch veranlagt, während erste für Zwecke der nachgelagerten Epistemologie und Methodologie insbesondere nicht ohne die Informatik auskommen kann. Alle Disziplinen bilden ein universales Ganzes, und insofern bedarf es entsprechend einer transdisziplinären Wissensrepräsentation. Ungeachtet dessen, dass in der Künstlichen Intelligenz (AI) verschiedenste Methoden zum Einsatz kommen, liegt ihr Schwerpunkt nicht nur mit der ontologischen Revolution immer deutlich auf der Wissensrepräsentation (KR).^{1634, 1635} Der Grund für die primäre KR-Stellung besteht

¹⁶³⁴ Vgl. etwa Brachman (1992b); vgl. zur ausführlichen KR-Definition etwa R. Davis et al. (1993).

in der Intelligenz als solcher. Die Informatik läuft auf Superintelligenz hinaus, und diese zeichnet sich vor allem durch die höchste Intelligenzform aus, nämlich durch die reflexive Intelligenz. Mit dem KR-Aspekt ist eine Reihe von Fragen verbunden, mit denen sich die Informatik selten in hinreichender Weise auseinandersetzt, worum sie jedoch bei einer AI-zentrischen Informatik kaum umhinkommt.¹⁶³⁶ Vor allem ist es keine gute Praxis, wenn Informatiker KS- resp. IKS-Konzepte auf Basis formaler Wissensrepräsentationen entwerfen, ohne sich zuvor eingehend mit der umfassenderen Frage nach der *Natur des Wissens* auseinandergesetzt zu haben.

Jede AI-Wissensrepräsentation setzt entsprechend die Frage nach der *Natur des Wissens* voraus: Was ist Wissen, wie ist damit im Einzelnen genau umzugehen und wie ist es konkret anzuwenden?¹⁶³⁷ – Das sind seit Sokrates und Platon gewiss uralte philosophische Fragen, doch im Zeitalter AI-zentrischer Systeme avancieren sie zu ebenso zentralen Fragen der Informatik. Indem die Informatik die Frage nach der *Natur des Wissens* und ihren Konsequenzen bisher kaum stellt, muss man ihr mit speziellem Blick auf verschiedene für sie zentrale Ansätze absprechen, dass sie sich überhaupt mit *Wissenssystemen* (knowledge systems) beschäftigt. In Wirklichkeit nämlich setzt sie sich in weiten Teilen gar nicht mit diesen auseinander, sondern vielmehr immer noch mit jenen *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) – von denen in den Anfängen der AI-Tradition etwa mit Hayes (1973) auch

¹⁶³⁵ Systeme *Künstlicher Intelligenz* (AI) beziehen sich auf ganz unterschiedliche Teilgebiete und setzen unterschiedliche Methoden ein, vgl. hierzu Mainzer (1994b: 102 ff.; 2003b). Zu diesen Teilgebieten gehören etwa neben der Robotik als Form manipulativer Intelligenz und der Musteranalyse, Mustererkennung und Mustervorhersage vor allem *wissensbasierte Systeme* (KBS) als Form rationaler Intelligenz, die mit Verweis auf Pkt. 1.5 neben *Expertensystemen* (ES) unter die generische Begriffsklasse der *Wissenssysteme* (KS) fallen, vgl. auch die Übersicht bei Mainzer (1990: 52). Damit geht es um die *Wissensrepräsentation* (KR) als Teil der Künstlichen Intelligenz, zu der Brachman/Levesque (2004: 1) feststellen: »One definition of Artificial Intelligence (AI) is that it is the study of intelligent behavior achieved through computational means. Knowledge representation and reasoning, then, is that part of AI that is concerned with how an agent uses what it knows in deciding what to do. It is the study of thinking as a computational process«. Tatsächlich ist mit Newell (1990: 54-65) die Wissensrepräsentation und automatisches Schließen in den meisten AI-Anwendungen von zentraler Bedeutung. Zwar basieren Wissenssysteme auf automatischem logischen Schließen, das prinzipiell auch unabhängig von Ontologien möglich ist. Indessen eröffnen gerade Ontologien als Methode der Wissensrepräsentation mit ihren Begriffen (als Knoten) und deren Relationen (als Linien) im *semantischen Netz*, ggf. ergänzt um Axiome (Heavyweight-Ontologien), eine umfassend neue Dimension für das automatische logische Schließen, vgl. etwa Stock/Stock (2008), insbes. S. 40 bzw. S. 256, sowie Poole/Mackworth (2010). Auf Basis ihrer Terminologie wird es möglich, explizierbares menschliches Wissen zu formalisieren und entsprechend in eine maschinenlesbare Form zu bringen. Demgemäß bilden *Ontologien* mit Berners-Lee et al. (2002) auch die Methode der Wissensrepräsentation im Semantic Web, auf deren Technologie die Architektur moderner PLM-Systeme gründet. Damit weist die Wissensrepräsentation drei wesentliche Komponenten auf, nämlich die Logik, die Ontologie sowie die Inferenz, also das automatische Schließen; vgl. Sowa (2000: xi), der nicht von *Inferenz*, sondern allgemein von *Computation* spricht, also von automatisierter Berechnung, die im Kontext der Wissensrepräsentation aber letztlich im Kern auf Inferenz hinausläuft. Insgesamt wird deutlich, dass es *Ontologien* sind, die für die Künstliche Intelligenz (AI) Möglichkeiten eröffnen, die zuvor der natürlichen Intelligenz vorbehalten waren. Anders gewendet kann man auch sagen, dass erst AI-Ontologien die ursprüngliche AI-Vision umsetzbar machen. Mit Verweis auf Pkt. 1.5 lässt sich analog zur AI-Vision feststellen, dass Ontologien im Zeichen der Inferenz in gleicher Weise erst die ursprüngliche CIM-Vision Wirklichkeit werden lassen, nämlich in Form der Smart Factory bzw. des Smart Enterprise, womit sich der maßgebliche Stellenwert der *Enterprise Ontology* erklärt.

¹⁶³⁶ Zuweilen werden sie auch aufgegriffen, vgl. etwa Klein/Roth-Berghofer (2003).

¹⁶³⁷ Vgl. auch Mainzer (1999c: 1304).

noch explizit die Rede war.¹⁶³⁸ Wahlster (1977: 22) hat bereits betont, dass solche Überzeugungssysteme ihrer Natur entsprechend »auch subjektiv gefärbte, idiosynkratische Antworten generieren«. Diese Idiosynkrasie ist für die Linguistik wesentlich; idiosynkratische Begriffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie durch unterschiedliche Personen oder Gruppen eine unterschiedliche Bedeutung erhalten. Insofern läuft diese Idiosynkrasie unvermittelt auf das in Pkt. 1.2 umrissene Kernproblem, nämlich auf die *paradigmatische Inkommensurabilität* hinaus. Damit wird deutlich: *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) stehen einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität letztlich diametral entgegen.

Die aktuelle Relevanz der These, wonach gegenwärtige AI-Ansätze immer noch den tradierten *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) verhaftet sind, besteht zum einen darin, dass auch Grubers (1993, 1995) populäre AI-Ontologiekonzeption letztlich genauso in der Tradition solcher Überzeugungssysteme steht, und nicht in der eigentlichen modernen KS-Tradition. Denn diese benötigt ein systematisches, integriertes wie rigoros TLO-referenzierendes Ontologieverständnis, was sie nicht leistet. Zum anderen besteht sie in explizit auf Grubers (1993, 1995) linguistischer Position aufbauenden naiven AI-Ontologiekonzepten, die ebenfalls noch meinen, die AI-Ontologie hätte *nichts* mit der Außenwelt zu tun: »Hence, ontologies in artificial intelligence are linguistic conventions that do not tell us anything about the outside world«. ¹⁶³⁹ Solche Positionen sind dabei nicht nur für industrielle Zwecke vollkommen unbrauchbar, ¹⁶⁴⁰ sondern auch schlichtweg falsch, wenn der fehlende umfassende, qualitativ gesicherte und systematische Bezug zur Außenwelt von AI-Ontologien gerade durch expliziten Verweis auf Quine legitimiert werden soll: Denn dies entspricht mit Verweis auf Pkt. 5.1 gerade explizit *nicht* der Position Quines. Demgegenüber steht bereits für Hobbs (1985a) außer Frage, dass dieser Weg falsch ist, während McCarthy (2002) explizit darauf insistiert, dass eine Korrespondenz zwischen realer Welt und AI-System anzustreben ist. ¹⁶⁴¹ Denn in der Tat gilt mit Russell/Norvig (2010: 24): »The widespread growth of applications to real-world problems caused a concurrent increase in the demands for workable knowledge representation schemes«.

Es ist auch McCarthy (1977), der schon früh auf die epistemologischen Probleme der AI-Tradition hingewiesen hat; ¹⁶⁴² tatsächlich steht der aus der griechischen Antike stammende Term *Episteme* für den Kern des AI-Konzepts, nämlich für das *Wissen*. Entsprechend verwundert es nicht, dass McCarthys (1995) Appell an die Philosophie zur Unter-

¹⁶³⁸ Vgl. hierzu auch Rapaport (1987).

¹⁶³⁹ Vgl. Wyssusek/Klaus (2005b: 336).

¹⁶⁴⁰ Sie sind gleich doppelt unbrauchbar: Sowohl *realwissenschaftliche* Ontologien, als auch *technologische* Ontologien etwa im CPS-Bereich setzen gerade einen rigorosen *Realitätsbezug* notwendig voraus.

¹⁶⁴¹ Vgl. zu den damit verbundenen Problemen exemplarisch Brachman (1992a).

¹⁶⁴² Nachdem McCarthy (1977) auf die *epistemologischen* AI-Probleme abstellt, erkennt auch Brachman (1979), dass in der Klassifikation von KR-Formalisten eine Ebene fehlt, nämlich eine *epistemologische* Ebene. Guarino (1994) ergänzt diese Systematik wiederum um eine *ontologische* Ebene, die eine *Bedeutungsebene* auf Basis formaler Ontologie ist; dabei geht es Guarino auch darum, fundamentale ontologische Kategorien in KR-Formalisten einzubetten, vgl. Guarino (2009: 59), wie er sie mit seinen DOLCE TLO-Kategorien vertritt, vgl. Guarino (2009: 60).

stützung der AI-Tradition in konzeptionellen Fragen sich wesentlich nicht nur auf ihre ontologischen, sondern insbesondere auch auf ihre epistemologischen Aspekte bezieht. McCarthys (1995) Aufruf ist aufschlussreich; denn mit ihm wird nochmals klar, dass sich die AI-Tradition zwar seit Jahrzehnten in Techniken zur Wissensrepräsentation versucht, dabei aber kaum die Frage nach dem Wissen als solchem stellt. Das ist nur in Ausnahmefällen der Fall, etwa bei Mylopoulos (1989), der zwar die elementare Rolle dieser Frage erkennt, sie aber letztlich auch nicht zufriedenstellend zu beantworten weiß:

»My point of view is Knowledge Representation and that means at least that I'm interested in the nature of knowledge. If you just leave the question there, all you can do is go and see what philosophers have been saying about the subject for the last 2000 years or more and try to make sense out of it.«¹⁶⁴³

Auch andere, konkretere Versuche scheitern in den Reihen der Informatik daran, wenn etwa Gasevic et al. (2009: 11 ff.) verschiedene Wissensarten differenzieren, aber damit die Frage nach der *Natur des Wissens* auch nicht lösen. Vor allem übersieht die Informatik, dass diese Frage unmittelbar und wesentlich ihr Ontologieverständnis berührt, wie es in Pkt. 3.5 noch näher deutlich werden wird: Dass man in der AI-Forschung von diesem zentralen Aspekt bis heute regelmäßig abstrahiert, wird dann zum Verhängnis, wenn es um umfassende Interoperabilität, Transdisziplinarität und eine integrierte Ontologiekonzeption geht; kurzum wenn der AI-Gedanke in komplexe semantische Integrationsszenarien rückt.

Ohne Frage bestehen grundsätzliche Unterschiede zwischen *Überzeugungen* und *Wissen*, die zwar von philosophischer Seite sehr umfassend thematisiert werden,¹⁶⁴⁴ jedoch durch die Informatik vermutlich deswegen bisher nur unzureichend berücksichtigt worden sind,¹⁶⁴⁵ weil die gesamte Künstliche Intelligenz (AI) ihren Entwicklungsursprung in solchen *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) besitzt. Wenn auch Abelson (1979) bereits von Seiten der Kognitionswissenschaften und Rantala (1990) von philosophischer Seite im direkten KR-Kontext auf die Notwendigkeit der strikten Unterscheidung zwischen Überzeugungen und Wissen hinweisen, und auch Sowa (2000: 379 ff.) von AI-Seite nochmals ihren wesentlichen Unterschied ausführlich herauszustellen sucht, müsste in den meisten Fällen in den Reihen der Informatik richtigerweise auch noch heute von "*belief systems*", nicht von "*knowledge systems*" gesprochen werden. Newell (1982: 122) räumt dies von AI-Seite auch offen ein. Um keine Missverständnisse aufkommen zu lassen: die Informatik benötigt auch heute noch neben dem Wissen subjektiv gefärbte, idiosynkratische *Überzeugungen*, speziell, wenn es um *agentenbasierte Systeme* geht. Nur stehen diese im Zeichen eines neuen, modernen AI-Verständnisses, und haben mit den tradierten Überzeugungssystemen nicht mehr viel zu tun. Vielmehr wird deutlich, dass heute weder die ganze Ontologiekonzeption auf ihnen ruhen sollte, noch dass das umfassende Wechselspiel zwischen Überzeugungen und Wissen weiterhin unberücksichtigt bleiben kann. Tatsächlich

¹⁶⁴³ Mylopoulos (1989: 495).

¹⁶⁴⁴ Vgl. etwa Hintikka (1962) sowie Gettier (1963).

¹⁶⁴⁵ Vgl. von Seiten der *Informatik* etwa Moses (2008).

benötigen Überzeugungen ihren eigenen Ontologietypus, der jedoch systematischer Bestandteil einer integrierten Ontologiekonzeption sein muss, die Gegenstand von Pkt. 3.5 ist.

Die Idee und Legitimation, statt von *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) in ganz allgemeiner Weise von *Wissenssystemen* (knowledge systems) zu sprechen, leitet die Informatik von ihrem Rückgriff auf allgemeines, simples *Alltagswissen* (*Common Sense Knowledge*) ab, das insbesondere durch Computerlinguisten wie Hobbs (1985a, 1985b) in Form von *Common Sense-Ontologien* ins Spiel gebracht wurde.¹⁶⁴⁶ Solch simples Alltagswissen lässt sich auf Basis der Alltagsrationalität des gesunden Menschenverstands (common sense) verstehen bzw. aufbereiten.¹⁶⁴⁷ Dieser Rückgriff auf Alltagswissen markiert den Versuch, die Außenwelt im linguistischen Sinne einzufangen. Allerdings ist der tatsächliche Wert dieses Rückgriffs auf Alltagswissen zumeist mehr als zweifelhaft. Zwar ist unbestreitbar, dass eine Inferenz auf Basis einer *Naïve Physics*, einer *Commonsense Psychology* oder einer *Commonsense Theory of Microsociology* möglich ist, doch hat das gewiss seine Grenzen.¹⁶⁴⁸ Diese bestehen etwa darin, dass Wahrnehmung und Repräsentation grundlegender physikalischer Phänomene der Realität immer so erfolgen müssen, wie es für Nicht-Experten, also rein auf Basis des gesunden Menschenverstands möglich ist.¹⁶⁴⁹ Wenn *Common Sense-Ontologien* damit auf die Repräsentation von Alltagswissen zielen, steht ihr Nutzen für bestimmte spezifische Zwecke, etwa zur ersten Orientierung oder im Rahmen der Cyc-Ontologie außer Frage. Sie bilden also *an sich* einen legitimen Ontologietypus, weil sie für viele Anwendungsfälle des Alltags ausreichend erscheinen können, etwa wenn es um eine ontologiegestützte Web-Recherche geht.¹⁶⁵⁰ Auf diese Weise kann es auch schnell gelingen, eine möglichst umfassende operationalisierbare Wissensbasis zu schaffen, auf die gerade das Cyc-Projekt zielt.

Der *Common Sense* trägt dennoch eine doppelte Problematik in sich: erstens kann er nicht ein Nebenprojekt darstellen, das mit *Scientific Ontologies* inkompatibel ist. Mit anderen Worten kann es es nicht etwa um eine eigenständige naive Physik gehen, die nicht viel mit dem wissenschaftlichen Erkenntnisstand zu tun hat; allenfalls um die Vereinfachung physikalischer Sachverhalte. Genauso entscheidend ist die Frage der Normalsprache: damit kann auch nicht die Sprache die physikalische Weltansicht vorgeben, sondern es muss genau umgekehrt eine Normalsprache gesucht werden, die dem wissenschaftlichen Stand ent-

¹⁶⁴⁶ Für Hobbs gilt dabei analog zu Wittgenstein (1953): »The real problem in natural language processing is the interpretation of discourse«, vgl. Hobbs (1985b: 61).

¹⁶⁴⁷ Vgl. hierzu auch Ayer (1968), McCarthy (1968), Nottola et al. (1992) sowie B. Smith (1995a).

¹⁶⁴⁸ Vgl. zu solchen Ansätzen Hayes (1979, 1985a, 1985b), Israel (1985), Hobbs/Croft et al. (1987), Hobbs (1995), Shanahan (1996), Hobbs/Gordon (2010) sowie Hobbs/Sagae/Wertheim (2012).

¹⁶⁴⁹ Vgl. hierzu auch B. Smith/Casati (1994).

¹⁶⁵⁰ Allerdings steht außer Frage, dass dieses Alltagswissen dabei konsequent insofern auf wissenschaftliches Wissen rekurrieren muss, als ersteres nicht im Widerspruch zu letzterem stehen sollte. Das gilt selbstverständlich nicht nur mit Blick auf physische oder sonstige erfahrungswissenschaftliche Fakten, sondern speziell auch im Hinblick auf metaphysische Tatbestände, insbesondere in Bezug auf die *Natur der Objekte* oder für das *Verhältnis von Objekt, Ereignis und Prozess*. Es kann sich also allenfalls um *Vereinfachungen komplexer Sachverhalte* handeln, nicht aber um eine vollkommen davon abgekoppelte, ggf. widersprüchliche Wissenswelt.

spricht. Eine objektzentrische 3D-Grammatik orientiert sich notwendig an einer veralteten, Cartesisch geprägten Physik; tatsächlich ist die umgekehrte Sicht richtig: die moderne Physik der Evolutionsprozesse erfordert eine 4D-Grammatik, wie sie mit einer kombinierten Situations- und Ereignissemantik auf Basis von Normalsprache realisierbar ist. Allein auf diese Weise ist eine konsistente transdisziplinäre Wissensbasis möglich, die für Künstliche Intelligenz entscheidend ist. Demgegenüber stellt sich die Relevanz des *Common Sense* im Sinne Searles (1995) in Bezug auf die soziale Realität etwas differenzierter da. Tatsächlich basiert etwa das Rechtswesen zu einem großen Teil auf sozialen Konstruktionen; auf Institutionen, sozialphilosophischen Erwägungen usw. Während es also im naturwissenschaftlichen Bereich lediglich um Vereinfachungen im Sinne des Alltagsverstands gehen kann, geht es hier um einen Bereich, für den der *Common Sense* tatsächlich maßgeblich, wenngleich nicht hinreichend ist. Er ist also im Sinne Popperscher W3-Artefakte zu berücksichtigen. Das heißt allerdings nicht, dass die soziale Realität lediglich auf *Common Sense* reduzierbar ist. Richtig ist vielmehr, dass auch hier in vielen Fällen regelbasierten Verhaltens *Scientific Ontologies* im Popperschen Sinne möglich sind. Insofern und indem auch technische bzw. naturwissenschaftliche Belange rechtsrelevant sind, ist die Position von Breuker/Hoekstra (2004a, 2004b) zu relativieren: Ein richtig verstandener *Common Sense* ist zwar adäquate ontologische Basis für das Rechtswesen; er muss jedoch offen sein für das ganze System von Ontologien, wie es nicht zuletzt die Rechtsfragen des Referenzszenarios offenbaren.

Indessen können komplexe PLM-zentrierte Produktentwicklungsprozesse in Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der chemischen Prozessindustrie, der Lebensmittelindustrie oder der Medizintechnik selbstverständlich nicht primär auf solch simplem *Alltagswissen* (*Common Sense Knowledge*) aufbauen. Denn dieses besitzt ein zentrales Manko, das mehr und mehr zum Problem wird, wenn echte Wissenssysteme die zentrale ontologische Grundlage komplexer ontologischer Anwendungs- und Integrationsszenarien bilden, und dabei auf explikativen Heavyweight-Ontologien gründen. Dieses fundamentale Manko besteht darin, dass Alltagswissen sich gerade nicht in die Form präziser Theorien setzen lässt. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* offenbart, dass es bei komplexen semantischen Systemintegrationen, wie sie etwa für die *Smart Factory* oder Innovationsprozesse komplexer Güter kennzeichnend sind, indes auf dieses Präzisionsmoment ankommt. Daher überrascht es nicht, wenn McCarthy (2000) das Erfordernis nach Einbezug gerade auch *wissenschaftlichen Wissens* (*Scientific Knowledge*) in AI-Systeme explizit hervorhebt, wie es ähnlich bereits Thagard (1988) betont. Fixiert man den Charakter und Status von Wissenssystemen auf dieses Präzisionsmoment, wofür gute Gründe sprechen, ist evident, dass die AI-Ontologiekonzeption im Allgemeinen wie auch die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Speziellen auf ein radikal neues Ontologieverständnis hinauslaufen muss. Dieses hat dabei nicht nur wissenschaftlichen Erfordernissen zu genügen, sondern gerade auch eine *wissenschaftlich-technologische Ontologiekombination* zu ermöglichen. Denn in U-

PLM-Prozessen wie in vielen anderen Fällen geht es um technologisches Wissen, das wissenschaftliches Wissen verschiedenster Domänen zum Zwecke des Systemdesigns transdisziplinär kombiniert. Wie das U-PLM-Referenzszenario zeigt, muss es eine wegweisende Ontologiearchitektur ermöglichen, universalontologisch strukturiertes wissenschaftliches Wissen automatisch wie unmittelbar für technologische Zwecke verfügbar zu machen. Es gilt also, technologische Ontologien mit wissenschaftlichen Ontologien automatisch wie unmittelbar zu kombinieren. Dabei sind nicht zuletzt H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* zu berücksichtigen.

Demgegenüber fehlt allem Alltagswissen deshalb das Präzisionsmoment, weil es sich nicht nur oftmals unscharf definiert zeigt, sondern damit zusammenhängend auch nicht richtiggehend fallibel ist. Und ein weiteres, fundamentales Problem kommt noch hinzu: Diese *fehlende Präzisierbarkeit von Common Sense Knowledge* impliziert, dass sich solches Alltagswissen weder in rigoroser Weise intersubjektiv teilen noch hinterfragen lässt. Dabei steht außer Frage, dass es auch nur auf enge Bereichsgrenzen abzielen kann, weil es nicht universal strukturiert ist, und damit auch an jedem Transdisziplinaritätserfordernis unvermittelt scheitert. Offensichtlich ist es keine gute Idee, automatische Schlussfolgerungen Künstlicher Intelligenz auf einer primitiven Natur des Wissens begründen zu wollen. Für U-PLM-Systeme als Integrationsplattform der Digitalen Fabrik wie für andere Systeme mit kritischen Prozessen steht das Erfordernis eines radikal anderen Ansatzpunktes außer Frage. U-PLM-zentrierte Produktentwicklungs- resp. Innovationsprozesse komplexer Produkte können in Industrien wie der Biotechnologie, der Medizintechnik, der Luft- und Raumfahrt usw. kaum auf solch unpräzisem Alltagswissen basieren. Analoges gilt für viele andere sicherheitskritische Anwendungen, die zunehmend auf Ontologien basieren. Neben der fehlenden Präzisierbarkeit besitzt Alltagswissen insgesamt nicht die fachliche Tiefe, die für das Engineering komplexer Produkte und Prozesse erforderlich ist. Moderne Engineering- und Produktionssysteme verlangen eine rigorose, gerade auf Präzisierbarkeit abstellende semantische Grundlegung, woran gegenwärtige Datenmodelle und Architekturen noch häufig grundsätzlich scheitern.¹⁶⁵¹

Indessen läuft das weitverbreitete Grubersche (1993) Ontologieverständnis nicht einmal notwendig auf *Common Sense-Ontologien* hinaus; vielmehr ist es genauso wie bei Genesereth/Nilsson (1987) offensichtlich noch stark den primitiven Überzeugungssystemen der AI-Frühzeit verhaftet. Denn nach Gruber (1993: 199) existiert all das, was sich repräsentieren lässt, und dies schließt beliebige mögliche Welten und genauso beliebige kontrafaktische Aussagen mit ein: Einen zwingenden Bezug zur Außenwelt gibt es bei ihm im Sinne von Wyssusek/Klaus (2005b) faktisch nicht. Folgt die Praxis der Gruberschen (1993, 1995) Ontologiekonzeption, ist impliziert, dass Objekte insofern vollkommen unsystematisch repräsentiert werden, als das komplette Rahmenwerk mitsamt grundlegender Kategorien und Wahrmacher bzw. eines Fallibilismus fehlt, durch das sich erst eine *exakte wie*

¹⁶⁵¹ Vgl. Deshayes et al. (2007) sowie Zhang/Yin (2008: 835).

systematische Wissensrepräsentation gewährleisten lässt.¹⁶⁵² Offenbar disqualifizieren sich Ontologiekonzepte Gruberscher Provenienz für die semantische Systemintegration, als sie letztlich für sämtliche Integrationsbelange unbrauchbar sind, indem sie jeder Systematik entbehren. Das schließt insbesondere die fehlende systematisch angelegte Referenz auf eine universale *Top-level Ontologie* mit ein, womit sie auch das zentrale *Transdisziplinaritätskriterium* nicht zu erfüllen vermögen. Ihre Defekte gelten generell; insbesondere natürlich für *cyber-physisches "Reality Computing"*, wie es im Leibniz-Whiteheadschen Sinne für die Informatik von Anfang an angelegt ist. Wenn die Ontologiekonzeption Grubers (1993, 1995) in der Informatik gegenwärtig im AI-Bereich am verbreitetsten ist, kann darin ein sicherer Indikator für den Umstand gesehen werden, dass noch weitgehende Unklarheit besteht, wie Artificielle Intelligenz sachgerecht zu verstehen ist. Der Integrationsgedanke ist für die Informatik im Ganzen entscheidend; letztlich für keinen Bereich mehr als für ihren AI-Kern. Warum macht man dann an solch inferioren Ontologiekonzeptionen fest, die das genaue Gegenteil dessen bilden, was eigentlich erforderlich ist?

Für die vollumfängliche *Smart Enterprise Integration* (SEI) bilden gerade präzises Wissen resp. präzise Theorien, und damit eine absolut präzise Wissensrepräsentation wie präzise Ontologien eine unabdingbare Voraussetzung. Über zahlreiche Wertschöpfungsstufen vernetzte Produktionssysteme erlauben nicht mehr jene Fehlertoleranz, wie sie vielleicht noch in den AI-Anfängen im Kontext von *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) akzeptabel war.¹⁶⁵³ Analoges gilt für die regelmäßig wissenschaftsbasierten Engineeringprozesse komplexer technologischer Produkte, wie sie für PLM-Systeme generell kennzeichnend sind. Präzises Wissen, präzise Theorien und präzise Ontologien setzen mit Pkt. 6.2.8 entsprechende Wahrmacher (Truthmakers) voraus, die diese Präzision garantieren können. Mit Blick auf wissenschaftliche Ontologien lässt sich diese Thematik kaum ohne einen Rückgriff auf die Wissenschaftstheorie resp. Methodologie in adäquater Weise erörtern.

Es ist vor allem Poppers (1972a) Verdienst, die *Natur des Wissens* und mit ihr die Überlegenheit *wissenschaftlichen Wissens* in wissenschaftstheoretischer Hinsicht dargelegt zu haben. Denn nur dieses ist tatsächlich präzise und objektiv im Sinne intersubjektiver Nachprüfbarkeit. In wissenschaftstheoretischer Hinsicht ist dabei auch gerade die Frage der Realitätsrepräsentation sowie der Wahrmacher (Truthmakers) von Relevanz, die hier vollkommen anders veranlagt sind als bei anderen Wissensarten. Natürlich besteht eine direkte Entsprechung von wissenschaftlicher Methode (*Scientific Method*) und wissenschaftlicher Ontologie (*Scientific Ontology*), wenn letztere das methodisch wahre wissenschaftliche Wissen repräsentiert.¹⁶⁵⁴ Wie bereits in Pkt. 3.2.1 deutlich wurde, lässt sich die Natur des Wissens auch noch in anderer Hinsicht unterscheiden, wobei die Differenzierung

¹⁶⁵² Vgl. zu deren Bedeutung im AI-Kontext bereits Thagard (1988).

¹⁶⁵³ Vielmehr zeichnet *intelligente Systeme* aus, dass sie selbst *an sich* fehlertolerant, robust und agil sind, vgl. etwa Tolk et al. (2011) sowie Potiron et al. (2013). Dann aber sind sie auch in genau dieser Weise zu entwickeln, was eine entsprechende Konzeption der *Ontologiearchitektur* einfordert.

¹⁶⁵⁴ Vgl. hierzu auch Vetere (2009).

zwischen *implizitem und explizitem Wissen* nur eine Typisierung darstellt. Eine andere ist die zwischen *deskriptiven bzw. propositionalem Wissen* auf der einen und dem *prozeduralen Wissen* auf der anderen Seite, wobei letzteres bei natürlichen Agenten häufig implizit ist.¹⁶⁵⁵ Wissenschaftliches Wissen ist oftmals deskriptiv; technologisches bzw. praktisches Wissen vielfach prozedural. Die wichtigste Unterscheidung in AI-Hinsicht ist jedoch Poppers Differenzierung von objektivem und subjektivem Wissen und die damit verbundenen methodologischen Gesichtspunkte.

Poppers umfassende Analyse der *Natur des Wissens* vollzieht sich dabei im Kontext seiner *Drei-Welten-Lehre*, die auch für die in Pkt. 3.5 entwickelte integrierte Ontologiekonzeption konstitutiv ist. Die Informatik ist gut beraten, in Fragen der Natur des Wissens wie bei allen anderen im CM- wie AI-Kontext relevanten ontologischen wie epistemologischen Fragen insgesamt insbesondere auf der *Drei-Welten-Lehre* Poppers aufzubauen, die als *Lehre der Natur des Wissens* zu verstehen ist. Denn mit ihr wird nicht nur der besondere Stellenwert des präzisen, objektiven Wissens herausgearbeitet, sondern gerade auch die Inferiorität der bisher in AI-Konzepten bemühten Wissensbasen belegt: Zum einen bietet sie mit Blick auf die bereits durch Wahlster (1977: 22) bemängelten subjektiv gefärbten, idiosynkratischen Antworten von *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) eine umfassende *Kritik subjektiven Wissens*, zum anderen geht Popper (1972a) auch eingehend auf die qualitativen Unterschiede ein, die zwischen *wissenschaftlich objektivem Wissen* und *einfachem, intersubjektivem Alltagswissen* (common sense knowledge) bestehen.

Im Kontext der *Drei-Welten-Lehre* Poppers (1972a) wird klar, dass eine integrierte Ontologiekonzeption letztlich eine *Ontologie des Wissens* repräsentiert (et vice versa), wie es auch insgesamt für die durch Popper (1973) vertretene *evolutionäre Erkenntnistheorie* kennzeichnend ist.¹⁶⁵⁶ Mit ihr steht zum einen außer Frage, dass eine allgemeine Konzeption von AI-Systemen als *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) strikt abzulehnen ist, weil diese auf *subjektivem Wissen* gründet, das dem qualitativ überlegenen präzisen objektiven Wissen in keiner Weise ebenbürtig ist. Mit Blick auf seine Idiosynkrasie läuft es den semantischen Interoperabilitätsanforderungen von PLM-Systemen deutlich zuwider. In solchen verteilten Systemen muss Wissen vielmehr öffentlich und objektiv im Sinne *intersubjektiver Teilbarkeit* und *Nachprüfbarkeit* repräsentiert werden.¹⁶⁵⁷ Zum anderen kritisiert Popper (1972a) in ähnlicher Schärfe das Alltagswissen (common sense knowledge). Auch in diesem Fall unterstreicht er die qualitative Überlegenheit wissenschaftlichen Wissens. Dabei ist nicht allein auf die Defekte der natürlichen Sprache abzustellen, wie sie ebenso

¹⁶⁵⁵ Vgl. Nebel/Wölfl (2014: 106 ff.); hier finden sich auch weitere Aspekte zur Natur des Wissens.

¹⁶⁵⁶ Vgl. zur *evolutionären Erkenntnistheorie* D.T. Campbell (1960a, 1960b, 1970, 1974a, 1974c, 1987), Lorenz (1973), Vollmer (1975, 1985, 1987, 1988), Riedl (1979, 2000), Hahlweg (1986), Hahlweg/Hooper (1989) sowie Krohn/Küppers (1989). Vgl. hierzu demgegenüber kritisch Putnam (1983b: 233): »What is wrong with evolutionary epistemology is not that the scientific facts are wrong, but that they don't answer any of the philosophical questions«. In der Tat ist die *evolutionäre Erkenntnistheorie* zwar mit einer Reihe relevanter Fragen von Stellenwert, bleibt aber mit Blick auf eine *universale Erkenntnistheorie* intelligenter Automaten resp. Agenten deutlich zu modifizieren; vgl. hierzu auch Pkt. 3.5.

¹⁶⁵⁷ Vgl. Chattopadhyaya (1999).

für E. Davis (1990: 14 ff.) offensichtlich sind. Vielmehr geht es zum einen um die Tiefe und Breite bzw. die Komplexität des Wissens; zum anderen vor allem um die Art seiner Generierung. Auf diesen letzten Aspekt stellt Popper speziell ab; in wissenschaftstheoretischer Reflexion kann allein die Generierung wissenschaftlich objektiven Wissens als Basis echter *Wissenssysteme* (knowledge systems) legitim erscheinen. Insbesondere die Art seiner Generierung bestimmt die Qualität des Wissens, und mit Verweis auf Pkt. 6.2.8 ist der Wahrmacher (Truthmaker) des Alltagswissens ein qualitativ anderer als jener wissenschaftlichen Wissens. In Bezug auf seinen Wahrheitsgehalt, seine Präzision wie auch in Bezug auf die fachliche Tiefe muss damit wissenschaftlichem Wissen regelmäßig Vorrang vor einfachem Alltagswissen eingeräumt werden.

Für eine integrierte Ontologiekonzeption ist dieser Aspekt deshalb von außerordentlicher Relevanz, als hier unterschiedlichste Ontologien miteinander kombiniert werden. Die Top-level Ontologie nimmt nun sowohl mit Blick auf die *Natur des Wissens* als auch mit Blick auf die *Ontologie des Wissens* eine Schlüsselstellung ein: Sie markiert gerade den zentralen Unterschied gegenüber primitiven *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) und naiven *Common Sense-Ontologien*, in denen sie jeweils keine Rolle spielt. Vielmehr ist die *Top-level Ontologie als Garant präzisen, objektiven Wissens* zu verstehen. Ohne die Top-level Ontologie ist eine systematische wie praktisch belastbare Wissensrepräsentation unmöglich. Dabei ist es gerade diese Systematik und Belastbarkeit, um die es in komplexen wie hochautomatisierten Informations- und Wissenssystemen geht. Sie ist die Basis des Ganzen; sie ist fundamental, weil sie erst die Systematik grundlegt, die darüber bestimmt, wie das Wissen über die jeweilige Welt repräsentiert wird. Sie ist vor allem auch kritikabel, da unmittelbar fassbar. Ohne eine TLO-Referenz sind die metaphysischen Annahmen in der Wissensrepräsentation natürlich genauso existent, nur sind sie oftmals für den *Ontology Engineer* weder klar, noch für eine Kritik Dritter greifbar. Ohne die Top-level Ontologie ist es letztlich nicht möglich, tiefergehende wie umfassende Aussagensysteme über die Welt zu schaffen. Die *Top-level Ontologie* ist also mit Mizoguchi/Kitamura (2001) »the most fundamental ontology and provides *necessary* set of categories to talk about every thing in the world«. ¹⁶⁵⁸

Es steht außer Frage, dass es prinzipiell gesehen eine große Vielzahl an Möglichkeiten gibt, wie man das Wissen über die Welt repräsentiert. Genauso, dass es immer eine solche fundamentale Struktur gibt; sie ist also immer mindestens implizit vorhanden. Gilt es jedoch, diese fundamentale Struktur resp. Kategorien auf ihre Eignung, ihre Vollständigkeit und Klarheit, auf etwaige Inkonsistenzen usf. zu prüfen, muss diese fundamentale Struktur explizit werden. Damit ist klar, dass *jede* Ontologie immer solche fundamentalen Annahmen besitzt, und wenn diese nur implizit gegeben sind, macht dies die Sache nicht besser. Insofern ist evident, dass Wissensrepräsentation immer die in den Gegenstandsbereich der *Top-level Ontologie* fallenden Sachverhalte notwendig voraussetzt. Und deshalb sollten

¹⁶⁵⁸ Vgl. Mizoguchi/Kitamura (2001: 22), Hvh. des Verf.

diese in Form einer TLO-Referenz auch explizit gemacht werden. Darüber hinaus ist in praxi ein tatsächlich fehlerfreies, präzises Mapping umfassender Ontologien kaum ohne explizite Referenz auf die Top-level Ontologie möglich.

Mit Blick auf die Belastbarkeit der Wissensrepräsentation gilt ferner, dass ohne die Voraussetzung der Top-level Ontologie kein vollends sicheres Schließen bei kritischen Prozessen möglich ist. Denn dies ist allein auf Basis *explikativer Heavyweight-Ontologien* zu erreichen, die wiederum wesensnotwendig auf die Top-level Ontologie als allgemeinste Theorie resp. universalem, fundamentalen Kategoriensystem referenziert. Wenn es um die Frage der Ontologiekonzeption geht, ist die Ontologie der Informatik zunächst einmal immer als *explikative Ontologie*, d.h. als *Heavyweight-Ontologie* zu verstehen. Erst über sie ist der simple Fall der *Lightweight-Ontologie* zu erschließen, und nicht umgekehrt. Denn Ontologie ist im Sinne präzisen Wissens nicht zu verwechseln mit einfacher Taxonomie;¹⁶⁵⁹ sie ist demgemäß nicht vom Verständnis eines einfachen Katalogs von Objekten sachgerecht zu entwickeln.¹⁶⁶⁰ Dabei stellt sich mit Verweis auf die Ausführungen zur konzeptuellen Modellierung auch hier erst einmal die Frage, wie die *Natur der Objekte* zu verstehen ist. Dass einfache Taxonomien diese wesentlichen Fragen komplett ausblenden, zeigt einmal mehr ihre mangelnde Eignung als Ansatzpunkt für die Entwicklung eines adäquaten AI-Ontologieverständnisses.

Komplexe Integrationsszenarien lassen sich nicht von einem Ontologieverständnis erschließen, das bloß taxonomischer Natur ist bzw. rein auf Klassen beruht. Das umso mehr, als sich auf dieser verfehlten Grundlage gerade nicht der zentrale Stellenwert, den die *Top-level Ontologie* für die Informatik besitzt, begreifen lässt. Vielmehr hat durch die TLO-Referenz von *Heavyweight-Ontologien* letztlich die gesamte Ontologiediskussion entsprechend von der *Top-level-Ontologie* auszugehen, weil sie auch die oberste, die fundamentale und alles entscheidende Ontologieebene der Informatik markiert. Entsprechend sind alle Ontologien wie sämtliche ontologischen resp. meta-ontologischen Fragen rigoros auf diese zu beziehen bzw. anhand von ihr zu klären. Sie stellt in ihrer Eigenschaft als *Universalontologie* zudem den eigentlichen transdisziplinären Ausgangspunkt und besitzt damit nicht nur methodisch, sondern auch in sachlogischer Hinsicht Leitfunktion. Alle weiteren Überlegungen haben, wenn sie im systematischen Ganzen stehen sollen, primär von ihr auszugehen. Denn allein über die *Top-level-Ontologie* kann die Informatik zur *Universalontologie* gelangen, die für ihre konzeptuellen wie semantischen Integrationszwecke gänzlich unverzichtbar ist. Auch auf diese Zusammenhänge ist mit Blick auf den Status quo der Ontologiedebatte besonders hinzuweisen, weil sie bisher kaum weder in der notwendigen Deutlichkeit noch überhaupt in allgemeiner Hinsicht richtig thematisiert werden.

Neben dem präzisen, objektiven Wissen besteht indessen einer zweiter, wesentlicher Aspekt in der Frage der *Natur des Wissens*, der genauso in unmittelbarer Weise mit der

¹⁶⁵⁹ Vgl. dazu etwa W.A. Woods (1983).

¹⁶⁶⁰ Vgl. auch Poli (1996), Hirst (2009), J. Davies (2010) sowie Hurwitz et al. (2015).

Top-level Ontologie zusammenhängt: dieser besteht in der *Einheit des Wissens*, die allein über die Top-level Ontologie als universaler Ontologie einzulösen ist. Dieser Aspekt ist im Rahmen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* von doppelter Relevanz: zum einen mit Blick auf die *Einheit der Erkenntnis* in komplexen Produktentwicklungsprozessen, d.h., dass eine *Transdisziplinarität* aller Domänenontologien zu gewährleisten ist, was in wissenschaftlicher Hinsicht anhand der *Semantic E-Science* wie speziell der *Open Biomedical Ontologies* (OBO) ersichtlich ist, die für die Medizintechnik genauso grundlegend ist wie für die Biotechnologie. Zum anderen läuft sowohl der AI-Einsatz von Ontologien in der Produktentwicklung komplexer Produkte als auch ihr Rückgriff im Rahmen von Fertigungsprozessen genauso wie ihre Verwendung im Kontext von PEID-Technologien in der MOL-Phase darauf hinaus, technologisches Wissen von CPSS oder sonstigen IoX-Steuerungssystemen mit wissenschaftlichem Wissen zu kombinieren, was eine *ad hoc* Integration technologischer und wissenschaftlicher Ontologien einfordert.^{1661, 1662}

Analog dazu unterscheidet Mainzer (1997: 111) speziell bei Expertensystemen zwei Arten von Wissen, nämlich zum einen praxisbewährtes *heuristisches Wissen*, und zum anderen wissenschaftsbasiertes *faktisches Wissen*, was nicht nur auf einer Linie mit der Natur des Wissens in AI-Systemen liegt, sondern vielmehr auf ein neues, *postklassisches AI-Verständnis* weist. Dieses zweite Erfordernis wird steht dabei im *technologischen Zusammenhang* der situativen resp. kontextuellen SAW-, STA- und CAW-Ontologien bzw. Multisensorontologien sowie der damit direkt korrespondierenden ontologiebasierten Informations-, Daten- und Sensorfusion in Cyber-physischen Systemen (CPS). In ihrer CPS-Adäquanz sind diese sind nicht nur für eine große Vielzahl integrierter Smart Web Szenarien von essentieller Relevanz, sondern speziell auch für CPPS bzw. die Smart Factory, womit sie die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ebenso unmittelbar berühren. Sowohl in wissenschaftlicher als auch in technologischer Hinsicht geht es somit um *Transdisziplinarität*, die entsprechend auf eine ebensolche *Einheit des Wissens* hinausläuft, die jeweils nicht ohne eine konsequente Referenz auf die *Top-level Ontologie* realisierbar ist.

Gelangen AI-Ontologien in komplexen U-PLM-Systemen zur Anwendung, geht es in industrieübergreifenden Innovationskontexten nicht nur um eine komplexe Wissensrepräsentation, die die beliebige Kombination einer Vielzahl von Ontologien wissenschaftlicher wie technologischer Provenienz erforderlich macht. Vielmehr fließt in komplexen U-PLM-Systemen Wissen zusammen, das von vollkommen disparater disziplinärer Natur ist, je-

¹⁶⁶¹ *Technologisches Wissen* zielt auf die Systemgestaltung von Artefakten bzw. Prozessen und setzt dabei auf der Kombination wissenschaftlichen Wissens auf, vgl. Bunge (2003b: 289).

¹⁶⁶² Wissenschaftliche Ontologien repräsentieren rein *wissenschaftliches* Wissen; technologische Ontologien hingegen *technologisches* Wissen, das wissenschaftliches Wissen verschiedenster Domänen kombiniert und um technologische Gestaltungsaspekte ergänzt. Da für *technologische Ontologien* allein kennzeichnend ist, dass sie auf die technologische Systemgestaltung zielen, werden auch alle *Common Sense-Ontologien* unter diese Gruppe subsumiert. So können bspw. einfache Aufgabenontologien auf reinem Praktikerwissen basieren und zählen dennoch im Hinblick auf den Aspekt der Systemgestaltung doch zur Gruppe technologischer Ontologien. Diese beziehen sich immer im Sinne von H.A. Simon (1969) auf die W3-Welt der Artefakte.

doch zur Realisierung von Superintelligenz nahtlos integrierbar sein muss. U-PLM-Systeme bedeuten demnach also *transdisziplinäre* Wissensteilung. Damit setzt eine sachgerecht verstandene AI-Ontologie in diesem wie in anderen Fällen eine *transdisziplinäre* Ontologiekonzeption voraus. Diese Transdisziplinarität ist wiederum allein durch eine *adäquate* Top-level Ontologie als allgemeiner universalontologischer Referenzebene einlösbar. Deren Adäquanz besteht in erster Linie darin, dass sie das eingangs in Pkt. 1.1 durch Steimann/Nejdl (1999: 5) erhoffte Kriterium der *Universalontologie* auch tatsächlich erfüllt. Auch Russell/Norvig (2004: 399) haben diesen Gedanken *universaler Ontologie* direkt auf das Feld der AI-Wissensrepräsentation bezogen und festgestellt: »In jeder ausreichend anspruchsvollen Domäne müssen verschiedene Wissensbereiche *vereinheitlicht* werden, weil am Schließen und am Problemlösen mehrere Bereiche gleichzeitig beteiligt sein könnten«, was im Kontext von U-PLM-Systemen auch regelmäßig der Fall ist. Dazu ist mit Russell/Norvig eine "allgemeine Ontologie" (bzw. universale Ontologie) erforderlich, die »in mehr oder weniger jeder speziellen Domäne angewendet werden können [sollte] (mit der Ergänzung domänenspezifischer Axiome)«. ¹⁶⁶³ Für eine umfassende Wissensrepräsentation, wie sie im Zuge komplexer U-PLM-Systeme unvermeidlich wird, »braucht man eine allgemeine Ontologie, um die verschiedenen spezifischen Wissensdomänen anzuordnen und zu verknüpfen«. ¹⁶⁶⁴ Diese »muss eine große Vielfalt an Wissen abdecken und sollte in der Lage sein, grundsätzlich mit jeder Domäne zurechtzukommen«. ¹⁶⁶⁵ Diese allgemeine (oder universale) Ontologie besteht bei Russell/Norvig (2004) in der *Oberen Ontologie*, die allgemein zumeist als *Top-level Ontologie* bezeichnet wird. Diese *Obere Ontologie* basiert bei Russell/Norvig (2004) auf Kategorien und dem *Ereigniskalkül*; sie zielt auf die Klärung resp. Definition strukturierter Objekte, von Zeit und Raum, Änderungen, Prozessen und Substanzen. ¹⁶⁶⁶ Insgesamt muss es für die AI-Disziplin um die Frage gehen, auf welchem Wege eine universale Ontologiekonzeption realisierbar ist, die sämtlichen ontologischen Einsatzzwecken wie auch ihrer transdisziplinären Praxis gerecht werden kann. Es ist vor allem *diese* Frage, mit der sich die Informatik auseinandersetzen muss, wenn es um ihr allgemeines Ontologieverständnis geht. Dabei ist mit der Ontologie als *metaphysica generalis* klar, dass es im ersten Schritt um die Selektion der für die Informatik adäquaten Metaphysik gehen muss.

Mit der *divergenten Natur des Wissens* ist die AI-Ontologie zwingend als *Ontologie des Wissens*, also als *Wissensontologie* zu konzipieren, die in Theorie und Praxis notwendig auf eine *integrierte Ontologiekonzeption* hinausläuft. Denn auch hier gilt: die Frage einer sachgerechten, d.h. allgemeingültigen AI-Ontologiekonzeption kann sich nicht an den oben erwähnten primitiven bzw. naiven Fällen orientieren, wie sie in Wyssuseks (2006b: 143) "*fairy ontology*" bzw. "*fairy information system*" diskutiert wird, und dabei gleichzeitig die

¹⁶⁶³ Vgl. Russell/Norvig (2004: 399).

¹⁶⁶⁴ Vgl. Russell/Norvig (2004: 449).

¹⁶⁶⁵ Ibid.

¹⁶⁶⁶ Vgl. Russell/Norvig (2004: 397 ff.).

Grenzen des Gruberschen (1993) linguistischen Ontologieverständnisses offenbart. Vielmehr muss sie sich an den komplexesten wie diffizilsten Fällen semantischer Systemintegration orientieren, die speziell auch hier insofern in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* gegeben sind, als es verschiedene CPS wie etwa CPPS der Smart Factory oder PEID-basierte CPS in der MOL-Phase in ihrer Eigenschaft als SEI-Integrationsplattform zu berücksichtigen gilt. Als solche muss sie gerade die Integration verschiedenster Wissensressourcen resp. verschiedenster Ontologietypen bewerkstelligen können; sie muss wissenschaftliches Wissen mit technologischem Wissen oder Alltagswissen bzw. heuristisches Praktikerwissen, das unmittelbar aus dem Praxisvollzug der jeweiligen Anwendungsdomäne generiert wird, zusammenführen können. Es ist also nicht nur etwa *rein technologisches Wissen* über die verschiedensten Disziplingrenzen hinweg zu integrieren. Auch nicht bloß *rein wissenschaftliches Wissen* der verschiedensten reinen oder angewandten Wissenschaften. Dabei ist klar, dass eine allgemeingültige Ontologiekonzeption gerade auch echte *Scientific Ontologies* berücksichtigen können muss, und dabei ihre beliebige wie sichere Kombination zulassen sollte. Vielmehr ist auch gerade die Kombination *wissenschaftlich-technologischer Wissensressourcen* zu bewerkstelligen, wie sie nicht nur für komplexe Produktentwicklungsprozesse charakteristisch ist.¹⁶⁶⁷ Es ist gerade *diese* Kombination, also die *wissenschaftlich-technologische Ontologiekombination*, die zunehmend an Bedeutung gewinnt: Beispielsweise lassen sich Klinikinformationssysteme, deren Workflows auf *technologischen* Ontologien gründen, unmittelbar mit biomedizinischen Ontologien koppeln, die *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz entsprechen.¹⁶⁶⁸ So verhält es sich auch in zahlreichen anderen Fällen. Im Zuge der weiter unten erwähnten höheren Informationsfusion (HLIF) wird ersichtlich, dass solche Kombinationen erfolgen, um auf Basis von Multisensordaten die verschiedensten intelligenten CPS-Steuerungen zu vollziehen. Auch mit der Notwendigkeit solcher Informationsfusionen kommt die Informatik im Zeichen der *Ontologie des Wissens* nicht an einer *integrierten Ontologiekonzeption* vorbei. Insofern kann es wenig sinnvoll erscheinen, wie Raabe et al. (2012: 128) *Top-level Ontologien* in *wahrnehmungsorientierte* Ontologien einerseits und *erkenntnisorientierte* Ontologien andererseits einzuteilen. Sie müssen als universale Ontologie nämlich beides sein.

IoX-Integrationsanforderungen verlangen nach einer weitreichenden, möglichst beliebigen Kombinierbarkeit verschiedenster Ontologien. Daraus folgt, dass Ontologien *transdisziplinär* konzipiert sein sollten. Das wiederum ist nur möglich, wenn die mit Steimann/Nejdl (1999: 5) in Pkt. 1.1 ins Spiel gebrachte *Universalontologie* zur tatsächlichen Option wird, was allein auf der Grundlage einer adäquaten, d.h. tatsächlich *universalontologischen Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik möglich ist. Dabei kann die Integration wissenschaftlicher *und* technologischer Ontologien offenbar allein über einen TLO-Ansatz gelingen, der diese beiden Aspekte auch tatsächlich *parallel* zu

¹⁶⁶⁷ Vgl. etwa S. Brandt et al. (2008) exemplarisch für die *PLM-zentrische chemische Prozessindustrie*.

¹⁶⁶⁸ Vgl. etwa Ceusters/Smith (2006b), Ceusters/Elkin/Smith (2007) sowie Smith/Klagges (2008).

berücksichtigen versteht, der also Feyerabends (1975) Postulat nach *"anything goes"* erfüllt. Wie die exemplarische Darlegung der IoX-Defizite und Defekte der bisherigen TLO-Ansätze in Pkt. 7.3 illustriert, offenbart jede TLO-Detailevaluierung, dass sämtliche der bisher vorgelegten TLO-Theorieanwärter an diesem zentralen Erfordernis intelligenter, CPSS-adäquater IoX-Systeme scheitern. Denn sie sind ganz oder primär einseitig entweder auf wissenschaftliche *oder* technologische Ontologien ausgelegt bzw. weisen sie eine ähnliche Fixierung hinsichtlich der verschiedenen meta-ontologischen Kriterien auf. Analoges gilt hinsichtlich der festzustellenden Einschränkungen in den TLO-Kategorien. Zuvor ist jedoch in Pkt. 3.5 zu klären, wie sich eine *integrierte Ontologiekonzeption des Wissens* konzeptionell bewerkstelligen lässt, so dass sie einheitlich allen Klassen intelligenter Automaten resp. kognitiver Agenten zugrundegelegt werden kann. Denn vor allem an der Fähigkeit zur sachgerechten Integration heterogensten Wissens und seiner *ad hoc* Kombinierbarkeit ist eine moderne AI-Ontologiekonzeption zu messen.

Die fundamentale Rolle von *Top-level Ontologien* im Zuge der Wissensrepräsentation und das damit verbundene Inkommensurabilitätsproblem lässt sich anhand der OBO-Foundry illustrieren: Die *Gene Ontology* (GO) als verbreiteter internationaler Initiative der Bioinformatik lässt bereits erahnen,¹⁶⁶⁹ inwieweit KR-Ontologien die Wissenschaftspraxis radikal verändern. Vor allem aber zeigt dieses Beispiel anhand folgender fünf Argumente anschaulich das Erfordernis einer TLO-basierten integrierten Ontologiekonzeption auf, worauf die Informatik ihr *allgemeingültiges* Ontologieverständnis nicht zuletzt auszulegen hat. Denn das gilt angefangen von der Wissenschaftspraxis als solcher, über ihren technologischen Anschluss bis hin zur unmittelbar praxisorientierten *Ontologie komplexer IoX-Systeme*: (i) erstens ist zu berücksichtigen, dass die GO wiederum Teil der umfassenden *Open Biomedical Ontologies* (OBO) ist; (ii) zweitens ist zu konstatieren, dass die OBO auf die BFO-TLO als Top-level Ontologie referenzieren und diese damit den zentralen Ausgangspunkt für jedes *Ontology Engineering* markiert; (iii) drittens gilt, dass GO und OBO von grundlegender Relevanz für Industrien wie Biotechnologie oder Medizintechnik sind, deren Produktentwicklungs- bzw. Innovationsprozesse in zentraler Weise auf PLM-Systemen basieren; (iv) viertens wird es somit im Rahmen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* erforderlich, wissenschaftliche und technologische Ontologien zu verknüpfen und diese auf *eine* Top-level Ontologie zu beziehen. Diese hat mit dem Innovationsaspekt wesentlich auch auf eine *Ontologie der Artefakte* bzw. auf *Engineering Artefakte* abzustellen, wie es in Pkt. 4.6 diskutiert wird; (v) fünftens wird deutlich, dass die Streitfrage zur Rolle bzw. Verzichtbarkeit von Top-level Ontologien, wie sie noch etwa die KR2002-Konferenz beherrschte,¹⁶⁷⁰ in grundsätzlicher Hinsicht entschieden ist: *Top-level Ontologien* müssen zwangsläufig den wesentlichen Ausgangspunkt im Ontologieverständnis der Informatik bilden, weil ansonsten umfassendste wie präzise Wissensrepräsentationen wie

¹⁶⁶⁹ Vgl. hierzu etwa Ashburner et al. (2000) sowie Stevens/Lord (2009).

¹⁶⁷⁰ Vgl. Welty (2002a).

in dem auf die BFO-TLO referenzierenden GO/OBO-Fall nicht darstellbar sind. Dies gilt mit der OBO-OWL-Transformation einschließlich für das Ontologieverständnis im *Semantic Web* (SW) als Web 3.0, in dessen Kontext noch die Auffassung vorherrscht, dass der Einsatz von *Top-level Ontologien* verzichtbar ist bzw. nicht machbar sei: zu Unrecht, wie mit dem *Smart Web* als Web 4.0 deutlich wird.

Die *Top-level Ontologie* bildet darüber hinaus auch bei diesem Beispielfall den notwendigen Ausgangspunkt des für Ontologien zentralen Transdisziplinaritätsgedankens: Batchelor (2008) hebt zu Recht hervor, dass OBO-Ontologien wiederum explizit oder zumindest implizit auf chemische Entitäten referenzieren, was eine Angleichung mit der ChEBI-Ontologie nahelegt, die ebenfalls eine Ontologie der OBO Foundry repräsentiert.¹⁶⁷¹ Batchelor (2008) konstatiert jedoch, dass eine solche Angleichung etwa zwischen der GO- und der ChEBI-Ontologie nur langsam vorankomme, was wiederum auf die unklare Definition von ChEBI-Entitäten zurückgehe. Aus diesem Grunde kann für Batchelor (2008) eine solche GO/ChEBI-Angleichung nur im Zuge eines TLO-referenzierenden Ontologie-Mappings bewerkstelligt werden.¹⁶⁷² Aus den namentlich genannten TLO-Ansätzen DOLCE, GFO und BFO entscheidet sich Batchelor (2008) für die BFO-Ontologie,¹⁶⁷³ weil diese insgesamt die Top-level Ontologie der OBO Foundry darstelle, und als konsequent *realistische* TLO-Konzeption in besonderer Weise den Anforderungen biomedizinischer Ontologien entspreche.¹⁶⁷⁴ Tatsächlich steht außer Frage, dass KR/AI-Ontologien, die sich auf Realwissenschaften wie etwa die Biomedizin beziehen, allein auf eine *realistische* Ontologiekonzeption und damit auf eine metaphysische *Top-level Ontologie* hinauslaufen können. Allerdings ist genauso eine Kongruenz mit den modernen Wissenschaften einzufordern; mit Pkt. 4.2 ist dabei ersichtlich, dass die BFO-TLO kaum mit dem modernen, an der Komplexitätsforschung orientierten Verständnis der naturwissenschaftlichen Disziplinen konform geht.

Wie bereits die Entwicklungen rund um die OBO-Ontologien, aber auch analoge Entwicklungen in nahezu sämtlichen anderen Disziplinen offenbaren, führt die ontologische Revolution der Informatik konsequent weitergedacht zur umfassenden *Revolution der Wissenschaftspraxis*. Diese besteht darin, dass Wissenschaft selbst immer stärker auf Basis von *Semantic Web Technologien* (SWT) praktiziert wird, wie es mit den *Semantic E-Sciences* vollzogen wird.¹⁶⁷⁵ Dabei ist indessen evident, dass dies eher einem Versuchsstadium gleicht, da sie sich sachgerecht gerade nicht auf der semantischen SWT-Basis vollziehen lassen. Vielmehr läuft die richtige Realisierung der *Semantic E-Sciences*, wie sie für

¹⁶⁷¹ Vgl. hierzu Batchelor et al. (2010) sowie Hastings et al. (2010).

¹⁶⁷² Vgl. hierzu auch Stenzhorn/Schulz et al. (2008).

¹⁶⁷³ Demgegenüber empfiehlt Deb (2012) in dieser Sache nicht die BFO-TLO, sondern DOLCE, vgl. hierzu auch Pisanelli/Gangemi (2004), während sich Ruiz-Martínez et al. (2012) auf die GFO-TLO beziehen.

¹⁶⁷⁴ Vgl. zur generellen Anforderung *realistischer Ontologie* in diesem Bereich etwa Liaw et al. (2013); vgl. in diesem Zusammenhang speziell zur BFO-TLO Ceusters/Capolnpo et al. (2008).

¹⁶⁷⁵ Vgl. hierzu Hendler (2003), J. Zhao et al. (2004, 2011), Missier et al. (2005), Shadbolt et al. (2006), Fox/Hendler (2009), De Roure/Goble (2010) sowie Gil et al. (2014).

die dritte AI-Generation kennzeichnend ist, auf Poppersche *Scientific Ontologies* hinaus, die ihrerseits mit CYPO/IMKO auf Basis einer transdisziplinären wie komplexitätsorientierten Ontologiearchitektur stehen. Entsprechend wird diese Revolution weit über die ersten Überlegungen bei De Roure/Goble (2010) hinausgehen, die noch den Grenzen Berners-Lees et al. (2002) verhaftet sind. Vielmehr werden semantische Methoden um Künstliche Intelligenz (AI) erweitert zu einem *agentenbasierten integrierten Smart Web Szenario der Wissenschaftspraxis* verschmelzen.¹⁶⁷⁶ Im Zeichen insbesondere der Sensorik wird diese ihrerseits Teil des IoX-Hyperspace sein. Und als solche ist sie dann im direkten technologischen Übergang auch für PLC-orientierte Produktentwicklungsprozesse oder für MOL-Prozesse PEID-basierter Produktlösungen von Relevanz. Ein solch *integriertes Smart Web Szenario der Wissenschaftspraxis* orientiert sich dabei ebenfalls am evolutionären Gedanken des Lebenszyklus, indem einzelne wissenschaftliche Phasen abgegrenzt werden, die zusammen den kompletten wissenschaftlichen Lebenszyklus konstituieren.¹⁶⁷⁷ Wie in Pkt. 3.4 dargelegt, verlangen selbst *reguläre* Wissenschaften im Zeichen ihrer formalen Wissensrepräsentation nach einer adäquaten KR-Ontologiekonzeption. Der AI-Gedanke geht jedoch viel tiefer, wenn maschinelle Agenten im IoT-Wechselspiel mit der Sensorik und ggf. Aktorik alle Prozesse der Wissenschaftspraxis in elementarer Weise unterstützen. Superintelligente maschinelle Agenten sind prädestiniert, um transdisziplinäre Probleme lösen zu helfen bzw. ebensolche Erkenntnisinteressen zu unterstützen. Diese lassen nicht nur eine kontinuierliche Echtzeitverarbeitung zu, sondern bieten mit Blick auf die Komplexität wissenschaftlich relevanter Phänomene eine wichtige methodische Unterstützung. Analog der OBO-Ontologien verlangen auch die *Semantic E-Sciences* mit dem Transdisziplinaritätsgesichtspunkt nach TLO-Referenz, wie es auch Brodaric et al. (2008) unterstreichen. Wenn sie dabei gleichzeitig als TLO-Ansätze DOLCE, BFO, GFO, SUMO sowie die Sowa-TLO ins Spiel bringen, zeigt sich somit auch hier das Inkommensurabilitätsproblem präsent. Dieses gewinnt hier dadurch an Schärfe, dass sich Brodaric et al. (2008) nicht für die BFO-TLO, sondern für die mit ihr konkurrierende DOLCE-TLO entscheiden. Allerdings ist diese für die Repräsentation wissenschaftlichen Wissens genauso ungeeignet wie

¹⁶⁷⁶ Damit muss auch über das neue Wissenschaftsverständnis, wie es Wolfram (2002) in *A New Kind of Science* im Zusammenhang mit Computersimulationen und –experimenten der Komplexitätsforschung bereits eingefordert hat, noch hinausgegangen werden, indem es neben den genannten Methoden insbesondere auch *intelligente Informations- und Wissenssysteme* mit einzubeziehen hat. Bradbury (2006) geht diesen Schritt, indem er für ein Wissenschaftsverständnis votiert, in dessen Mittelpunkt *agentenbasierte Systeme* stehen. In diesem bildet die Wissenschaft selbst ein komplexes adaptives System, das sich aus zwei interagierenden komplexen adaptiven Systemen konstituiert, nämlich aus einem sozialen Agentensystem und aus agentenbasierten Wissenssystemen. In der Tat sind komplexe Systeme sowohl in abstracto als auch in concreto kaum ohne Informations- und Wissenssysteme zu bewältigen bzw. zu erforschen; sie dienen in diesem Sinne der Komplexitätsbewältigung komplexer Systeme, vgl. hierzu Bibel (2007). Vor diesem Hintergrund postuliert schließlich auch Bradbury (2006) insgesamt eine *neue Ontologie für die Komplexitätsforschung*, die er jedoch nicht näher konkretisiert. Offenbar rücken damit Informatik und Komplexitätsforschung gerade auch im Zeichen der postklassischen konzeptuellen Modellierung eines postklassischen KR/AI-Verständnisses eng zusammen, was die Notwendigkeit eines TLO-Neuentwurfs impliziert.

¹⁶⁷⁷ Vgl. Porto et al. (2012).

erste, wenn mit DOLCE nicht einmal ein klares Bekenntnis zum objektiven Wissen im Sinne Poppers möglich ist. Mit anderen Worten kann es auch auf dieser TLO-Basis nicht um *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz gehen, während es im "*Reality Computing*" der Informatik um nichts anderes gehen kann.

Die zentrale AI-Funktion der *Top-level Ontologie* lässt sich jedoch genauso in *technologischer* Hinsicht darstellen, und zwar insbesondere anhand aller CPS-relevanten Ontologien. CPS bilden Multisensorsysteme, womit entsprechend *Multisensorontologien* von Relevanz sind. Hier sind vor allem die situativen resp. kontextuellen SAW- bzw. STA- sowie CAW-Ontologien von Bedeutung, die ursprünglich lediglich in der militärischen Robotik bzw. in ebensolchen AI-Szenarien eingesetzt wurden. Später haben sie ihren Weg in die *Enterprise Architecture* (EA) gefunden, die gerade für das U-PLM-Referenzszenario elementar ist.¹⁶⁷⁸ Bei diesen Sensorontologien geht es um *Situation Awareness* (SAW) bzw. um ein *Situation and Threat Assessment* (STA) sowie *Context Awareness* (CAW). Gleiches gilt im Hinblick auf die damit direkt verbundene ontologiebasierte Informations-, Daten- und Sensorfusion. Sachlich gesehen sind sie für jedes CPS resp. jede kognitive bzw. semantische Robotik konstituierend;¹⁶⁷⁹ im Kontext intelligenter Produktion, intelligenter Produkte sowie intelligenter Prozesse insbesondere auch für CPPS und PEID-basierte CPS, wie sie Bestandteile von *Closed-loop U-PLM-Systemen* bilden. Wie ist es nun um die fundamentale Spezifikation von SAW- bzw. CAW-Ontologien bestellt? Natürlich sind *Situation* und *Kontext* in fundamentaler Hinsicht zusammen zu klären; denn jede Situation hat ihren Kontext bzw. ist umgekehrt nur der Kontext in Bezug auf verschiedene Situationen relevant. Weitaus problematischer stellt sich mit Pkt. 4.4 die Frage nach der Spezifikation von *Objekt vs. Ereignis* bzw. mit Pkt. 6.1.1 die verbundene Frage nach *Objekt- vs. Prozessontologie*. Gerade AI-Forscher der zweiten AI-Generation meinen, sie könnten mit AI-Ansätzen beginnen, ohne zuvor diese alles entscheidenden Fragen gestellt zu haben. Tatsächlich muss man sich entscheiden: geht es um *klassische AI*, oder geht es um die auf Whitehead zurückgehende *postklassische AI-Form*?

Gerade diese Situations- und Kontextfragen weisen unmittelbar erneut auf das *Frame Problem* des ersten Teils, womit wiederum die Devise "*AI is metaphysics*" gilt: Ohne die Klärung der Metaphysikfrage der Informatik lassen sich auch diese Situations- und Kontextfragen nicht lösen. Das gilt umso mehr, als zu fragen ist: um was für Situationen geht es im IoX-Hyperspace konkret? Handelt es sich etwa im IoT-Bereich um *Situationen*, die auf Messungen *physischer* Sachverhalte basieren, oder geht es um Situationen, die sich im IoP-Sinne in *linguistischer* Form ergeben? Entsprechend kommt die unter Pkt. 3.1 behandelte Kontroverse ins Spiel, inwiefern die Alltagssprache tatsächlich das *Denken menschlicher Agenten* bestimmt und inwiefern sie *ontologisch* prägend ist. Bzgl. der Bestimmtheit allen Denkens durch Sprache ist in einer ganzen Reihe von Hinsichten zu unterscheiden:

¹⁶⁷⁸ Vgl. etwa Blasch/Kessler et al. (2012).

¹⁶⁷⁹ Vgl. zur *kognitiven resp. semantischen Robotik* Levesque/Lakemeyer (2008) und Elci/Rahnama (2009).

(i) zwischen der ILP- und der OLP-Position; (ii) bei der OLP-Position zwischen Denken auf Basis sprachlicher *Begriffe* (Wittgenstein II) oder auf Basis sprachlicher *Strukturen* bzw. *Kategorien* (Ereignissemantik bei D. Davidson; Situationssemantik bei Barwise/Perry); (iii) zwischen einem 3D-basierten grammatikalisch objektzentrischen und einem 4D-basierten ereigniszentrischen Denken; (iv) zwischen rein epistemologischen Kategorien des linguistischen OE-Ansatzpunkts einerseits und dem Wechselspiel zwischen ontischen und epistemischen Kategorien einer agentenbasierten Metaphysik andererseits; (v) schließlich insgesamt zwischen *klassischer AI* und *postklassischer AI*, wobei sich allein letztere auf cyber-physische reale Welten des IoX-Hyperspace bezieht.

Zweifelsohne hat die ganze Ontologieproblematik der Informatik wesentlich mit diesen fünf Aspekten zu tun. Es geht dabei nicht nur um die Probleme des defekten Gruberschen linguistischen Ontologieverständnisses, sondern um die Defekte dessen, was als *Ontologie* heute das *Semantic Web* (SW) kennzeichnet. Das sind allen voran RDF und OWL sowie damit zusammenhängende Aspekte wie das bereits in Pkt. 2.1 erwähnte *RDF Stream Processing* (RSP),¹⁶⁸⁰ das wiederum für das *IoX-Monitoring* von Relevanz ist und damit direkt auf die *postklassische AI*-Sphäre zielt. Um die Probleme richtig zu verstehen ist zunächst festzustellen, dass die SW-Ontologie des W3C auf dem Gruberschen Ontologieverständnis gründet. Ferner gilt mit H. Halpin (2006: 1): »Problems of reference, identity, and meaning are becoming increasingly endemic on the Web«, was eine »convergence between Web architecture and classical problems in philosophy« impliziert. Genau das führe wiederum zum »advent of "philosophical engineering"«, wobei dieser Begriff direkt auf Berners-Lee zurückgeht. Wenn demgegenüber das Grubersche Ontologieverständnis eine Loslösung der Ontologie von der Philosophie impliziert, wird hier offensichtlich etwas grundlegend revidiert. Dabei geht es mit H. Halpin (2006) um eine umfassende philosophische Fundierung:

»While the Web epitomizes the beginning of a new digital era, it has also caused an untimely return of philosophical issues in identify, reference, and meaning. These questions are thought of as a "black hole" that has long puzzled philosophers and logicians. Up until now, there has been little incentive outside academic philosophy to solve these issues in any practical manner. Could there be any connection between the fast-paced world of the Web and philosophers who dwell upon unsolvable questions? In a surprising move, the next stage in the development of the Web seems to be signalling a return to the very same questions of identity, reference, and meaning that have troubled philosophers for so long.«¹⁶⁸¹

Dieser "*next move*" muss gelingen; d.h. es darf nicht wieder zu einem schweren Fehler kommen, wie ihn das W3C im expliziten Verfolgen des Gruberschen Ontologiegedankens gemacht hat. Denn nunmehr sind *Cyber-physische Systeme* (CPS) *physisch* bzw. kausal "in der Welt" resp. "Teil" der Welt, und dann sind solche Fehler kaum mehr akzeptabel. Bevor also mit diesem "*next move*" begonnen wird, sollte die Informatik innehalten und ihre Ontologieproblematik zunächst einmal in grundsätzlicher Hinsicht reflektieren. Nur wenn

¹⁶⁸⁰ Typischerweise werden *RDF Triple* in RDF Stores bzw. Triple Stores wie bspw. Apache Jena TDB gespeichert. Die meisten RDF Stores unterstützen entsprechend SPARQL als SQL-analoge Abfragesprache für RDF Daten. Ein alternativer, neuerer Ansatz besteht in der Verwendung von *NoSQL-Systemen*, vgl. Cudré-Mauroux et al. (2013). Ferner bestehen Möglichkeiten, relationale Daten in das RDF-Format zu transformieren (RDB2RDF), vgl. dazu etwa E. Marx et al. (2013).

¹⁶⁸¹ H. Halpin (2006: 1).

das vollzogen wird ist ersichtlich, dass dieser "next move" in der Web-Entwicklung zum Smart Web (Web 4.0) im Zusammenhang zu sehen ist mit einem erneuten "*ontological turn*". Und dieser erneute "*ontological turn*" ist nur zu nehmen, wenn der vorherige "linguistic turn" komplett revidiert wird, selbst wenn eine 4D-Normalsprache zulässig bleibt. Im Zuge einer solchen Reflexion wird die Disziplin sehen, dass sie einen radikalen ontologischen Neuanfang vollziehen muss. Das kann jedoch nicht in H. Halpins (2006, 2008) Richtung gehen, die im Sinne der zweiten AI-Generation auf die naturlisierte Heidegger-Position M. Wheelers weist; genauso wenig ist die deskriptive Metaphysik haltbar. Vielmehr lässt sich ihre Ontologieproblematik allein dann lösen, wenn sie ihre bisher gängigen Metaphysikposition aufgibt. Sie muss das vollziehen, wofür P.M. Simons (2004c) votiert; sie muss sich von der bisher verfolgten Metaphysik abwenden und sich der *revisionären* Metaphysik zuwenden. Mit dieser gelangt die Disziplin zu ihren Wurzeln zurück, indem für sie das Leibnizprogramm entscheidend wird, und zwar in der durch Whitehead besorgten aktualisierten Form. Der nötige "*ontological turn*" ist also ein Leibniz-Whitehead-scher "turn"; d.h. eine Wende, die zu ihren cyber-physischen Fundamenten zurückführt.

Indessen ist nicht davon auszugehen, dass der "next move", den H. Halpin (2006) richtig ausmacht, auf Basis der philosophischen Positionen des W3C gelingen wird. Hayes/Halpins (2008) *In Defense of Ambiguity* ist Programm; sie erkennen zwar im RDF-Kontext durchaus die Probleme, doch halten sie diese für nicht hinreichend relevant. Vor allem lösen sie diese nicht, was nicht überrascht, weil sie sich auf ihrer metaphysischen Basis auch nicht lösen lassen. Die Ambiguität der linguistischen Ontologie soll deshalb akzeptiert werden, weil das auf der Grammatik der Alltagssprache beruhende *linguistische* Ontologieverständnis bewahrt werden soll. Doch ist diese Position mehrfach verfehlt. Denn Normalsprache muss keinesfalls Ambiguität implizieren, wenn sie mitsamt der Ontologiearchitektur richtig aufgesetzt ist. Vor allem aber verkennen Hayes/Halpin (2008) die ontologische Interdependenzproblematik des IoX-Hyperspace. Denn die ontologischen Konventionen sind zwischen allen fünf interdependenten Subsystemen auszuhandeln; es kann keine IoP-spezifische SW-Semantik geben. Indem ihre Probleme im RDF-Kern angelegt sind, stellt sich die Sachlage der durch H. Halpin (2006) bzw. Hayes/Halpin (2008) diskutierten URI-Problematik der Ressourcenidentifikation anders dar. Sucht man diese jenseits des *CPST-Hyperspace* zu lösen, wird das im cyber-physischen Kontext erfolglos bleiben. Derweil konstatieren Hayes/Halpin (2008: 3): »Reference is grounded in our physical orientation towards the world. However, it is still not scientifically or even philosophically understood how reference is established and communicated«. Insofern erliegen sie dem Trugschluss, dass die Ambiguität der Sprache für die Ontologie ein unabwendbares Charakteristikum darstellt. Damit ist der nächste schwere ontologische Fehler vorprogrammiert, indem die Ontologieperspektive des W3C in der Sackgasse der linguistischen Tradition feststeckt. Das wird auch daran ersichtlich, als die Ressourcenidentifikation im Bereich des *RDF Stream Processing* (RSP) lediglich ein Problem unter vielen ist. Denn

dieses führt unmittelbar zu den Sensorontologien und der *Situation Awareness* (SAW) bzw. *Context Awareness* (CAW) zurück. Dann zeigt sich im RDF-Kontext, dass das Referenzproblem der Ressourcenidentifikation lediglich ein nachgelagertes ist. Dass es eigentlich um weitaus fundamentalere Zusammenhänge geht, ist auch Hayes/Halpin (2008) bewusst, wenn sie die Relevanz der in Pkt. 6.2.5 geführten Debatte um *Endurantismus* vs. *Perdurantismus* erkennen – und wiederum genauso wenig lösen:

»So are all names of persons rendered ambiguous by the presence of this high-level ontological divergence of opinion, so that we have to distinguish Berners-Lee the *continuant* from Berners-Lee the *four dimensional* history? For formal purposes, the difference is important, and indeed confusion between these concepts can produce immediate logical contradictions, such as inferring that Berners-Lee is both 52 years old and 7 years old. This error can arise because Berners-Lee was once seven years old, and a continuant retains its identity through time.«¹⁶⁸²

Hayes/Halpin (2008: 16) erliegen ähnlich wie Sowa – und im Gegensatz etwa zu Quine – dem Irrglauben, dass Ambiguität etwas ontologisch vorteilhaftes sei: »Reference is inherently ambiguous, and ambiguity is not an error of communication, but fundamental to the success of communication both on and off the Web«. Diese Position entspricht typischerweise dem *Common Sense* des *Internet of People* (IoP); in Wahrheit ist sie aber bereits hier verfehlt, wenn es dabei nicht nur um Alltagskommunikation geht, sondern genauso um *exakte Semantic E-Sciences*. Genauso wird an allen anderen vier IoX-Subsystemen deutlich, dass vielmehr das genaue Gegenteil der Fall ist. Damit zusammenhängende Probleme räumen Hayes/Halpin (2008: 10) gar ein: »While humans can sort out this ambiguity of reference machines cannot«. Dabei steht außer Zweifel, dass dies weder für kausal "in der Welt" agierenden bzw. "Teil" der realen Welt seienden CPS-Computer akzeptabel ist noch für *Scientific Ontologies*, die auf IoA-Basis weiterentwickelt werden. Tatsächlich benötigen maschinelle Agenten immer alles ganz genau; dabei ist eine exakte raumzeitliche Bestimmung die Basis von allem. Man sieht also auch mit Hayes/Halpin (2008): das eigentliche Wesen der *Ontologie der Informatik* ist nach wie vor unverstanden, wenn Ontologie vorzugsweise auf die Bedingungen bzw. Belange menschlicher Agenten bezogen wird. Es ist ein Kardinalfehler, wenn man die IoP-Sichtweisen dem IoA-Subsystem aufkrotzt. Natürlich ist die *Ontologie der Informatik* in ihren Fundamenten gar nicht im H2H-, sondern im M2M-Sinne zu entwickeln, wenn es um *Künstliche* Intelligenz geht. Diese basiert mitnichten auf identischen Prinzipien wie natürliche Intelligenz, was bereits damit beginnt, dass sich die Kapazitäten maschineller Agenten ad hoc miteinander verschalten lassen, oder etwa ad hoc eine vollständige *Belief Revision* durchführbar ist. Ontologie ist in der Informatik für *alle* Agenten bzw. Agentenklassen da, und entsprechend gilt es sie von einem universalen Standpunkt zu konzipieren.

Dass Hayes/Halpin (2008) in ihrer Einschätzung grundsätzlich falsch liegen, dass die Ontologiefrage IoP-bestimmt ist, sie die Debatte um *Endurantismus* vs. *Perdurantismus* nicht aufzulösen brauchen, und die SW-Ontologie durchaus *ambigue* sein darf, ist verbrieft. Denn natürlich ist das *RDF Stream Processing* (RSP) wie auch OWL auf Basis der

¹⁶⁸² Hayes/Halpin (2008: 9), Hvh. des Verf.

Gruberschen Ontologie nicht zu halten, ungeachtet dessen, dass es beständig fundamentale Modifikationsversuche gibt. Allerdings bedeuten diese lediglich ein Kurieren an Symptomen; sie setzen also nicht an den Ursachen der Misere an und führen damit auch nicht ans Ziel der Lösung der Ontologieproblematik. Geht es um die Ontologie der Informatik, muss konsequent an den eigentlichen Ursachen der zahlreichen Ontologieprobleme angesetzt werden: Denn mit dem *Ontological Computing* des IMKO *OCF* baut alles auf dem Ontologieverständnis auf. Die verschiedenen RDF-Modifikationsversuche zielen zunächst darauf, die zeitliche Dimension in RDF zu inkorporieren.¹⁶⁸³ Genauso versucht man, RDF um die zeitliche und räumliche Dimension zu erweitern.¹⁶⁸⁴ Analog dazu werden verschiedene Versuche zur Realisierung raumzeitlicher Extensionen von SPARQL unternommen; zu diesen gehören GeoSPARQL,¹⁶⁸⁵ SOWL (Spatio-Temporal OWL),¹⁶⁸⁶ SPARQL-ST,¹⁶⁸⁷ sowie das *Continuum model*.¹⁶⁸⁸ Analoges gilt für OWL; hier ist etwa auf das Context-OWL (C-OWL) als Extension zu verweisen.¹⁶⁸⁹ Ferner finden sich auch hier Überlegungen zur Modifikation von OWL in Richtung einer 4D-OWL;¹⁶⁹⁰ zweifelsohne weist OWL jedoch Grenzen in der Behandlung dynamischer Objekte auf.¹⁶⁹¹ Will man an den Ursachen etwas ändern, dann wäre am Schema *Subjekt-Prädikat-Objekt* anzusetzen. Hayes (2011) räumt selbst ein, dass es auf Basis des RDF-Triples linguistischer Ontologie zu Inkonsistenzen und "seltsamen Sachen" käme.¹⁶⁹² Man muss den SW-Ansätzen zugute halten, dass sie nie als AI-Basis gedacht waren; allerdings werden sie zunehmend durch Dritte in dieser Weise genutzt. Tatsächlich kann die Lösung der RDF/OWL-Problematik nur in einer Hinwendung zu einer kombinierten 4D-basierten Situations- und Ereignissemantik bestehen.

Die ontologischen Defizite des W3C sind schnell erklärt, denn sie resultieren aus einer spezifischen Fokussierung und einem falschen Ontologieverständnis. Was die Fokussierung anbetrifft, geht es mit dem Semantic Web im Kern allein um den Cyberspace, der nochmals auf eine bestimmte Agentenart zugeschnitten ist, nämlich auf *menschliche* Agenten und ihren spezifischen Informationsaustausch bzw. kommunikativer Interaktion. Es stehen also weder *maschinelle* Agenten im Fokus, noch geht es um ein echtes Realitätsverständnis, um komplexe Systeme oder um Cyber-Physik. Entsprechend hat Berners-Lee mit Pkt. 3.3 anfänglich auch alles andere als einen philosophischen Ontologiebegriff im Sinn. Vielmehr liegt der Fokus auf dem normalsprachlichen Austausch und damit auf 3D-*Common Sense*. Entsprechend überrascht es nicht, dass das W3C mit dem *Semantic Web*

¹⁶⁸³ Vgl. C. Gutierrez et al. (2005, 2007).

¹⁶⁸⁴ Vgl. Koubarakis et al. (2012).

¹⁶⁸⁵ Vgl. Battle/Kolas (2012).

¹⁶⁸⁶ Vgl. Batsakis/Petrakis (2010).

¹⁶⁸⁷ Vgl. M. Perry et al. (2011).

¹⁶⁸⁸ Vgl. Harbelot et al. (2013a).

¹⁶⁸⁹ Vgl. dazu Bouquet et al. (2003), die wiederum auf Giunchiglia/Bouquet (1998) aufbauen. Vgl. zu C-OWL ferner Stuckenschmidt et al. (2004), D'Aquin et al. (2005) sowie J. Bao et al. (2010).

¹⁶⁹⁰ Vgl. Welty/Fikes (2006).

¹⁶⁹¹ Vgl. dazu O'Connor/Das (2011), Harbelot et al. (2013a) sowie Harbelot et al. (2014: 78).

¹⁶⁹² Vgl. dazu ergänzend Parsia/Patel-Schneider (2006).

explizit auf dem Gruberschen Ontologieverständnis aufsetzt, das in Wahrheit lediglich *semantische Netze* verkörpert. Eine TLO-Referenz ist in diesem naiven Ontologieverständnis entsprechend gar nicht vorgesehen. Allerdings ändern sich im Laufe der Zeit all diese Positionen und es ist insgesamt festzustellen, dass das W3C kein überzeugendes Ontologiekonzept vorweisen kann, sondern zwischen verschiedenen Positionen schwankt. Das wurde bereits im ersten Teil in Bezug auf Hayes festgestellt, der für die W3C-Ontologieposition wesentlich mitverantwortlich zeichnet. Es sei erneut konstatiert, dass das W3C faktisch in der Sackgasse deskriptiver Metaphysik von Typ Grubers feststeckt. Im Grunde vertritt das W3C zunächst das genaue Gegenteil von dem hier mit CYPO/IMKO dargelegten Ontologieverständnis. Die Ontologie ist für den IoX-Hyperspace elementar, das W3C hat indes keine überzeugende ontologische Lösung. Das gilt umso mehr, als das W3C alle ursprünglich vertretenen Positionen mindestens aufweicht, wenn nicht revidiert. Es sind Anzeichen dafür, dass an seinem Ontologieverständnis etwas grundsätzlich nicht stimmt.

Diese Positionsänderungen des W3C betreffen zunächst einmal das Ontologieverständnis als solches; zunächst wird explizit der linguistische Ontologiebegriff Grubers (1993, 1995) zugrunde gelegt, mit dem das philosophische Ontologieverständnis strikt abgelehnt wird. Wenig später wird die Ontologiefrage durch Berners-Lee jedoch gerade explizit in den Kontext eines "*Philosophical Engineering*" gesetzt, in dem nun nicht weniger als das ganze Selbstverständnis einer "*Web Science*" gesehen wird.¹⁶⁹³ Allerdings fehlt auch hier der Unterbau; Stiegler (2014) ist konsequenter als Berners-Lee, wenn er systematisch zu analysieren sucht, was der Begriff "*Philosophical Engineering*" überhaupt meint. Die Positionsänderung betrifft aber genauso die *Top-level Ontologie*, die zunächst explizit abgelehnt wird. Inzwischen findet sie jedoch beim W3C offiziell Einsatz, nämlich zumindest dann, wenn sie für die W3C *SSN Sensor Ontology* als elementar erachtet wird. Das gilt jedoch auch generell, wenn sich Berners-Lee/Halls et al. (2006a) TLO-Bedenken lediglich dadurch erklären, dass sie als zu komplex bzw. beängstigend für den Normalanwender erscheine.¹⁶⁹⁴ Ein echtes Argument gegen die *Top-level Ontologie* ist das jedoch nicht, insbesondere deshalb nicht, weil der Normalanwender nicht notwendigerweise viel mit der TLO-Problematik zu tun haben muss. Vielmehr lassen sich die TLO-relevanten Zusammenhänge für Normalanwender adäquat darstellen. Vor allem aber übersehen Berners-Lee/Hall et al. (2006a) damit, dass sich die TLO-Frage für *maschinelle* Agenten genauso stellt. Die Frage der Voraussetzung der *Top-level Ontologie* lässt sich gar nicht am menschlichen IoP-Agenten festmachen; sie ist vielmehr für alle fünf IoX-Subsysteme in gleicher Weise relevant. Schließlich betreffen diese Positionsänderungen auch das Realitätsverständnis, komplexe Systeme sowie die Cyber-Physik, wenn mit Berners-Lee (2011: 45) gilt: »The web is now 'philosophical engineering'. Physics and the web are both about the relationship between the small and the large«. Im Grunde hat diese Position

¹⁶⁹³ Mit "*Web Science*" ist dabei lediglich »a research agenda that targets the Web as a primary focus of attention« gemeint, vgl. Berners-Lee/Hall et al. (2006b: 769).

¹⁶⁹⁴ Vgl. dazu Fn. 206.

kaum mehr mit deskriptiver Metaphysik zu tun. Vielmehr läuft sie mindestens implizit auf die revisionäre Metaphysik als komplexitätsorientierte Cyber-Physik hinaus, wie es im W3C-Umfeld genauso bei Vafopoulos (2014) deutlich wird:

»If physical time is an arbitrary standard that enables the division of infinite space into useful parts, then the Web assists us in separating it into even finer pieces. What the Web imparts to physical time and space is *flexibility* and an enriched set of choices for human action.«¹⁶⁹⁵

Die Relevanz der revisionären Metaphysik stellt sich umso mehr, als das "*Philosophical Engineering*" bei Berners-Lee (2003) gerade als *technologische* Position gedacht ist: »[W]e are not analyzing a world, we are building it. We are not experimental philosophers, we are philosophical engineers«.¹⁶⁹⁶ Bei richtiger technologischer Auslegung des *Engineering*, wie es mit Vafopoulos (2014) und anderen erforderlich wird, ist eine solche Position mit deskriptiver Metaphysik unvereinbar. Bei Berners-Lee (2003) kommt diese Problematik noch nicht richtig zum Ausdruck, indem im URI-Kontext lediglich die Identifikation von *Ressourcen* und ihre Referenz im *Semantic Web* (SW) im Mittelpunkt stehen. Andere W3C-Beteiligte wie H. Halpin legen den Gedanken des "*Philosophical Engineering*" jedoch um einiges breiter aus, wenn sie im SW-Kontext von "*Philosophy of the Web*" bzw. gar von "*the Web as Philosophy*" sprechen. Richtig ist auch das nicht; denn es kann immer nur um die *Metaphysik der Informatik* im Ganzen gehen. Natürlich ist es ein Fehler, die unterschiedlichsten Philosophien, die nichts mit der Informatik zu tun haben, auf ihre Teilbereiche zu projizieren, statt sich an einer in sich kohärenten Digitalmetaphysik als fundamentalem Unterbau zu orientieren. Das größte Problem bleibt jedoch darin bestehen, dass das "*Philosophical Engineering*" als solches nicht nur lediglich auf den Cyberspace bezogen ist, sondern im Grunde dabei auch noch ausschließlich auf IoP- bzw. H2H-Interaktionen. Mit der zentralen Stellung, die das *Semantic Web* in der praktischen Ontologiefrage der Informatik besitzt, wird eine Klärung im Detail unvermeidbar. Das gilt nicht zuletzt dann, wenn anhand des CPST- bzw. IoX-Hyperspace ersichtlich wird, dass es mindestens zehn Gegenargumente gegen diese IoP-Position gibt:

- (i.) Das grundlegendste Problem ist darin zu sehen, dass es im "*Philosophical Engineering*", wie es durch Berners-Lee, H. Halpin sowie im W3C-Umfeld verstanden wird, explizit um eine "*Philosophy of the Web*" geht, die immerhin als derart fundamental erachtet wird, dass gleichzeitig vom "*Web as Philosophy*" die Rede ist.¹⁶⁹⁷ Dabei wird strikt zwischen Web und Internet getrennt; d.h. es geht explizit *nicht* um eine "*Philosophy of the Internet*". Es ist bemerkenswert, dass selbst die Frage nach der Differenzierung zwischen Web und Internet gestellt wird und ihr auch nachgegangen wird: »Why would one privilege a philosophy of the Web over a philosophy of the Internet?«.¹⁶⁹⁸ Al-

¹⁶⁹⁵ Vafopoulos (2014: 90), Hvh. im Orig.

¹⁶⁹⁶ Vgl. hierzu ferner H. Halpin (2008) sowie H. Halpin/Monnin (2014).

¹⁶⁹⁷ Vgl. H. Halpin (2008).

¹⁶⁹⁸ Vgl. Monnin/Halpin (2014: 1 f.).

lerdings werden diese Fragen fundamental falsch entschieden, indem man die Auffassung vertritt, dass es sich beim Web um einen vom sonstigen Internet separierte bzw. in fundamentalen bzw. ontologischen Fragen *isolierbare* Sphäre handelt. Das ist nicht nur allgemein falsch, sondern gerade auch dann, wenn es im "*Philosophical Engineering*" von Berners-Lee, H. Halpin et al. primär nicht etwa um isolierte philosophische Studien, sondern vielmehr um nicht weniger als explizit um die *fundamentale Grundlegung der Web-Architektur* geht.¹⁶⁹⁹ Entsprechend besteht darin der Maßstab, an dem im Folgenden zur fragwürdigen philosophischen Forschungsrichtung Stellung genommen wird, die sich im Umfeld des W3C entwickelt hat. Wir setzen dabei direkt an den fundamentalen Positionen an; denn die These, dass es eine besondere bzw. separierbare "*Philosophy of the Web*" als Grundlage für das "*Philosophical Engineering*" des W3C zur fundamentalen Grundlegung der Web-Architektur gibt, ist schlichtweg verkehrt. Vor allem ist absehbar, dass diese falsche These die Forschung wiederum für längere Zeit in die Irre führt, genauso wie es mit Blick auf den fünften Teil in Bezug auf die philosophischen Grundlagen der TLO-Theorieanwärter seit Jahrzehnten der Fall ist. Die Gegenthese zur W3C-Position besteht zum einen darin, dass die philosophischen Web-Grundlagen keine anderen sind als bei sonstigen Informations- und Wissenssystemen der Informatik. Zum anderen, dass keine Separierung zwischen Web als IoP-Sphäre und den übrigen IoX-Subsystemen möglich ist; vielmehr muss es um die philosophischen Grundlagen des ganzen *IoX-Hyperspace* gehen. Dabei sind aber auch diese keine besonderen, sondern es muss um das große Ganze der Informatik gehen, die selbst durch und durch philosophisch bestimmt ist. Es ist also an der *Metaphysik der Informatik* als *cyberphysische Digitalmetaphysik* anzusetzen. Geht es in der Informatik um "*Philosophical Engineering*", dann muss dieses auf einer Grundlage stehen, die universal für alle Sphären der Disziplin Bestand haben kann. Betrachtet man jedoch die W3C-Position im Detail, geht es explizit lediglich um das *IoP-Subsystem*; das *Semantic Web* wird dabei primär im H2H-Sinne verstanden. Charakteristisch für das – ursprünglich und im Kern immer noch – eng begrenzte W3C-Ontologieverständnis ist einerseits die *FOAF (Friend of a Friend) Ontologie*. Bei diesem frühen SW-Projekt geht es um eine maschinenlesbare semantische Modellierung sozialer Netzwerke,¹⁷⁰⁰ bei dem Klassen und Eigenschaften vermittels des RDF-Schemas definiert werden und sich als XML-basiertes RDF-Dokument nutzen lassen. Die FOAF-Ontologie wird da-

¹⁶⁹⁹ Vgl. dazu etwa Berners-Lee (2003, 2011).

¹⁷⁰⁰ Vgl. dazu etwa H.-C. Choi et al. (2006).

bei auf OWL-Basis beschrieben;¹⁷⁰¹ als URI dieser natürlichen IoP-Ressourcen dient dabei die individuelle E-Mail-Adresse.¹⁷⁰² Als zweites Charakteristikum der irrtümlichen IoP-Fixierung des W3C-Ontologieverständnisses lässt sich andererseits das anführen, was H. Halpin (2013) als zentrales Argument für seine *Social Semantics* als "Meaning on the Web" anführt, nämlich die Tatsache, dass RDF und OWL nicht lediglich im IoP-Subsystem, sondern in allen IoX-Subsystemen, d.h. im *Internet of Everything* (IoX) als Ganzem genutzt werden. Das betrifft insbesondere auch das *physisch* relevante IoT-Subsystem, z.B. die Verwendung von OWL im Kontext der Sensorik- bzw. Aktorik der Netzwerkarchitektur,¹⁷⁰³ bzw. OWL als Basis von Sensorontologien,¹⁷⁰⁴ wobei das schließlich nicht zuletzt die W3C *SSN Sensor Ontology* betrifft.¹⁷⁰⁵ Ferner geht es etwa um *Linked Sensor Data* (Linked Open Data) bzw. *Linked Stream Data* auf RDF-Basis,¹⁷⁰⁶ oder aber um den Einsatz des *RDF Stream Processing* (RSP) in IoT-Kontexten. Vor diesem Hintergrund werden SW-Technologien auch unmittelbar wie explizit in Einsatzkontexten der Industrie 4.0 angewandt.¹⁷⁰⁷ Entsprechend ist es auch nicht überraschend, dass RDF und Linked Data direkt für das *U-PLM-Referenzszenario* von Relevanz sind,¹⁷⁰⁸ was ähnlich für OWL gilt.

- (ii.) Im "*Philosophical Engineering*" des W3C geht es um die soziale Dimension des *Cyberspace*; es geht um 3D-basierte virtuelle Welten,¹⁷⁰⁹ jedoch dezidiert *nicht* um 4D-basierte *Cyber-Physik*. Monnin/Halpin (2014: 12) setzen im W3C-Umfeld bereits die philosophische Forschungsfrage falsch auf, indem es für sie gezielt lediglich um *digitale Objekte* geht, jedoch nicht um die Problematik des Wechselspiels von Ereignissen und Objekten in Cyber-physischen Systemen (CPS). P.R. Smart (2014) vertritt in der W3C-Debatte insofern eine Gegenposition, als er das "*Real World Web*" einfordert; dann jedoch kann eine von der *Metaphysik der Informatik* isolierte "*Philosophy of the Web*" wie die Abgrenzung des Web gegenüber dem *Internet of Everything*

¹⁷⁰¹ Vgl. dazu etwa Grimnes et al. (2004).

¹⁷⁰² Grimnes et al. (2004) liegen falsch, wenn sie behaupten, dass die FOAF Ontologie nicht URI-basiert sei; mit Berners-Lee/Fielding/Masinter (2005) gilt vielmehr, dass auch *menschliche Agenten* als *Ressourcen* zu erachten sind, was etwa mit *Humanressourcen* im *U-PLM-Referenzszenario* korrespondiert. Dabei führen Berners-Lee/Fielding/Masinter (2005) auch *E-Mail-Adressen* als URI an, während URLs einen Subtypus der URIs verkörpern.

¹⁷⁰³ Vgl. etwa Daidone/Milazzo (2014).

¹⁷⁰⁴ Vgl. etwa Compton/Neuhaus et al. (2009).

¹⁷⁰⁵ Vgl. etwa Compton/Barnaghi et al. (2012).

¹⁷⁰⁶ Vgl. etwa K. Page et al. (2009) sowie Le-Phuoc/Hauswirth (2009).

¹⁷⁰⁷ Vgl. etwa Sabou/Kovalenko et al. (2017).

¹⁷⁰⁸ Dazu lässt sich eine Reihe von Aspekten anführen, etwa die *Open Services for Lifecycle Collaboration* (OSLC), bei der im Kontext von PLM- bzw. ALM-Systemen auf Datenebene RDF und Linked Data zum Einsatz kommen, und OSLC-Ressourcen dabei explizit auf Basis des objektzentrischen *RDF Triple* definiert werden. Insgesamt sollte es beim *Lifecycle Management* jedoch immer um eine ontologische 4D-Basis gehen, um Inkonsistenzen in der ontologischen Grundlegung solcher Systeme auszuschließen.

¹⁷⁰⁹ Vgl. etwa Søraker (2014).

(IoX) als *Real World Internet* (RWI) schon insofern nicht sinnvoll sein, als es um die gleiche Realität geht. Diese fordert dann eine weitere Unterteilung in physisch, cyber-physisch und virtuellem Cyberspace ein. Diese einseitige Ausrichtung ist nicht nur tatsächlich grundverkehrt, sondern sie ist auch inkonsistent in Bezug auf die URI-Ressourcendefinition Berners-Lees. Denn hier werden Ressourcen in genereller Weise verstanden: »the term "resource" is used in a general sense for whatever might be identified by a URI«. ¹⁷¹⁰ Dabei ist eine Ressource bei Berners-Lee explizit auch ein *physisches* Objekt, während Monnin (2014) in der W3C-Debatte im Umkehrschluss das Gegenteil behauptet: »objects are no longer *physical objects*«. ¹⁷¹¹ Ressourcen wandeln sich bei Monnin et al. (2012) in der Weise, dass es statt der Vernetzung einfacher Dokumentressourcen nunmehr um die Interaktion von Computerr Ressourcen gehe. Hui (2014) geht in dieser W3C-Debatte entsprechend der Frage der Natur *digitaler Objekte* nach; währenddessen wird die Frage der Natur *cyber-physischer Objekte* erst gar nicht gestellt. Dabei lässt sich schlussendlich erst auf dieser CPS-Basis klären, was physische und was digitale Objekte sind, worin also ihre Unterschiede zu *cyber-physischen Objekten* wie *Smart Objects* besteht. ¹⁷¹² Mit Blick auf den URI/RDF-Kern muss es indessen in IoT-Szenarien genau um diese *Smart Objects* gehen, ¹⁷¹³ wobei diese ihrerseits unmittelbar kausal in der physischen Welt bzw. der unmittelbaren Realität stehen. Dann jedoch sollte das "*Philosophical Engineering*" gänzlich anders konzipiert werden, als es im W3C-Umfeld geschieht. Tatsächlich bezieht sich der URI/RDF-Kern auf *Daten* (IoD), *Services* (IoS), *Smart Objects* (IoT), *maschinelle Agenten* (IoA) sowie *menschliche Agenten* mitsamt des *Common Sense* (IoP). Generell wird für Produktionsmodelle industrieübergreifend zunehmend eine 4D-Prozesssicht postuliert, ¹⁷¹⁴ was für IIoT-Szenarien der *Smart Factory* von entsprechender Relevanz ist. Analoges gilt für das *Social Manufacturing*, das bereits gegenwärtig fundamental auf dem 3D-Printing aufsetzt, ¹⁷¹⁵ während mit Verweis auf Pkt. 1.5.1 der Wandel zum 4D-Printing im Sinne intelligenter Materialien absehbar ist. Gilt es diese Entwicklungen für Zwecke einer sachgerechten Ontologiekonzeption zu antizipieren, zeigt sich die unmittelbare IoT/IoIT-IoP-Kopplung des *Social Man-*

¹⁷¹⁰ Vgl. Berners-Lee/Fielding/Masinter (2005).

¹⁷¹¹ Vgl. Monnin (2014: 43), Hvh. im Orig. Dabei läuft das Argument bei Monnin (2014: 45) darauf hinaus, dass es überhaupt keine physikalischen Objekte gibt.

¹⁷¹² Was die Klärung der Natur der Objekte (wie Ereignisse) betrifft, ist festzustellen, dass sich diese nicht genau spezifizieren lassen ohne sie auf die vier Welten und Subtypen von CYPO FOX zu beziehen. Mit Verweis auf Pkt. 3.5 ist also festzustellen, dass ein W3P-Objekt etwas gänzlich anderes ist als ein W2F- oder ein W1A-Objekt bzw. –Ereignis.

¹⁷¹³ Vgl. dazu C.H. Liu et al. (2014).

¹⁷¹⁴ Vgl. etwa Aalami/Fischer (1998), M. West (2004) sowie Mourgues et al. (2012).

¹⁷¹⁵ Vgl. etwa Mohajeri et al. (2014).

ufacturing etwa anhand der personalisierten High-End-Bekleidungs-, Hut- oder Schuhindustrie:¹⁷¹⁶

»Social manufacturing is to combine the related fields of social search, social computing and social manufacturing together, to seamlessly link up the network of social manufacturing composed of Internet, Internet of Things and 3d printer, thus making social people fully participate in the whole manufacturing process of the product life by outsourcing, facilitating personalized, real-time and socialized production and consumption patterns, eventually resulting in a new industrial revolution.«¹⁷¹⁷

Dabei baut das Konzept des *Social Manufacturing* explizit auf dem *Web*,¹⁷¹⁸ speziell auch auf dem *Semantic Web* (SW) und entsprechenden SW-Technologien auf.¹⁷¹⁹ Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist dies bereits mit dem *U-PLM-Referenzszenario* entscheidend, indem das *Social Manufacturing* neben *Social Media* und auf soziale Netzwerke bezogene *Web Services* wesentlich auf *PLM-Systemen* basiert.^{1720, 1721} Mit diesem ontologischen Integrations- bzw. Anwendungsszenario wird beispielhaft deutlich, dass es dabei in prozessualer wie in ontologischer Hinsicht weder um isolierte soziale Systeme (IoP) noch um isolierte Cyber-physische Systeme (CPS) von IoT- bzw. IoIT-Kontexten geht, sondern vielmehr um *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS).¹⁷²² Indem bei diesen allerdings der einzelne Agent im Mittelpunkt steht, laufen alle Web- bzw. Internetstrukturen insgesamt auf den *IoX-Hyperspace* als *CPST-Hyperspace* hinaus, auf dem CYPO in Pkt. 3.5 als universale IoX-Ontologiearchitektur aufbaut. H. Halpins (2013) *Social Semantics* sind somit auch in dieser Sache in ihrer Interdependenz mit dem gesamten IoX-Hyperspace zu relativieren. Indem das *Social Manufacturing* auf *Cloud Services* SOA-basierter Plattformen gründet,¹⁷²³ ist schon mit diesem einfachen Anwendungsszenario gezeigt, dass die fünf IoX-Subsysteme immer als unmittelbar interdependent zu erachten sind. Demgegenüber wäre es im I40-Kontext ein strategischer Fehler, dies nicht zu tun; allerdings muss das dann auch von Institutionen wie dem W3C sachgerecht vorgedacht werden, wenn das "*Philosophical Engineering*" auf die *technische* Realisierung zielen soll. Es besteht hier also ein elementarer Revisionsbedarf: Die Vorstellung eines für sich isolierbaren IoP-Webs mitsamt eigener *Social Semantics* wie einer

¹⁷¹⁶ Vgl. hierzu Y. Zhou/Xiong et al. (2016).

¹⁷¹⁷ Xiong et al. (2014: 3594).

¹⁷¹⁸ Vgl. etwa C. Liu/Leng et al. (2014).

¹⁷¹⁹ Vgl. etwa W. Cao et al. (2017).

¹⁷²⁰ Vgl. P. Jiang et al. (2016b: 16).

¹⁷²¹ Dabei ist zu berücksichtigen, dass PLM-Systeme sowohl vor dem Hintergrund von CXM-Anwendungen wie auch der Öffnung gegenüber *Open Innovation* selbst mit dem *Web 2.0*, also dem *Social Web* bzw. *Social Computing* verschmelzen, vgl. etwa Denger et al. (2010, 2013). Auch hier sind Ontologien bzw. der *Common Sense* des IoP-Subsystems mit den im cyber-physischen Kontext stehenden PLM-Ontologien der IoS/IoT-Subsysteme interdependent und entsprechend über eine einheitliche TLO-Referenz in fundamentalkategorialer Hinsicht abzustimmen, indem das *Web 2.0* semantisch auf das *Web 3.0*, also auf das *Semantic Web* hinausläuft.

¹⁷²² Vgl. P. Jiang et al. (2016a, 2016b).

¹⁷²³ Vgl. etwa X. Shang et al. (2013).

besonderen "*Philosophy of the Web*" ist unter dem Gesichtspunkt des *Systems Engineering de facto* grundlegend falsch. Vielmehr muss es gerade in praktischer Hinsicht um eine *IoX-Semantik* gehen, wie sie die Metaphysik des *IoX-Hyperspace* als *Metaphysik der Informatik* gemäß des »metaphysics constrains semantics« impliziert. Wesentlich sind also die Zusammenhänge und es lassen sich eine Reihe weiterer Beispiele anführen, um die zwingende Interdependenz der fünf IoX-Subsysteme zu illustrieren: So wird der IoP-IoT-Konnex auch anhand des *Cognitive Internet of Things* (CIoT) deutlich, indem dieses IoP-konform auf dem alltagssprachlichen *Common Sense* aufbaut. Eine Isolierung gegenüber den IoT- und anderen IoX-Subsystemen ist auch mit Blick auf H. Halpins (2013) *Social Semantics* nicht möglich; darauf fußende Isolationsargumente bilden vielmehr einen Kontrapunkt. Denn *soziale Interaktion* läuft auf das *Social Internet of Things* (SIoT) hinaus,¹⁷²⁴ was sich selbstredend nicht vom *Internet of People* (IoP) trennen lässt. Vielmehr sind Tendenzen beobachtbar, dass etwa das *Internet of Vehicles* (IoV) zum *Social Internet of Vehicles* (SIoV) emergiert.¹⁷²⁵ Natürlich sind auch hier wieder Ontologien im Spiel,¹⁷²⁶ wobei in einer solchen *Automotive Ontology* zuvorderst auf die physikalischen Aspekte abzustellen ist.¹⁷²⁷ Damit geht es um einen letzten Punkt in dieser Sache: Wenn Spagnuolo/Falcidieno (2009) bereits den Einbezug der *3D-Perspektive* in das *Semantic Web* und damit in die Ontologie postulieren, dann wird daraus mit den oben vorgetragenen Argumenten notwendig eine *4D-Perspektive*: denn zum einen wird das 3D-Printing gerade in den typischen Industrien des *Social Manufacturing* in das in Pkt. 1.5.1 behandelte *4D-Printing* übergehen, zum anderen ist diese 4D-Perspektive auf das "*Real World Web*" zu beziehen. Dann aber impliziert die Position von Spagnuolo/Falcidieno (2009) letztlich eine 4D-basierte Cyber-Physik, wie sie für den *IoX-Hyperspace* tatsächlich zugrundezulegen ist.

- (iii.) Das *Semantic Web* steht mit *Semantic Web Services* im direkten SOA-Zusammenhang. RDF und OWL bilden etwa die Basis für *Cloud Service Ontologies* der *Cloud Service Provider* (CSP).¹⁷²⁸ Ferner zielt OWL-S explizit wie unmittelbar auf das *Internet of Services* (IoS);^{1729, 1730} *Semantic Web Services* bauen dabei auf SW-Technologien auf. OWL-S steht dabei in direktem Zusammen-

¹⁷²⁴ Vgl. dazu Atzori et al. (2014).

¹⁷²⁵ Vgl. K.M. Alam et al. (2014).

¹⁷²⁶ Vgl. etwa Pollard et al. (2013), Geyer et al. (2014), Groza et al. (2014), Mohammad et al. (2015), S. Fernandez et al. (2016), Yoo et al. (2016b) sowie Y.-L. Hu et al. (2017).

¹⁷²⁷ Vgl. Feld/Müller (2011).

¹⁷²⁸ Vgl. etwa Nagireddi/Mishra (2013).

¹⁷²⁹ Vgl. etwa Ngan/Kanagasabai (2012).

¹⁷³⁰ OWL-S substituiert DAML-S, vgl. zu letzterer Paolucci/Sycara (2003).

hang zu allen Fragen der *Smart Enterprise Architecture (SEA)*,¹⁷³¹ die wiederum den ganzen *IoX-Hyperspace* betrifft. Wenn für OWL-S eine TLO-Referenz vollzogen wird, dann besteht diese zumeist in DOLCE.¹⁷³² Dabei ist allerdings insbesondere mit Blick auf das *Scientific Computing* wie auf das *Reality Computing* überaus fraglich, ob in DOLCE ein geeigneter TLO-Ansatz besteht. Zumindest ist dann die TLO-Debatte als solche zu eröffnen, die wiederum allein vor dem Hintergrund einer philosophischen Fundierung geführt werden kann, die alle Anforderungen der Informatik, insbesondere ihre cyber-physische Natur, abdeckt. Bemerkenswert bzgl. des "*Philosophical Engineering*" im Umfeld des W3C ist vor diesem Hintergrund der Beitrag von Murdock et al. (2012). Hier wird die maßgebliche Bedeutung der *Top-level Ontologien* herausgestellt, genauso wie das Problem, dass das ganze Spektrum der Ansätze inkonsistent sei. Vielmehr liegen Murdock et al. (2012) auch in ihrer Einschätzung richtig, dass die TLO-Debatte einerseits dem Ziel der *Einheits-TLO* verpflichtet ist, andererseits die Realisierbarkeit dieses Ziels mit den ausgetragenen "*ontology wars*" in Frage stehe. Vielmehr sei derzeit die Tendenz zu beobachten, diese Kämpfe zu umgehen, indem auf bereits im Web vorhandenes Wissen (z.B. DBPedia) ausgewichen wird. Auch wenn diese Feststellungen korrekt sind, ändert dies jedoch nichts an dem Problem. Denn die Frage der fundamentalen Ontologie der Informatik lässt sich letztlich nicht umgehen, weder mit den erwähnten Versuchen des TLO-Mappings noch mit DBPedia. Das W3C sollte die bei Murdock et al. (2012) geschilderten TLO-Probleme ernstnehmen, und nicht versuchen, diese mit fragwürdigen Lösungen zu umschiffen. Vielmehr wäre das W3C genau dann richtig beraten, wenn an der Wurzel dieser Probleme angesetzt wird, wie es im siebten Teil mit dem universalen *Requirements Engineering* zur TLO-Evaluierung und –Selektion vollzogen wird.

- (iv.) Mit Livet (2014) werden *Web Ontologies* im W3C-Umfeld gar als Erneuerung der *klassisch philosophischen Ontologien* gesehen, während Berners-Lee mit Verweis auf Pkt. 3.3 ursprünglich noch eine strikte Trennung zwischen beiden zieht. Hendler (2001) bzw. Berners-Lee/Hendler/Lassila (2002) stehen dabei noch explizit in der Tradition des Gruberschen linguistischen Ontologieverständnisses. Im Kontext des "*Philosophical Engineering*" wird nunmehr jedoch fast das ganze Spektrum philosophischer Ansätze bemüht; selbst auf Whiteheads Prozessmetaphysik wird im W3C-Umfeld Bezug genommen, allerdings mit größten Fehleinschätzungen.¹⁷³³ Auch ansonsten ver-

¹⁷³¹ Vgl. etwa S. Izza et al. (2007).

¹⁷³² Vgl. etwa Mika/Oberle et al. (2004); Özorhan/Cicekli (2012) referenzieren hingegen auf SUMO.

¹⁷³³ Vgl. Soulier (2012). Die Fehleinschätzungen betreffen dabei alle wesentlichen Aspekte des Whitehead-schen Ansatz: *Relation* ist nicht bloß extern, sondern genauso intern; die Einschätzung, dass der *virtuelle*

läuft die gesamte Diskussion wenig geordnet, indem sie nicht systematisch auf die universalen Probleme der Informatik bezogen wird. Es gibt also eine Vielzahl von Ideen, die oftmals mit der Informatik wenig bis gar nichts zu tun haben; aber keine echte Orientierung zur Errichtung des notwendigen fundamentalen Unterbaus. Auch im W3C-Umfeld wird unter anderem auf Heidegger zurückgegriffen,¹⁷³⁴ der in seiner anthropologischen Prägung vielleicht eine "*Philosophy of the Web*" aufhellen kann, wenn man diese rein auf menschliche Agenten beschränkt. Allerdings hat Heidegger mit der Informatik nicht nur als solcher das Geringste zu tun, sondern seine Metaphysik eignet sich auch in keiner Weise für die universalen Belange der Disziplin. Analoges ist festzustellen, wenn Lacour (2012) die "*Web Philosophy*" als "Psychoanalysis of Digital Culture" verstehen will. Vafopoulos et al. (2012) stellt diese demgegenüber unter eine Web-Ethik, und macht die "*Web Philosophy*" somit an Hayeks Verfassung der Freiheit fest, um damit die dezentrale, freiheitliche Struktur des Webs zu untermauern. Die unter universalen Maßstäben geeignetste Position dieser Debatten besteht im W3C-Umfeld in jener von Bénel (2012), der die fehlende Verbindung zwischen "*Web Ontology*" und philosophischer Ontologie in Quine ausmacht – was zumindest historisch betrachtet mit dem Rekurs Mealy's bzw. McCarthys auf Quine auch stimmt. Wenn mit Pkt. 5.1 deutlich wird, dass auch diese Position den cyber-physischen Anforderungen der Informatik nicht gerecht werden kann, ist im Ganzen festzustellen, dass die im "*Philosophical Engineering*" des W3C-Umfelds vertretenen philosophischen Positionen an den eigentlichen Ontologieproblemen der Informatik wie des IoX-Hyperspace komplett vorbeilaufen. Letztlich stiften solche Debatten mehr Verwirrung als dass sie helfen, die fundamentalen Probleme zu lösen. Denn mit den zahlreichen ontologierelevanten Positionen eskaliert der Streit um die Frage, worin die philosophischen Grundlagen der Informatik bzw. ihrer Teildisziplinen zu sehen sind. Für den IoX-Hyperspace, der auf dem *Smart Web* (Web 4.0) aufsetzt, sind somit gleich fünf umfassende philosophische Debatten von direkter Relevanz: (a) der im ersten Teil behandelte tiefgreifende metaphysische Streit der ersten und zweiten AI-Generation im Kontext des *Frame Problem*, (b) der in Pkt. 3.2.2 behandelte Streit um die philosophische Fundierung der konzept-

Raum nicht gegeben sei, ist mit Blick auf Whiteheads *Cyber-Physik* grundsätzlich falsch; die Einschätzung, dass der *Kontext* nicht gegeben sei, ist falsch; die Einschätzung, dass das *Werden* (*Becoming*) bei Whitehead nicht gegeben sei, geht am Kern des Ansatzes vorbei und zeigt, dass die Whiteheadsche Prozessmetaphysik im Wesen nicht verstanden worden ist. Im Grunde ist die Analyse indiskutabel und wird der W3C-Problematik in keiner Weise gerecht: Wenn Ansätze in ihrem Wesen nicht annähernd verstanden werden steht außer Frage, dass sie dann auch nicht in Bezug auf ihre potentielle Bedeutung für das "*Philosophical Engineering*" des W3C sachgerecht bewertet werden können.

¹⁷³⁴ Vgl. etwa H. Halpin (2008) sowie Beinsteiner (2012).

tuellen Modellierung im Kontext der Realitätsfrage, (c) der in diesem Punkt behandelte Streit um die Semantik und die Natur des Wissens im Kontext der Wissensrepräsentation, (d) die hier behandelte umfassende Debatte um die philosophische Grundlegung des "*Philosophical Engineering*" des W3C-Umfelds, sowie (e) die philosophische Untermauerung der einzelnen TLO-Theorieanwärter im fünften Teil, wobei diese den in Pkt. 6.2.2 aufzulösenden Streit um die deskriptive vs. revisionäre Metaphysik inkludiert. Diese fünf philosophischen Debatten der Informatik sind bis zur Gegenwart faktisch ungeklärt und insgesamt gesehen gehen sie im Grunde einmal quer durch die Philosophie. Mit anderen Worten gibt es kaum einen philosophischen Ansatz, der in diesen fünf Debatten nicht bemüht wird. Das ist für eine ergebnisoffene Kontroverse auch durchaus positiv, allerdings benötigt die Informatik – im Gegensatz zur Philosophie als Prozess – ein Ergebnis, indem es um ihre philosophische Fundierung geht. Darauf zielen auch alle fünf philosophischen Debatten ab, allerdings bleiben sie sämtlich der für die Informatik unabdingbaren Lösung der Frage ihrer philosophischen Fundierung schuldig. Sie können diese Lösung auch gar nicht leisten, denn alle Debatten führen an den eigentlichen universalen Anforderungen der Informatik komplett vorbei. Das gilt gerade auch für diese Debatte um die "*Philosophy of the Web*" bzw. das "*Web as Philosophy*": Wenn das W3C seine grundsätzliche philosophische Position für das "*Philosophical Engineering*" der Web-Architektur sucht, muss auch diese über die eigentliche *Metaphysik der Informatik* erschlossen werden. Konkret ist damit die informatorische Grundlegung des Webs im gesamten Kontext der Informatik *metaphysisch*, d.h. fundamental strukturalistisch zu klären. Dann muss sie wiederum im Leibniz-Whiteheadschen Sinne auf den Bits und Bytes der *Cyber-Physik* aufsetzen, denn mit dem IoX-Hyperspace geht es auch in fortschrittlichen Web-Architekturen (Web 4.0 ff.) zunächst um diese. Semantik, Referenz, komplexe Interaktionsmuster usw. sind von dieser Grundlegung zu erschließen. Wenn RDF bzw. OWL als semantische Repräsentation in direkter Interdependenz zu konzeptuellen Modellen stehen,¹⁷³⁵ sind sie als semantische Modelle der Realitätsfrage nachgeordnet. Allein die TLO-Referenz kann semantische und konzeptuelle Modelle auf eine einheitliche Grundlage stellen.

- (v.) Der Zweck des durch Berners-Lee verfochtenen "*Philosophical Engineering*" kann in seiner technologischen Marschrichtung letztlich allein darin bestehen, dem *Web Engineering* in konstitutiver Hinsicht auf Basis einer philosophischen Grundlegung in allen fundamentalen Fragen die erforderliche Orientierung zu geben. Wenn es bei der Web-Technologie um *Systems Engineering*

¹⁷³⁵ Vgl. etwa S. Cox (2013).

geht, dann bedarf sie auch eines systematischen Rahmenwerks. Die im W3C-Umfeld geführte philosophische Diskussion zielt jedoch nicht darauf, dieses zu begründen. Die hier ins Spiel gebrachten Philosophien lassen eine solche technologische Orientierung indes kaum zu; sie sind auch nicht direkt darauf angelegt. Natürlich lässt sich auch etwa bei Heidegger die eine oder andere praktische Implikation finden, wenn es um die soziale Lebenswelt geht; doch ist diese wie auch alle anderen Philosophien gewiss nicht systematisch auf die eigentlichen Belange der Informatik ausgerichtet, die den sozialen Austausch menschlicher Agenten im Sinne des IS/KS-Designs immer an sich mit einschließen muss. Geht es bei Berners-Lee um *Engineering*, dann ist zunächst die *technologische* Frage zu beantworten, und dann ist klar, dass die Beziehung zwischen *Philosophie* und *Technologie* nicht an den Wissenschaften vorbeiläuft, sondern vielmehr über diese führt. Ein tatsächlich belastbares philosophisches Fundament für jedes Engineering ist mit Verweis auf Pkt. 4.1 somit nur von der *Klasse-3-Metaphysik* aufwärts gegeben. Demgegenüber liegen die für die Informatik relevanten informatorischen bzw. digitalistischen Grundlagen in der techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* als strukturalistischer Digitalmetaphysik. Whiteheads (1929a: 13) Metaphysik genügt als universale Systemontologie nicht nur den Anforderungen des *Systems Engineering*, sondern sie zeigt mit ihren zellulären Automaten auf, wie *Systeme* an sich zu konzipieren sind. Auch fokussiert Whiteheads Prozessmetaphysik dezidiert die Praxis; sie zielt gerade auf »the description of the generalities which apply to all the details of practice«. ¹⁷³⁶ Der Etikette "*Philosophical Engineering*" ungeachtet wird diese technologische Frage in der philosophischen W3C-Debatte indessen gar nicht untersucht; vielmehr beschäftigt man sich mit all jenen weitläufigen Philosophien, die soziale und kognitive Aspekte des Web eröffnen. Es wird in der Debatte um die "*Philosophy of the Web*" übersehen, dass es nicht nur im Web um den Austausch von Informationen und seine soziale Dimension geht. Darum geht es in den Informationssystemen der Informatik im Grunde schon immer. Auch der Gedanke der *Social Software* ist nicht neu, sondern bereits dem alten Groupware-Gedanken (CSCW) inhärent. Verteilte Strukturen sind genauso auf Basis von DAI/MAS-Technologie gegeben. Ferner sind die sozialen Relationen keinesfalls auf menschliche Agenten beschränkt; sie sind maschinellen Agenten genauso gegeben. Nicht nur im *Commitment-Based SOA* (CSOA) spielen Transaktionsbeziehungen im Zeichen des Verhandeln (Negotiation) und soziale IoS-Aspekte (Trustworthiness usf.) eine elementare Rolle. Das zeigt bereits, dass die IoP-Aspekte unmittelbar mit IoA- und IoS-Aspekten verknüpft sind.

¹⁷³⁶ Vgl. Whitehead (1929a: 13).

- (vi.) Die orientierungslose philosophische Debatte im W3C-Umfeld hat zur Konsequenz, dass die jeweils vertretenen Positionen untereinander inkonsistent sind. So findet sich bei Monnin (2012) eine gewisse Sympathie für den Substanzgedanken,¹⁷³⁷ wenn es um den ontologischen Status von Web-Ressourcen geht, während bei Hui (2014: 66) für das genaue Gegenteil votiert wird: »A new theory must therefore move away from the question of substance, and that for me is a theory of relations«. Darin besteht die digitalmetaphysische Position der Whiteheadschen Relationenontologie. Wenn es überhaupt für die Informatik irgendeine Möglichkeit gibt, all ihre Fundamente in ein systematisches Rahmenwerk zu bringen, dann eröffnet es in der Tat nur diese.¹⁷³⁸
- (vii.) SW-Technologien sind für das gesamte in Pkt. 2.5 erörterte PPR-Framework relevant, d.h. nicht nur für die insbesondere auf RDF-Basis stehende Ressourcendimension, sondern im Zeichen des in Pkt. 1.5 ff. umrissenen *U-PLM-Referenzszenarios* genauso unmittelbar für die Prozessdimension,¹⁷³⁹ während für die Produktdimension ähnliche Nutzungspotentiale bestehen.¹⁷⁴⁰ Damit betreffen sie jedoch geradewegs die gesamte Ausgestaltung der in Pkt. 2.3 behandelten *Enterprise Ontology* (EO) sowie schließlich auch die in Pkt. 2.4 diskutierte *TLO-EO-Verkopplung*. Dabei sind alle genannten Aspekte wiederum im 4D-Sinne zu sehen, wie es mit der *4D-IoX-konformen PPRLT-Spezifikation* in Pkt. 2.5.1 bzw. Pkt. 2.5.2 dargelegt ist. Dieser 4D-Typus wird auch konkret für die Produktdimension,¹⁷⁴¹ die Prozessdimension,¹⁷⁴² sowie auch für die Ressourcendimension eingefordert. Auch wenn es um die Umsetzung einer *Event Ontology* etwa in der petrochemischen Prozessindustrie geht, werden SW-Technologien bemüht.¹⁷⁴³ Allerdings besteht hier eine fundamentale Inkonsistenz, wenn in dieser Industrie auf eine 4D-basierte *Top-level Ontology* referenziert wird.¹⁷⁴⁴ Insofern ist auch für SW-Technologien eine umfassende philosophische Reflexion erforderlich, die dem ontologischen Aspekt gerecht wird, und dabei die Frage der *Top-level Ontologie* mit einbezieht.
- (viii.) Berners-Lee sieht das *Semantic Web* zwar losgelöst vom AI-Aspekt, doch läuft es bereits mit der *Web Intelligence* (WI) auf diesen hinaus. Insofern ist der Gedanke des "*Philosophical Engineering*" richtig, wenn mit Glymour/

¹⁷³⁷ Monnin (2012) setzt sich dabei durchaus kritisch mit dem aristotelischen Substanzgedanken auseinander; implizit geht es dennoch darum, diesen nicht-naturalistisch, d.h. digitalistisch umzudeuten.

¹⁷³⁸ Das gilt umso mehr, als nicht nur reale Computer im IoX-Hyperspace zu *Interaktionsmaschinen* avancieren, sondern die ganze Disziplin im Zeichen der Whiteheadschen *Relationenontologie* steht. Es gilt: »computer science [...] has become a structural theory of interaction«, vgl. Milner (2006: 5).

¹⁷³⁹ Vgl. etwa Prater et al. (2011).

¹⁷⁴⁰ Vgl. etwa Sabou/Kantorovitch et al. (2009).

¹⁷⁴¹ Vgl. etwa Andreeva et al. (2015).

¹⁷⁴² Vgl. etwa De Cesare/Juric/Lycett (2014).

¹⁷⁴³ Vgl. etwa T. Zhu et al. (2010).

¹⁷⁴⁴ Vgl. etwa Batres/West et al. (2005, 2007).

Ford/Hayes (2000) alle *AI* im Kern *Philosophie* ist. Das *World Wide Web* (WWW) unterliegt nicht nur insofern revolutionärem Wandel, als es im Zeichen von *Semantic Web Services* dynamisch und semantisch wird.¹⁷⁴⁵ Vielmehr ist die eigentliche Revolution darin zu sehen, dass es zur Basis des gesamten IoX-Hyperspace bzw. sämtlicher fünf IoX-Subsysteme avanciert. Natürlich ist das *Semantic Web* für das *Internet of Agents* (IoA) von Relevanz,¹⁷⁴⁶ genauso wie etwa "Linked Data" für das *Internet of Data* (IoD) bzw. *Internet of Services* (IoS).¹⁷⁴⁷ Analoges gilt gerade auch für das *Internet of Things* (IoT), indem sich zwischen diesem und dem *Web of Things* (WoT) in Bezug auf die Anwendungsebene nicht mehr ohne weiteres differenzieren lässt.¹⁷⁴⁸ Das wird mit der W3C *WoT Working Group* (WG) zusätzlich unterstrichen.¹⁷⁴⁹ Dabei wird auch im WoT-Kontext eine SOC-Perspektive eingenommen; d.h., dass auch eine direkte Interdependenz zur IoS-Sphäre besteht: Dinge sind dann als *Services* mit entsprechenden Interaktionsmustern zu verstehen.¹⁷⁵⁰ Anders gewendet geht es um das Paradigma "*Object as a Service*",¹⁷⁵¹ was wiederum auf die ereigniszentrische Natur aller Objekte verweist, die jedoch im Widerspruch zur RDF-Grammatik steht. Mit Q.Z. Sheng et al. (2017) geht es darum, den WWW/WoT-Konnex auf die *reale, physische Welt* zu beziehen. Das *Semantic Web of Things* (SWoT) kombiniert die SW-Notation mit dem IoT- bzw. WoT-Aspekt, wobei explizit auf OWL, RDF und SPARQL abgestellt wird.¹⁷⁵² Dabei sind die bisherigen SW-Technologien nicht nur in Bezug auf die Belange der *4D-basierten Cyber-Physik* in Frage zu stellen. Vielmehr geht es im W3C/SWoT-Kontext auch um die Frage der Realisierung einer "*Domain knowledge Interoperability*", die Wissen spezifischer Domänen verknüpfbar macht.¹⁷⁵³ Konkret geht es dabei um solch unterschiedliche Domänen wie »tourism, healthcare, affective science, intelligent transport systems, smart home, agriculture, etc.«.¹⁷⁵⁴ Mit N. Zhong et al. (2016) entsteht im IoT/WoT-Konnex im CPSS-Sinne eine *Hyperworld*, die schließlich das WoT-Konzept in ein *Wisdom Web of Things* (W2T) transformiert. Dieses setzt ein umfassendes Verständnis von *Web Intelligence* (WI) voraus, von dem auch bei Bringsjord/Govindarajulu (2014) in der philosophi-

¹⁷⁴⁵ Vgl. dazu etwa Sabou (2006).

¹⁷⁴⁶ Vgl. etwa Dickinson/Wooldridge (2003).

¹⁷⁴⁷ Vgl. etwa Speiser/Harth (2011).

¹⁷⁴⁸ Vgl. dazu Fn. 287.

¹⁷⁴⁹ Vgl. <https://www.w3.org/WoT/> sowie Gyrard et al. (2017).

¹⁷⁵⁰ Vgl. Christophe et al. (2011a).

¹⁷⁵¹ Vgl. Cherrier/Ghamri-Doudane (2014).

¹⁷⁵² Vgl. D. Pfisterer et al. (2011), A.J. Jara et al. (2014), Khodadadi et al. (2016: 12) sowie Z. Wu et al. (2017).

¹⁷⁵³ Vgl. Gyrard et al. (2014).

¹⁷⁵⁴ Vgl. *ibid.*

schen Debatte im W3C-Umfeld die Rede ist. Dann aber ist letztlich auch hier die *Einheit der Erkenntnis* wie die *Einheit des Wissens* von Relevanz, die mit der relationalen Struktur des Webs angelegt ist. Somit muss auch im W3C/SWoT-Kontext das Transdisziplinaritätsmoment im Fokus stehen.¹⁷⁵⁵ Dabei ist evident, dass es dann in Wirklichkeit um die Frage einer universalen Ontologie und somit um die Frage der Überwindung des Inkommensurabilitätsproblems geht.¹⁷⁵⁶ Gerade im Web ist dieses Problem im Zeichen von Mikas (2007) "*ontologies are us*" mit der Konfrontation der unterschiedlichsten Paradigmen angelegt, wobei hervorzuheben ist, dass auch wissenschaftlich-objektiv zugängliche Sachverhalte nach W3C-Tradition auf Basis einfachen *Common Sense* behandelt werden. Inwiefern mit Stefaneas/Vandoulakis (2014) das Web dann tatsächlich seine Funktion als "*Tool for Proving*" gerecht werden kann, ist vor dem Hintergrund der in Pkt. 6.2.8 behandelten Wahrmacher (Truthmakers) genauer zu reflektieren. Das gilt nicht nur generell, sondern auch insofern, als das *Semantic Web* gerade auch im wissenschaftlichen Bereich im Sinne der *exakten Semantic E-Sciences* genutzt wird. Es lässt sich also kaum die Position vertreten, dass das IoP-Subsystem lediglich durch menschliche Agenten auf Basis von *Common Sense* genutzt wird. Die durch Stefaneas/Vandoulakis (2014: 158) ins Feld geführte »validation by an appropriate social group« mag im Zeichen des Konsensus als Wahrmacher für den *Common Sense* ausreichend sein; dennoch bedarf es wissenschaftlicher Wahrmacher, womit auch in dieser Sache die Notwendigkeit zur Abgrenzung dezidierter Welttypen im Sinne von CYPO FOX evident ist. Dabei werden allerdings die grundsätzlichen Probleme, die sich in metaphysischer wie wissensontologischer Hinsicht vor dem Hintergrund des IMKO OCF stellen, vollständig übersehen. Tatsächlich lässt sich das Transdisziplinaritätsmoment wie die damit verbundene Lösung des Inkommensurabilitätsproblems nicht auf der linguistischen Basis der deskriptiven Metaphysik realisieren, wie sie im "*Philosophical Engineering*" des W3C praktiziert wird. Vielmehr wird wiederum deutlich, dass der IoX-Hyperspace insgesamt allein auf dem Fundament einer *revisionären techno-wissenschaftlichen Digital-metaphysik*, d.h. auf der *Metaphysik der Informatik* stehen kann.

- (ix.) Die Frage des "*Philosophical Engineering*" einseitig auf Fragen der *Kennzeichnung* (Denoting) bzw. an *Identifikatoren* oder *Bezeichnern* (Identifiers), *Referenz* und *Existenz* zu beziehen, ist verfehlt. Das gilt ungeachtet des Um-

¹⁷⁵⁵ Zwar geht es bei Gyrard (2015) explizit um das "*Cross-Domain Semantic Web of Things*"; allerdings ist weder vom *Transdisziplinaritätsmoment*, noch von der *Inkommensurabilitätsproblematik* oder überhaupt von der *Meta-Ontologie* die Rede.

¹⁷⁵⁶ Gyrard/Serrano/Atemezing (2015) adressieren die *semantische Interoperabilität* im IoT-Kontext vor dem Hintergrund des Problems der *Heterogenität* von Ontologien.

stands, dass diese zweifelsohne wesentlich sind. Vielmehr ist zu sehen, dass diese wie alle anderen Fragen in einem metaphysischen Ganzen stehen; sie lassen sich für die Informatik *de facto* nicht sachgerecht klären, ohne die Ontologie auf die Basis des CPST- bzw. IoX-Hyperspace zu bringen: Auf Entitäten kann nur dann sachgerecht referenziert werden, wenn diese mit Pkt. 3.5 auf die vier Welttypen von CYPO FOX samt Subtypen bezogen werden. Denn die Informatik hat es gerade auch im WWW/WoT-Konnex mit allen vier Welttypen samt Subtypen zu tun, wobei maschinelle Agenten exakte Kenntnis darüber besitzen müssen, um was für eine Art von Entität es sich handelt. Beispielsweise ist eine W1A-Existenz etwas anderes als eine W3A-Existenz, und diese wiederum etwas anderes als eine W3F-Existenz. Darüber hinaus geht es um grundsätzliche Erwägungen, etwa um die im W3C-Umfeld durch Ginsberg (2006) aufgeworfene Frage nach dem richtigen Verhältnis von Sprache und Realität, das analog Pkt. 3.3.2 im Sinne des *realistischen* ("correspondence view") vs. *linguistischen* ("holistic view") OE-Ansatzpunkt erörtert wird. Die Realisierung eines "*semantic superhighway*", von dem bei Pepper (2006) im W3C-Kontext des *Semantic Web* die Rede ist, setzt damit zusammenhängend voraus, dass die Frage der *Natur des Wissens* einschließlich ihrer Wahrmacher geklärt wird. Offensichtlich geht es also um die Philosophie im Ganzen, und damit um die Metaphysik als *Erste Philosophie*.

- (x.) Das "*Philosophical Engineering*" bei Berners-Lee, H. Halpin et al. geht grundsätzlich an der *ontologischen Interdependenzproblematik* des *IoX-Hyperspace* vorbei. Dabei ist die Interdependenz der fünf IoX-Subsysteme bereits anhand der gängigen IoT-Definitionen wie etwa jener des CERP-IoT offensichtlich, wonach gilt: »The Internet of Things allows people and things to be connected Anytime, Anyplace, with Anything and Anyone, ideally using Any path/network and Any service«. ¹⁷⁵⁷ Demnach ist Ontologie nicht nur für IoP-Agenten, sondern für alle fünf Subsysteme und alle Agenten bzw. Agentenklassen elementar, wobei die eigentliche AI-Ontologieproblematik kaum im H2H-Sinne, sondern vielmehr im vollautomatischen M2M-Sinne zu eröffnen ist. H. Halpin et al. sprechen von Metaphysik, doch vollziehen sie diese nicht. Denn ihre grundlegendste Frage läuft mit der Natur der Dinge bzw. Prozesse darauf hinaus, den Streit um die *deskriptive vs. revisionäre Metaphysik* zu lösen und die für die Informatik adäquate Metaphysik zu bestimmen. Die fehlende Auseinandersetzung mit der *revisionären Metaphysik* ist nicht zuletzt deshalb zu bemängeln, indem diese als *Cyber-Physik* auf dem Grundstoff der *Information* basiert, um den es in allen fünf Subsystemen und allen vier Welttypen des *IoX-Hyperspace* kausal in je spezifischer Weise

¹⁷⁵⁷ Vgl. Vermesan et al. (2009: 8), ohne Hvh. des Orig.

geht. Das gilt gerade auch für das IoP-Subsystem. Berners-Lees "*Philosophical Engineering*" ist also im Ganzen deshalb inakzeptabel, weil es die Reflexion der eigenen philosophischen Position grundsätzlich vermissen lässt und es dem *IoX-Hyperspace* in keiner Weise gerecht werden kann.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass es keine gesonderte WWW-Philosophie geben kann, die mit den sonstigen philosophischen Grundlagen der Informatik inkompatibel ist. Vielmehr kann die Informatik nur genau eine in sich konsistente philosophische Position besitzen, wobei Konsistenz und Kohärenz mit ihrem Integrationserfordernis korreliert sind. Werden in ihren Teildisziplinen unterschiedliche philosophische Positionen vertreten, wäre wiederum eine fundamentale semantische Inkommensurabilitätsproblematik die Folge, die als solche im Grundsatz metaphysisch ist. Mit anderen Worten kann es nur eine *Metaphysik der Informatik* im Ganzen geben, und das ist die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik. Es ist darüber hinaus verfehlt, eine WWW-Philosophie allein auf den Cyberspace bzw. die IoP-Sphäre beziehen zu wollen. Richtig positioniert wäre das W3C dann, wenn es die soziale Dimension, um die es ihm geht, im Ganzen des CPST- bzw. IoX-Hyperspace adressiert. Erst mit diesem ist im Whitehead-Popperschen Sinne der kausale Systemaspekt zwischen dem "*cyber-physical space*", dem "*thinking space*" sowie den "*social spaces*" sachgerecht realisiert und die ontologische Interdependenz berücksichtigt.

Erst vor dem CPST- bzw. IoX-Hyperspace im Ganzen lässt sich die Semantik klären, und nicht für die "*social spaces*" im Sinne von Mikas (2007) "*ontologies are us*" jeweils isoliert. Das liegt zum einen daran, dass es auf eine transdisziplinäre Semantik ankommt, zum anderen hat es damit zu tun, dass sich diese Semantik auf den kausalen Zusammenhang des CPST-Hyperspace beziehen muss. Mit anderen Worten sind die "*social spaces*" (W4) natürlich nicht nur mit dem "*thinking space*" (W2) verknüpft, sondern genauso mit dem "*cyber-physical space*" (W3-W1). Insofern muss auch eine AI-Kernsemantik gegeben sein, die für den ganzen CPST- bzw. IoX-Hyperspace gilt. Das lässt sich an einer Vielzahl von ontologischen Sachverhalten darstellen, etwa an der bereits oben bemühten *Situation Awareness* (SAW) bzw. dem *Situation and Threat Assessment* (STA) sowie der *Context Awareness* (CAW). Dabei beziehen sich diese auf den ganzen IoX-Hyperspace, indem sie einheitlich für das IoD, IoS, IoT, IoA sowie das IoP voraussetzen sind. In kausaler Hinsicht gilt dies genauso für den CPST-Hyperspace, indem die oben erwähnte kausale Verknüpfung zwischen den vier Welttypen gilt. *Situation* und *Kontext* sind somit, genauso wie Ereignis, Prozess usf. nicht isoliert definierbar, sondern setzen die TLO-Referenz der Definition voraus. Denn die *Top-level Ontologie* verkörpert nicht nur den "*general world view*" der Informatik, sondern sie bildet mit Pkt. 3.5 technisch das "*common formal framework*" bzw. das "*ontological backbone*" des CPST- bzw. IoX-Hyperspace: Sie gilt für alle Ontologie- bzw. Welttypen sowie für alle fünf IoX-Subsysteme in universaler Weise.

Somit wird deutlich, dass es aufgrund der ontologischen Interdependenzproblematik unmöglich ist, für das IoP-Subsystem die *Situation* isoliert in *linguistischer* Weise zu defi-

nieren. Analoges gilt in der Hinsicht, dass sie dann auf *Common Sense* auszulegen wäre. In der SAW-Forschung ist man bereits sehr viel weiter als in der SW-Forschung; indem für erste außer Frage steht, dass es sich bei der *Situation* nicht um einen linguistischen Begriff, als vielmehr um ein *philosophisches* Konzept handelt;¹⁷⁵⁸ tatsächlich findet es sich in nahezu sämtlichen philosophischen Ansätzen, etwa bei Leibniz, Husserl, Whitehead oder Bunge, aber auch etwa bei Heidegger, Jaspers, Kierkegaard bis hin zu Sartre. Das Problem ist nur, dass es dabei um jeweils gänzlich anders geartete Sachverhalte geht, die wiederum auf eine jeweils spezifische *Metaphysik* zurückweisen. Mit anderen Worten handelt es sich um ein metaphysisches Konstrukt, das zwischen den einzelnen Metaphysiksystemen variiert. Daraus folgt, dass vor der Rede über *Situationen* die Debatte um die Metaphysik vorzuschicken ist. Denn der erste Schritt besteht auch hier wiederum darin, die für die Informatik sachgerechte Metaphysik zu identifizieren. Wenn gilt: »Information is always taken to be information *about* some situation [...]«,¹⁷⁵⁹ bedeutet das im Umkehrschluss, dass sich ein situationsorientierter Metaphysikansatz offensichtlich elementar auf den *Grundstoff der Information* beziehen muss. Geht es in der Informatik um *Situationen*, kommt bisher vor allem die Situationssemantik von Barwise/Perry (1983) ins Spiel. Tatsächlich beziehen sie den Situationsaspekt auch elementar auf den Informationsaspekt:

»How do situations come in? "Situation" is our name for those portions of reality that agents find themselves in, and about which they exchange information.«¹⁷⁶⁰

Damit liegt die Disziplin in ihrem Rekurs auf die Situationssemantik gar nicht so falsch. Allerdings sind dabei zwei wesentliche Aspekte zu berücksichtigen: erstens, dass die Situationssemantik mit dem 3D-Common Sense bzw. mit der Grammatik der Alltagssprache inkompatibel ist. Zweitens, dass der Situationsaspekt, der kein linguistischer, sondern ein metaphysischer ist, natürlich nicht isoliert behandelt werden kann. Vielmehr hat eine *Situation* nicht nur etwas mit Kontext zu tun, mit Raum und Zeit, mit Interaktionen, Prozessen usw., sondern der Situationsaspekt hängt auch mit einer Vielzahl anderer wissenschaftlicher, technologischer oder praktischer Sachverhalte zusammen. Der Situationsaspekt ist dabei allein schon deshalb nicht losgelöst von der Metaphysik behandelbar, weil er die fundamentalen Strukturen aller Welten und damit auch die Realitätsfrage betrifft. Das ist auch Barwise/Perry (1983) klar, wenn sie seinen Bezug auf die Realität herausstellen:

»Reality consists of situations - individuals having properties and standing in relations at various spatiotemporal locations. We are always in situations; we see them, cause them to come about, and have attitudes toward them. The Theory of Situations is an abstract theory for talking about situations.«¹⁷⁶¹

Mit Lambert (2001) ist die Situationssemantik von Barwise/Perry (1983) vor allem *erigniszentrisch* auszulegen, und auch dieses Erfordernis wird bei ihnen selbst ersichtlich:

¹⁷⁵⁸ Vgl. etwa Kokar/Matheus/Baclawski (2009).

¹⁷⁵⁹ Devlin (2006: 602).

¹⁷⁶⁰ Barwise (1989: xiv).

¹⁷⁶¹ Barwise/Perry (1983: 7).

3. Diskurs genuiner Grundfragen der Ontologie komplexer IoX-Systeme

»States of affairs are static situations, situations that hold throughout some stretch of time. In general we need to represent change to get at the ever changing course of events that give rise to meaning. We represent these by means of abstract objects we call courses of events.«¹⁷⁶²

Insofern stellen *Situationen* offensichtlich eine Kategorie dar, die jener des *Ereignisses* untergeordnet ist. Prozesse als *4D-Event Streams* besitzen dann etwa ereigniszentrisch situierte Objekte und somit geht es insgesamt um all jene Kategorien, die den Gegenstand der TLO-Kategorien bilden. Damit wird deutlich, dass die Situationssemantik sachgerecht nur unter dem Regime einer spezifischen Metaphysik zu entwickeln ist. Auch das steht für Barwise/Perry in gleicher Weise außer Frage:

»From both a metaphysical and an epistemological point of view we think of real situations as basic, with objects, properties, relations, and space-time locations arising as uniformities across them. [...] We view real situations as metaphysically and epistemologically prior to relations, individuals, and locations.«¹⁷⁶³

Welche Metaphysik Barwise/Perry leitet, ist dabei evident. Es überrascht vor diesem Hintergrund nicht, dass sich Barwise/Perry teils auch explizit direkt auf Whitehead und Russell beziehen. Denn hier ist ihr eigentlicher Ursprung im 4D-Sinne zu verorten. Die semantischen bzw. ontologischen Probleme liegen also auch hier tiefer. Barwise/Perry (1983) sind für vollautomatisierte AI-Systeme natürlich in keiner Weise ausreichend. Mit Lambert (2001) wird vielmehr deutlich, dass die Situations- und Ereignissemantik verknüpft sind. Das Ziel einer zumindest partiell realisierten Verschmelzung der Situationssemantik von Barwise/Perry mit der Ereignissemantik Davidsons ist bereits von linguistischer Seite in Angriff genommen worden.¹⁷⁶⁴ Allerdings sind auch in dieser Sache die cyber-physischen Sachverhalte zunächst *metaphysisch*, d.h. hinsichtlich der Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen des *CPST-Hyperspace* zu klären. Erst dann kann es um linguistische Aspekte im Sinne einer abgeleiteten Normalsprache gehen. Darüber hinaus unterscheidet sich eine kombinierte Situations- und Ereignissemantik mit CYPO/IMKO grundsätzlich in einer anderen maßgeblichen Sache: Zum einen ist mit dem "*ontological backbone*" evident, dass es analog zum Ereignis eine universale Auffassung dieser Kategorie geben muss, was einer metaphysischen Position entspricht. Zum anderen sind Situationen genauso heterogen wie Ereignisse. Es gibt *aktuelle* oder *mögliche* Ereignisse; *physische* oder *mentale* Ereignisse, *digitale* oder *soziale* Ereignisse usf. Es gibt *induktive* Ereignisse, und es kann – entgegen J. Bell (2007) – durchaus parallel dazu auch *deduktive* Ereignisse geben. Das gleiche gilt für Situationen; auch diese beziehen sich auf völlig unterschiedliche Welten, womit eine W1-Situation etwas anderes ist als eine W2-, W3- oder W4-Situation. Dies lässt sich mit Pkt. 3.5 anhand der Subtypen entsprechend ausbauen. Der CPST-Hyperspace ist für die genaue semantische Abgrenzung offenbar entscheidend.

Darüber hinaus betreffen *Situationen* und *Kontexte* auch die Datenmodelle und damit das IoD-Subsystem. Auf ED-SOA-Basis sind sie genauso für das IoS-Subsystem relevant, wenn etwa in bestimmten Situationen Services ausgelöst werden oder diese sich auf be-

¹⁷⁶² Barwise/Perry (1983: 56).

¹⁷⁶³ Barwise/Perry (1983: 50, 58).

¹⁷⁶⁴ Vgl. Lasersohn (1990), Portner (1992), Zucchi (1993), R. Cooper (1998) sowie Kratzer (1998).

stimmte Kontexte anpassen lassen. Für das IoA-Subsystem sind sie ohnehin gesetzt, wenn intelligente Agenten situations- bzw. kontextsensitiv operieren. Mit dem *Semantic Web* betreffen sie jedoch genauso das IoP-Subsystem. Das ist etwa dann der Fall, wenn OWL in kontextueller Hinsicht zu Recht als nicht ausreichend erachtet wird, und durch Erweiterungen wie *Context-OWL* (C-OWL) ergänzt wird.¹⁷⁶⁵ Dabei zeigen auch diese Erweiterungen, dass mit dem OWL-Kern an sich etwas nicht stimmt, indem dieser entlang einer falschen Metaphysik entwickelt worden ist. Natürlich sind Situationen und Kontexte auch physisch relevant und damit für das IoT-Subsystem. Das betrifft die Masse anfallender Mess- bzw. Rohdaten in physischen Multisensorsystemen, die unmittelbar auf Big Data, BDA-Technologien (Hadoop, NoSQL Systems) und eine Informationsfusion hinauslaufen,^{1766, 1767} für die wiederum *Top-level Ontologien* die wesentliche Grundlage bilden.^{1768, 1769} Entsprechend müssen Aspekte der Situations- resp. Kontextwahrnehmung auf Basis einer ereigniszentrierten TLO-Konzeption kategorial mitberücksichtigt werden. Ontologiebasierte Informationssysteme (ODIS) bzw. Wissenssysteme avancieren dann in Ergänzung spezifischer SAW- bzw. CAW-Ontologien zu *Ontology-Driven Situation Awareness Systems*.¹⁷⁷⁰

Top-level Ontologien spielen bereits heute auch im Engineering von SAW-, STA- resp. CAW-Ontologien eine wesentliche Rolle. Auch hier kommt das TLO-Inkommensurabilitätsproblem in reicher Vielfalt zum Tragen, indem auf völlig unterschiedlichen TLO-Theorieanwärttern aufgebaut wird: angefangen mit der BFO-TLO,¹⁷⁷¹ geht es mit der BWWTLO weiter,¹⁷⁷² während teilweise gar direkt auf der in Pkt. 5.3 reflektierten Metaphysik Bunges (1977a) aufgesetzt wird.¹⁷⁷³ Daneben wird verschiedentlich auch auf die DOLCE-TLO rekurriert,¹⁷⁷⁴ die nicht nur ein spezielles SAW-relevantes Modul aufweist (D&S),¹⁷⁷⁵

¹⁷⁶⁵ Vgl. dazu Fn. 1689.

¹⁷⁶⁶ Vgl. hierzu O'Leary (2013a, 2013b), S. Son et al. (2015) sowie Lomotey/Deters (2016).

¹⁷⁶⁷ Wesentlich ist es, in BDA-Kontexten *NoSQL* als *Not Only SQL* (und nicht einseitig als "*non SQL*", bzw. "*non relational*") auszulegen. *NoSQL* Datenbanken speichern Daten im Allgemeinen in der *JavaScript Object Notation* (JSON). Zwar stoßen RDBMS in Bezug auf Big Data an ihre Grenzen, vgl. etwa Papadokostaki et al. (2017), doch heißt das umgekehrt *nicht*, dass RDBMS überhaupt keine Rolle mehr in IoX-Szenarien spielen. Natürlich sind auch RDBMS und SQL nach wie vor von Relevanz, und zwar etwa dann, wenn es um kleinere Datenmengen geht (Smart Data). Es kann also gewiss nicht um eine gänzliche Ablösung des RDBMS-Paradigmas gehen. Vielmehr ist sehr differenziert zu unterscheiden; Auftragsdaten werden etwa in vielen Fällen nach wie vor in RDBMS gespeichert werden. Selbst bei der Sensorik ist nicht von vornherein ausgemacht, dass es sich zwingend um Massendaten handelt. Vielmehr sind auch IoX-Systeme denkbar, die nur gelegentlich messen. Demgegenüber führen Sensordaten in Echtzeit im Allgemeinen dazu, dass es aufgrund der schieren Masse an Daten vielfach unmöglich bzw. sinnlos ist, den ganzen Datenstrom zu speichern.

¹⁷⁶⁸ Vgl. etwa Boury-Brisset (2013).

¹⁷⁶⁹ Bei der Beherrschung von Big Data spielt die *Information Artifact Ontology* (IAO) eine zentrale Rolle, die B. Smith/Malyuta et al. (2013) im militärischen Bereich auf die BFO-TLO beziehen, in der die Top-level Ontologie der DSGS-A Ontologien besteht; damit ist bereits ein Prototyp für andere intelligente semantische Integrationsszenarien geschaffen.

¹⁷⁷⁰ Vgl. Baumgartner et al. (2008, 2010).

¹⁷⁷¹ Vgl. etwa Little/Vizenor (2006), Little/Sambhoos/Llinas (2008), Little/Rogova (2009) sowie Galton/Worboys (2011).

¹⁷⁷² Vgl. etwa Goumopoulos/Kameas (2010); vgl. hierzu kritischer Sotoodeh (2009).

¹⁷⁷³ Vgl. hierzu das *Generic Process Model* (GPM) von Soffer/Yehezkel (2011).

¹⁷⁷⁴ Vgl. etwa Berg-Cross (2008), Leggieri et al. (2010) sowie Dapoigny/Barlatier (2013); vgl. partiell Lambert et al. (2009).

sondern auch bereits im Bereich der SAW-relevanten *Sensor Ontology* (W3C *SSN Sensor Ontology*) gesetzt ist.¹⁷⁷⁶ Ferner wird die SUMO-TLO zugrundegelegt,¹⁷⁷⁷ die darin teils inkorporierte Sowa-TLO,¹⁷⁷⁸ oder aber die UFO-TLO.¹⁷⁷⁹ Selbst die linguistische Cyc-TLO wird in Erwägung gezogen.¹⁷⁸⁰ Kommunizieren intelligente Automaten resp. semantische Maschinen in SAW-Kontexten auf Basis heterogener TLO-Ansätze, sind fundamentale Fehler nicht auszuschließen; im Grunde sind sie vorprogrammiert. Eine vollumfängliche semantische Interoperabilität rückt damit in weite Ferne, wenn vollkommen disparate Ontologiekonzepte, unterschiedliche Weltansichten wie eine prinzipiell heterogene Behandlung von Entitäten (Objekte, Ereignisse, Prozesse usw.) ihr fundamental entgegenstehen.

Dass in einer prozessualen Ontologiekonzeption das richtige allgemeingültige Ontologieverständnis der Informatik besteht, wird im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* nicht nur anhand wissenschaftsgestützter komplexer Produktentwicklungsprozesse deutlich. Vielmehr zeigt sich dies genauso an der Funktion von *U-PLM-Systemen* als Integrationsplattform der Digitalen Fabrik bzw. Smart Factory. Das bezieht sich auf verschiedenste Aspekte, von der mangelnden Fehlertoleranz in der produzierenden Industrie bei ontologischen Fehlern (Null-Fehler-Produktion) angefangen bis hin zur Tatsache, dass eine Smart Factory als CPPS auf IoX-Basis nicht ohne *Smart Sensors* denkbar ist, die wiederum nicht ohne eine *Sensor Ontology* auskommen.¹⁷⁸¹ Analoges gilt für ihren Einsatz in PEID-Technologien in der MOL-Phase. Sensorontologien wie die W3C *SSN Sensor Ontology* erweisen sich dabei regelmäßig TLO-basiert,¹⁷⁸² etwa wenn die W3C *SSN Ontology* auf DOLCE+DnS Ultralight (DUL) referenziert.¹⁷⁸³ Demgegenüber gründen Produktentwicklungsprozesse in der chemischen Prozessindustrie etwa auf der BORO-TLO, während für die Medizintechnik oder die Biotechnologie mit der OBO-OWL-Transformation die BFO-TLO nebst *Semantic Web Technologien* (SWT) von Relevanz ist. In Bezug auf IoX-Integrationsszenarien steht insbesondere mit Blick auf die Informationsfusion des ganzen U-PLM-Zyklus außer Frage, dass heterogene TLO-Theorieanwärter, auch wenn sie nur in speziellen Teilbereichen verwendet werden, letztlich doch im Ganzen eine genauso inakzeptable Heterogenität bezüglich fundamentaler Kategorien oder meta-ontologischer

¹⁷⁷⁵ Vgl. hierzu Gangemi/Mika (2003).

¹⁷⁷⁶ Vgl. hierzu etwa Stocker et al. (2012, 2014b).

¹⁷⁷⁷ Vgl. etwa die alternativen Empfehlungen bei Lambert et al. (2009). Vgl. auch Baumgartner/Retschitzegger (2006), die zwischen *Top-level Ontologies* und *Upper Ontologies* differenzieren, vgl. Baumgartner/Retschitzegger (2006: Fn. 1); mit letzteren bezeichnen sie universale SAW-Ontologien wie SAWA, SOUPA, CONON oder die Situation Ontology, die nach allgemeinem Sprachgebrauch unter die *Kernontologien* (*Core Ontologies*) fallen, vgl. etwa Matheus et al. (2003b).

¹⁷⁷⁸ Vgl. Baumgartner/Retschitzegger (2006).

¹⁷⁷⁹ Vgl. P. Brandt/Basten/Stuijk (2014).

¹⁷⁸⁰ Vgl. Lambert et al. (2009); Cyc wird hier neben DOLCE und SUMO als mögliche Alternative gesehen.

¹⁷⁸¹ Y. Shi et al. (2012) arbeiten die Defizite bisheriger *Sensor Ontologies* heraus; hierzu gehört insbesondere auch das Fehlen eines einheitlichen ontologischen Rahmens einschließlich der TLO-Referenz, vgl. zu dieser auch Compton et al. (2009).

¹⁷⁸² Bspw. baut auch die SeReS OGC O&M Ontology auf DOLCE auf.

¹⁷⁸³ Vgl. hierzu Janowicz/Compton (2010), Compton (2011), Compton et al. (2012), Janowicz (2012) sowie S. Dey et al. (2014).

Aspekte implizieren. Daraus folgt, dass das Inkommensurabilitätsproblem nicht etwa nur im theoretischen Diskurs gegeben ist, sondern bereits heute mit den verschiedenen bereits implementierten TLO-referenzierenden Teilsystemen in praxi existent ist. Dabei ist die eigentliche Problematik nicht direkt offensichtlich; sie ist nur dem Systemganzen verteilter Systeme immanent. Demgegenüber ist sie für die einzelnen Teilbereiche, die jeweils auf genau eine – wenn auch heterogene – TLO-Konzeption referenzieren, gar nicht ersichtlich.

Insbesondere anhand der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* lässt sich in ihrer Eigenschaft als Integrationsplattform das Inkommensurabilitätsproblem der TLO-Theorieanwärter im Kontext der *Smart Enterprise Integration* (SEI) unmittelbar veranschaulichen. Mit ihr wird deutlich, dass in ein und demselben Integrationsszenario eine Vielzahl letztlich inkompatibler TLO-Ansätze parallel eingesetzt werden. So ist die *konzeptuelle Modellierung* im Zuge der Enterprise Integration von U-PLM-Systemen für diese elementar und diese bezieht sich insbesondere auf die BOL-, teils auch auf die MOL-Phase. Konzeptuelle Modellierer verwenden dabei zumeist die BWW-TLO bzw. Sprachen und Methoden, die auf Basis der BWW-TLO durch Dritte evaluiert werden. Das heißt, die in einem konkreten U-PLM-Integrationsszenario bemühten Entitäten entsprechen ihrer Natur nach mehr oder minder der Perspektive und den Erfordernissen der BWW-TLO. In der *BOL-Produktentwicklungsphase* spielt die BWW-TLO demgegenüber für Zwecke der Wissensrepräsentation kaum eine Rolle. In bestimmten Industrien ist hier die BFO-TLO mit der OBO-Foundry von Relevanz; in anderen Industrien kommen wieder andere TLO-Ansätze zum Einsatz. Demgegenüber wird in der *BOL-Produktionsphase* der Smart Factory wie auch mit PEID-Technologien in der *MOL-Nutzungsphase* wiederum eine andere TLO-Referenzbasis bemüht. Dann kommen Multisensorsysteme zum Einsatz, und diese gründen dann über die Sensorontologie etwa auf der DOLCE-TLO. In anderen Bereichen des PLM-Zyklus gelangen ggf. weitere inkommensurable TLO-Theorieanwärter ins Spiel. Diese Möglichkeit ist schon deshalb nicht von der Hand zu weisen, weil insbesondere bei der Frage nach einer *Produktions-Kernontologie* in der bisherigen Forschung eine Vielzahl anderer TLO-Ansätze als grundsätzlich PLM-adäquat eingestuft wird. Hierzu gehören etwa die SUMO-TLO,¹⁷⁸⁴ die BORO 4D-TLO,¹⁷⁸⁵ die OCHRE-TLO,¹⁷⁸⁶ und selbst die Cyc-Ontology.¹⁷⁸⁷ Damit erweist sich das TLO-Inkommensurabilitätsproblem offensichtlich von noch weitergehender elementarer Praxisrelevanz: Eine vollumfängliche *Smart Enterprise Integration* (SEI) im Sinne durchgängiger semantischer Interoperabilität ist ohne seine Lösung in keiner Weise realisierbar. Dies nicht zuletzt auch deshalb, weil die diversen TLO-Theorieanwärter im SEI-Kontext zueinander in einem echten Konkurrenzverhältnis stehen. Das zeigt sich an vielen Fällen, etwa anhand der für die petrochemische Industrie-

¹⁷⁸⁴ Vgl. Seo et al. (2006), Mostefai/Bouras (2006), Borgo/Leitão (2007), Matsokis (2010) sowie Usman et al. (2010, 2011).

¹⁷⁸⁵ Vgl. Matsokis (2010), Matsokis/Kiritsis (2010b) sowie Li (2012).

¹⁷⁸⁶ Vgl. Borgo/Leitão (2007) oder Usman et al. (2010, 2011).

¹⁷⁸⁷ Vgl. Mostefai/Bouras (2006), Borgo/Leitão (2007) oder Usman et al. (2010, 2011).

praxis bei Shell entwickelten BORO 4D-Ontology (ISO 15926 bzw. EPISTLE Framework). B. Smith (2006b) bescheinigt dieser nicht nur fundamentale Unzulänglichkeiten, sondern dessen BFO-TLO wird wenig später durch Little et al. (2008) speziell für die petrochemische Industrie als adäquater TLO-Ansatz propagiert. – Indes weist auch Smithens BFO-TLO elementare Schwächen auf, die in Pkt. 7.3 exemplarisch dargelegt werden.

Im Hinblick auf integrierte Smart Web Szenarien kommen *Top-level Ontologien* schließlich auch im Rahmen der Informationsfusion zum Einsatz. Da diese jenseits ihrer ursprünglich militärischen Verwendung zunehmend für alle Formen semantischer Systemintegration stark an Bedeutung gewinnen, ist auch dieser Einsatzkontext für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu untersuchen: Es existieren heute diverse Fusionsmodelle zur Informations- bzw. Datenfusion;¹⁷⁸⁸ das gebräuchlichste Fusionsmodell ist das JDL-Modell mit seinen vier Ebenen (Ebenen 1-4) resp. seinen fünf Stufen der Informationsverdichtung sowie seine Erweiterung, das JDL/DFIG-Modell mit seinen sechs Ebenen (Ebenen 1-6) bzw. sieben Stufen der Informationsverdichtung.^{1789, 1790} Die AI-Relevanz dieser Modelle zeigt sich weniger mit Blick auf die unteren (0-1) Ebenen der Informationsfusion (LLIF), sondern vielmehr auf den höheren (2-3 ff.) Ebenen (HLIF).¹⁷⁹¹ Dass sich das JDL/DFIG-Modell dabei unmittelbar mit einer prozessmetaphysischen TLO-Konzeption verbinden lässt, zeigt bereits Lamberts *prozessphilosophische Konzeption*, die die JDL Ebene 4 (Prozessoptimierung) absorbiert.¹⁷⁹² Das ist vor allem auch deshalb herauszustellen, als das JDL-Modell auch zur CEP-Grundlegung herangezogen wird,¹⁷⁹³ wo es seinerseits im SCEP-Sinne um Semantik bzw. Ontologie geht (vgl. Pkt. 6.2.1).

Die semantische Daten- bzw. Informationsfusion zielt gerade darauf, auf Basis verschiedenster Daten- bzw. Informationsquellen neues, hochpräzises Wissen über UoD-Sachverhalte, insbesondere über relevante Situationen, Ereignisse resp. Prozesse zu generieren. Dabei kommt es zur Datenfusion verschiedenster Daten; bei der Sensorintegration etwa Messdaten resp. Rohsignale von Multisensorsystemen,¹⁷⁹⁴ deren verschiedenste physikalische Größen im Auge möglicher Datenkonflikte AI-ontologiebasiert zu reflektieren sind. CPS und CPPS stellen gerade auch im Hinblick auf ihre Sensorik und ihre dadurch hervorbrachten großen Datenvolumina (Big Data) *komplexe Systeme* dar, nicht zuletzt, weil sie in Reflexion dieser Datengrundlage lernen und aktiv in Diskursuniversen eingreifen. Insofern gilt für CPS bzw. CPPS Gell-Manns (1995a: 12) generelle Charakterisierung *komplexer Systeme*, wonach gilt: »[i]ts experience can be thought of as a set of data«. Entsprechend wird die *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) nicht nur durch die Überlegungen

¹⁷⁸⁸ Vgl. hierzu etwa Esteban et al. (2005), Bossé et al. (2007) sowie Foo/Ng (2013).

¹⁷⁸⁹ Vgl. hierzu Scholz/Lambert et al. (2012); vgl. speziell zum DFIG-Modell Scholz/Gossink (2012).

¹⁷⁹⁰ Bei den Stufen der Informationsverdichtung wird die *Ebene 0* (Vorverarbeitung der Einzelinformationen) mitgerechnet, so dass bei JDL fünf Stufen und bei DFIG sieben Stufen gegeben sind.

¹⁷⁹¹ Vgl. hierzu Nowak (2003), Blasch/Costa et al. (2012), Blasch/Lambert et al. (2012), Blasch/Valin (2012) sowie Foo/Ng (2013).

¹⁷⁹² Vgl. Scholz/Lambert et al. (2012); vgl. hierzu auch Lambert (1996).

¹⁷⁹³ Vgl. etwa Eftimov (2007) sowie Bhargavi/Vaidehi (2011, 2013).

¹⁷⁹⁴ Vgl. hierzu etwa Esteban et al. (2005).

Mainzers (2014a, 2014d) in allgemeiner Hinsicht im Kontext der *Theorie komplexer Systeme* komplettiert. Vielmehr eröffnet sich auch unmittelbar der CAS/MAS-Gedanke, indem IoX-Systeme, etwa über IoT-basierte PEID-Produkte die *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) im Sinne des *Realtime IoX-Monitoring* (vgl. Pkt. 2.5) inkorporieren.¹⁷⁹⁵

Entsprechend treffen im Zuge der Informationsfusion auch hier technologische Ontologien, etwa zur CPPS-Steuerung auf wissenschaftliche Ontologien zur Generierung *absolut präzisen Wissens*, wie es im Zeichen von SAW- resp. STA-Ontologien und ihrem Einsatz in kritischen Prozessen unerlässlich ist. Mit der Notwendigkeit explikativer Ontologien kommt gerade auch die Daten- resp. Informationsfusion nicht um eine umfassende TLO-Referenz umhin, wobei sich natürlich auch in diesem Fall wiederum das Inkommensurabilitätsproblem stellt: Während Little/Vizenor (2006) sowie Little/Rogova (2006, 2009) mit Blick auf HLIF-Fusionen der BFO-TLO mit Nachdruck Vorrang vor DOLCE, SUMO oder Cyc einräumen, kommen Lambert et al. (2009) zum genau gegenteiligen Ergebnis, wenn die alternativen Optionen formaler Ontologie in DOLCE, SUMO oder Cyc gesehen werden – aber nicht in der BFO-TLO. SAW-, STA- oder CAW-Ontologien bilden insofern ein zeitgemäßes Verständnis zur Frage der sachgerechten Gestaltung der AI-Ontologiekonzeption, als sie im Sinne der HLIF-Informationsfusion auf eine sehr weitreichende Künstliche Intelligenz semantischer Maschinen abzielen. Bemerkenswert ist dabei, dass solche modernen AI-Ontologiekonzeptionen kaum mehr der linguistischen Ontologiekonzeption entsprechen, wie es noch in der AI-Frühzeit der Fall war.

Während linguistische Ontologiekonzeptionen für vergleichsweise simple AI-Systeme wie für die erwähnten tradierten *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) ausreichend sein mögen, sind sie es für komplexe agentenbasierte AI-Systeme, die für ihre Aktionen präzises, gerade auch wissenschaftliches Wissen einfordern, nicht. Damit wird ein fundamentaler Wandel vom klassischen AI-Verständnis zu einem neuen, *postklassischen AI-Verständnis* erforderlich, der mit seinen Implikationen für die Ontologiekonzeption der Informatik sehr viel radikaler ausfallen muss als es auf den ersten Blick zu vermuten ist. Hochkomplexe *Wissenssysteme* (knowledge systems), die als agentenbasierte Systeme auf Prozessintelligenz abzielen, setzen explikative Heavyweight-Ontologien voraus, die nicht ohne eine metaphysisch fundierte *Top-level Ontologie* (TLO) als oberster Ontologieebene auskommen. Entsprechend laufen SAW- und STA-Ontologien und vergleichbare Ontologien komplexer IoX-Systeme im Allgemeinen nicht nur auf eine *realistische* Ontologiekonzeption hinaus, sondern damit zusammenhängend auch auf die unabdingbare TLO-Referenz, wie sie für Heavyweight-Ontologien insgesamt kennzeichnend ist. Damit nicht genug: SAW- und STA-Ontologien und entsprechende Modelle der Informationsfusion verweisen dabei regelmäßig auf eine sachgerechte metaphysische Fundierung, wie sie im vierten Teil näher zu diskutieren ist.

¹⁷⁹⁵ Vgl. etwa O'Leary (2013a, 2013b), Truong/Dustdar (2014) sowie Stackowiak et al. (2015).

Das neue, *postklassische AI-Verständnis* verlangt genauso wie das im vorausgehenden Pkt. 3.2.2 diskutierte *postklassische CM-Verständnis* letztlich auch insgesamt nach einer metaphysischen Fundierung. Im Gegensatz zur ersten und zweiten AI-Generation ist diese in der dritten AI-Generation dabei über die Referenz auf eine *metaphysische Top-level Ontologie* zu realisieren. Nur dann lässt sich Ontologie im Sinne von CYPO/IMKO in integrierter Weise des CPST- bzw. IoX-Hyperspace sowohl als *metaphysische Ontologie* als auch als damit verbundene *Wissensontologie* konzipieren. Für Zambak (2014) stellt Künstliche Intelligenz gerade insofern ein *neues metaphysisches Projekt* dar, als die AI letztlich selbst einer metaphysischen Grundlegung bedarf. Die AI-Ontologie benötigt eine Metaphysik, die ihr nicht nur im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" ein postcartesisches Weltverständnis vermitteln kann, sondern vielmehr auch über ein entsprechend universales Kategoriensystem eine *ad hoc* Kombination verschieden gearteten Wissens zulässt. Also eine Kombination von Wissen, das mit Verweis auf Pkt. 3.5 nicht nur aus heterogensten Quellen stammt, sondern sich dabei auch auf verschiedene Welttypen bezieht. Das ist allein auf der ratio-empirischen bzw. techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads möglich, die zugleich Digitalmetaphysik ist.

Ontologie ist als *ontologische Theorie* eingebettet in ein generelles Rahmenwerk, in eine Struktur meta-ontologischer Kriterien mitsamt einem wissenschaftsadäquaten metaphysischen Kategoriensystem. Erst vor diesem Hintergrund lässt sich eine ontologische Theorie in stringenter Konzeption sachgerecht bestimmen. Beispielsweise ist es landläufige Auffassung, die *Ontologie sei eine Theorie der Objekte*, was an sich auch richtig ist. Dennoch macht es einen entscheidenden Unterschied, ob damit 3D-Objekte oder 4D-Objekte gemeint sind, weil dies im letzteren Fall dazu führt, dass man es nicht mit einer Objekt- bzw. Substanzontologie, sondern mit einer radikal anders gehaltenen *Prozessontologie* zu tun hat. Denn als solche handelt es sich letztlich um eine Ontologie als allgemeinste *Theorie der Prozesse*, und damit nicht um eine tradierte Dingontologie, deren weitreichende Unterschiede kaum ohne eingehendere metaphysische Reflexion zu verstehen sind.

Metaphysisch fundierte Top-level Ontologien bilden offensichtlich gleichzeitig den *einheitlichen* Referenzpunkt für die *konzeptuelle Modellierung und die AI-Wissensrepräsentation*, wenn es gilt, die meta-ontologischen Kriterien wie die fundamentalen Kategorien des jeweiligen Diskursuniversums (UoD) zu spezifizieren. McCarthys (1995) "*general world view*" bezieht sich natürlich systematisch auf beides, indem er auf die Strukturiertheit resp. Strukturierung des Diskursuniversums (UoD) zielt. Insofern konzeptuelle Modellierung und Wissensrepräsentation aufs engste miteinander verzahnt sind, folgt daraus methodisch notwendig, dass auf die *gleiche* Top-level Ontologie referenziert wird. Ob die Ontologie nun primär eine *Theorie der Objekte* oder primär eine *Theorie der Prozesse* ist, ob sie 3D- oder 4D-Objekte voraussetzt, ob diese einfach oder komplex strukturiert sind usw., lässt sich erst auf Grundlage geschlossener metaphysischer Systeme begründen. Wie mehrfach betont, kommt die Informatik in beiden Sphären nicht umhin, diese Fragen zu

klären, bevor sie sich an umfassende semantische Systemintegrationen macht. Mit dem Rekurs auf die Metaphysik resp. auf metaphysische Top-level Ontologien ist dabei nicht nur eine Systematik für die systematische Beantwortung der verschiedenen relevanten Fragen gegeben. Wie erwähnt, wird damit ein solches Unterfangen vielmehr für Dritte unmittelbar greifbar und kritikabel. Dabei sind *metaphysische Top-level Ontologien* genauso kritikabel wie mit Popper (1997b) das jeweilige metaphysische System an sich.

Bezüglich der fundamentalen Natur des Diskursuniversums, die für die konzeptuelle Modellierung wie für die Wissensrepräsentation gleichermaßen wichtige Bedeutung hat, ist vor allem die Frage ihrer *realen Natur* strittig, also die Frage, ob das UoD *immer real* ist, ob es auch *irrealer* Natur sein kann. Diese beiden Fragen hatten wir bereits in Pkt. 3.2.2 zugunsten der Verneinung der ersten und Bejahung der zweiten geklärt. Es stellt sich allerdings vor ihrem Hintergrund noch eine dritte Frage, nämlich, ob es einen Unterschied in der *methodischen Behandlung realer und irrealer Welten* gibt bzw. geben muss. Dass auch diese dritte Frage mit Nachdruck zu bejahen ist, liegt auf der Hand: reale Ontologien erfordern ein sachgerechtes Verständnis der realen Welt und reale wissenschaftliche Ontologien erfordern prinzipiell eine Kohärenz mit realwissenschaftlichen Theorien – und damit eine analoge Methodologie. Denn anders gewendet verkörpern wissenschaftliche Ontologien nichts anderes als die AI-bezogene Wissensrepräsentation wissenschaftlicher Theorien.

Offensichtlich bedarf es einer tieferen Reflexion, wenn in der Informatik allgemeiner Konsens besteht, dass das Diskursuniversum im Vorgriff auf Pkt. 5.5 mit Wittgensteins (1921) *Tractatus* als *logischer Raum* aufzufassen ist. Denn dieser logische Raum ist bei Wittgenstein (1921) durch bestimmte Tatsachen, Fakten oder Sachverhalte konstituiert, aber ganz entschieden gerade *nicht durch Dinge*. Ungeachtet dessen wird in der Informatik – wie auch in der Philosophie – traditionell jedoch eine Ding-, Substanz-, oder Objektontologie vertreten, was gerade auch für alle heute führenden TLO-Theorieanwörter kennzeichnend ist: sie sind an Dingen resp. Objekten orientiert, nicht aber an Tatsachen, Fakten oder Sachverhalten. Darin besteht deshalb der Kardinalfehler eines defekten Ontologieverständnisses, weil es zumeist wenig sinnvoll ist, Diskursuniversen sowohl für *komplexe technologische* als auch für *komplexe wissenschaftliche* Zwecke über selbstidentische, für sich stehende Dinge resp. Objekte erschließen zu wollen. Eine solche Perspektive bietet sich ggf. an, wenn es um das Erschließen einfachster stationärer Welten geht, die es indessen höchstens in Laborumgebungen gibt. Dabei steht außer Frage, dass sich dieser Kardinalfehler allein auf Basis eines radikal neuen ontologischen Fundaments überwinden lässt.

Zielen Informations- und Wissenssysteme wie U-PLM-Systeme in technologischer wie wissenschaftlicher Hinsicht auf komplexe Welten, erscheint im Sinne Wittgensteins (1921) eine Orientierung an Tatsachen, Fakten und Sachverhalten zweifellos zielführender. Wittgensteins (1921) *logischer Raum*, der prinzipiell eine einheitliche methodische Behandlung realer und irrealer Welten zulässt, verlangt eine andere Perspektive auf reale oder virtuelle Welten Cyber-physischer komplexer Systeme (CPS) als einfache Dinge oder Objekte als

Möblierung von Diskursuniversen. Wie gesagt heißt das nicht, dass sie keine Rolle spielen. Natürlich sind gerade auch Objekte ontologisch im Sinne einer *Objektanalyse* zu veranlassen, nur fragt sich zum einen, wie dies geschieht, und zum anderen, ob sie im UoD tatsächlich den bisherigen primären oder gar ausschließlichen Stellenwert besitzen. Wenn man fragt, wie sich Tatsachen, Fakten oder Sachverhalte als Ansatzpunkt zur Erschließung von Diskursuniversen greifen lassen, und man sich dabei wesensnotwendig zunächst mit realen Welten auseinandersetzen muss, gelangt man zu Barwise/Perry (1983). Als mathematischer Logiker bzw. Situationssemantiker steht für sie außer Frage, dass Realität immer *situativ* zu verstehen ist als Einzeldinge mit Eigenschaften, die an verschiedenen Raum-Zeit-Standorten miteinander in Relation stehen.¹⁷⁹⁶ Dabei läuft ihre Situationssemantik auf einen strikten *Realismus* hinaus, der explizit nicht als naiver Realismus missverstanden werden kann,¹⁷⁹⁷ sondern bei dem es sich mit Verweis auf Pkt. 6.2.6 um eine aufgeklärte Variante handelt:

»[T]he driving force behind situation semantics is a commitment to a form of realism, to be specific, to the claim that meaning does not reside in the head or in some mysterious realm but in the interaction of real, living things and their actual environment. This is not an original idea. What is new is the attempt to use it as a basis for a formal theory of meaning and information.«¹⁷⁹⁸

Diese Sichtweise korrespondiert nicht nur allgemein mit Wittgensteins (1921) Tatsachen, Fakten oder Sachverhalten, sondern lässt einen Ansatzpunkt erahnen, der für die Erschließung komplexer Welten geeigneter ist als jener des klassischen CM- und AI-Verständnisses. Mit Lambert (2001) gelangt man jenseits der Objektanalyse von der Situationssemantik über die *Situationsanalyse* zur herausragenden Bedeutung *prozessual verstandener Ereignisse*, und damit letztlich zu jener *Prozessontologie*, die in Pkt. 6.1.1 grundsätzlich, in Pkt. 5.7 mit Blick auf einzelne Ansätze und schließlich in Pkt. 4.2 in der techno-wissenschaftlichen Originalfassung als Prozessmetaphysik behandelt wird:

»Object assessments assess a *world of objects*. Situation assessments assess a *world of facts* – almost! When engaging the world, we *rarely* attend to individual *facts in isolation*. Typically we form mental snapshot pictures of the world over some limited time frame and region, and in assessing this picture we are naturally inclined to represent it as a *collection of facts*. I term these collections of facts, *events*. We are also inclined to associate collections of these events when comprehending the world. These *collections of events* I term *scenarios*. The term *situation* is applied to mean an *event or a scenario*.«¹⁷⁹⁹

Bei genauerer Reflexion wird deutlich, dass in einer solchen prozessontologischen Konzeption mit entsprechend prozessualer Auffassung von Objekten ein sehr viel geeigneterer Zugang zu den Diskursuniversen der Informatik gegeben ist. Dies gilt nicht nur mit Blick auf *technologische* Ontologien etwa im Robotik- resp. CPS-Kontext, sondern auch im Hinblick auf *wissenschaftliche* Ontologien. Gerade für letztere erscheint es sinnvoll, sich konsequent auf Tatsachen, Fakten oder Sachverhalte zu fixieren, und diese in Form von Ereignissen resp. Prozessen zu operationalisieren. Zur Erschließung *technologischer* wie

¹⁷⁹⁶ Vgl. Barwise (1989: xiv): »"Situation" is our name for those portions of reality that agents find themselves in, and about which they exchange information«.

¹⁷⁹⁷ Vgl. Barwise (1981).

¹⁷⁹⁸ Barwise (1989: 51).

¹⁷⁹⁹ Lambert (2001: 547), ohne Hvh. des Orig.; Hvh. des Verf.

wissenschaftlicher Sachverhalte in Diskursuniversen erscheint eine Orientierung an angeblich selbstidentischen Dingen resp. Objekten im Sinne von Popper/Eccles (1977) wie Prigogines (2000b) mehr als überholt. Denn die Welt, mit der es alle Automaten und alle Agentenklassen zu tun haben, ist eine Welt unauflösbaren Wandels.¹⁸⁰⁰

In der Interaktion von Cyber-physischen Systemen (CPS) mit ihrer Umwelt kann es kaum geeignet erscheinen, diese von vornherein im Sinne selbstidentischer Dinge resp. Objekte nach Denkart der Substanzontologie modellieren zu wollen. Vielmehr gilt es, die Diskursuniversen grundsätzlich so zu verstehen, dass CPS resp. autonome Roboter in diese auch maßgeblich eingreifen können. Damit sind Situationen und ihre Kontexte maßgeblich, und keine "furnished rooms". Für die AI-Disziplin kann es gewiss auch um selbstidentische Dinge gehen, nur sind diese weder primär noch nach den Identitätsbedingungen der Substanzontologie zu verstehen. Fast die gesamte AI-Ontologie ist somit grundsätzlich falsch orientiert und für die eigentlichen AI-Zwecke unhaltbar. Das gilt unso mehr, als CPS nicht etwa nur passiv UoD-Ereignisse rezipieren, sondern etwa in Form mobiler Robotik physisch kausal auf die ontische Sphäre einzuwirken verstehen. CPS schaffen also neue reale Fakten, neue synthetische Entitäten und generieren selbst in ihrer aktiven Umwelt-Interaktion einen neuen Ereignisstrom. Entsprechend erscheint es mit Lambert (2001) insgesamt sinnvoll, nicht *Situationen* und *Kontexte* ihrerseits als *Ereignisse* und insgesamt als *Prozesse* zu verstehen. Jedes Diskursuniversum ist ein Whiteheadsches *aktives Universum*; damit gründet alles auf der Ereigniskategorie und steht alles in *Event Streams*.

Somit setzen auch U-PLM-Systeme als Integrationsplattform auf Grundlage ihrer Cyber-physischen Systeme und ihres *Sense-and-Respond Model* letztlich eine *prozessmetaphysische* Grundlegung voraus, mit der auch sie Teil des *aktiven Universums* sind. Eine solche *prozessmetaphysische* Grundlegung, wie sie in Pkt. 4.2 umrissen wird, ist dabei nicht nur im Rahmen der konzeptuellen Modellierung CPS-relevanter Diskurswelten von besonderer Bedeutung, sondern im Sinne der Prozessintelligenz gerade auch zur Fundierung der AI-Ontologie. Entsprechend wird ein solch *prozessmetaphysisches* Ontologieverständnis nicht nur bereits mit Blick auf die konzeptuelle Modellierung gefordert, sondern auch im speziellen AI-Kontext von verschiedener Seite vertreten.¹⁸⁰¹ Dabei ist die Situationssemantik von Barwise/Perry (1983), die mit Lambert (2001) immer *ereigniszentriert* ist, für CPS insofern kennzeichnend, als für diese im Zeichen ihrer Prozessintelligenz nicht nur die *Situation Awareness* (SAW) ontologisch grundlegend ist, sondern auch der *Kontext einer Situation* berücksichtigt werden muss.¹⁸⁰² Offenbar sind nicht nur *Situation Awareness* (SAW) und *Context Awareness* (CAW) engstens verbunden, sondern beides läuft im Sinne von Lambert (2001) sowie Russell/Norvig (2004) auf einen *Ereigniskalkül* hinaus.

¹⁸⁰⁰ Vgl. hierzu auch Prigogine (1981a: xiii): »The discovery of the evolving patterns of the universe in the large, of the instability of elementary particles in the small, of a multitude of processes of self-organization on the atomic or molecular level, has indeed shattered our intellectual security. The basic laws of the world in which we are living can no longer be taken for granted«.

¹⁸⁰¹ Vgl. etwa Nowak (2001), Lambert/Scholz (2007) sowie Dawson (2011).

¹⁸⁰² Vgl. Nadoveza/Kiritsis (2014).

Mit dem primären Stellenwert, den eine kombinierte Situations- und Ereignissemantik für Cyber-physische Systeme bzw. für den AI-Kern der Informatik besitzt, wird deutlich, dass die Disziplin mit Ding-, Substanz-, oder Objektontologien einerseits und der deskriptiven Metaphysik andererseits falsch beraten ist. Vielmehr weist er auf die dritte AI-Generation, der auf Basis der Prozessmetaphysik ein *postklassisches AI-Verständnis* zugrundeliegt.

Wie bereits mit Pkt. 3.2.2 im Zusammenhang mit dem *postklassischen CM-Verständnis* deutlich geworden ist, läuft McCarthys (1995) "*general world view*" unter Voraussetzung Cyber-physischer Systeme (CPS) notwendig auf eine Ontologiekonzeption hinaus, die sich an der *Theorie komplexer Systeme* orientiert. Das geschieht in ersten AI-Ansätzen auch bereits,¹⁸⁰³ ist jedoch für die AI-Disziplin im Ganzen noch nicht konstituierend. Das betrifft vor allem das Ontologieverständnis der ersten AI-Generation, das auf Ding-, Substanz-, oder Objektontologien bzw. der deskriptiven Metaphysik aufbaut. Indem CPS AI-basierte Systeme darstellen, die im MAS/CAS-Sinne durch Agenteninteraktionen geprägt sind, sollte das *postklassische AI-Verständnis* systematisch auf der Komplexitätsforschung aufbauen. Das gilt umso mehr, als adaptierende und stetig lernende intelligente Agenten zu ständig neuen Interaktionsmustern führen, mit denen sich die Ordnungsmuster des Systems verändern. Eine solche systematische Orientierung bietet sich nicht nur mit Blick auf die Struktur resp. Strukturierung komplexer Diskurswelten an, sondern auch AI-methodisch, wenn die postklassische AI maßgeblich auf agenten- bzw. multiagentenbasierten Systemen aufbaut.¹⁸⁰⁴ Diese sind gleichzeitig als Prototyp *komplexer adaptiver Systeme* (CAS) zu verstehen. Dieses Argument lässt sich dadurch untermauern, dass moderne Ontologiekonzepte, die etwa mit Poole/Mackworth (2010) bereits in Richtung des postklassischen AI-Verständnisses tendieren, auch im Denkschema der ersten AI-Generation genau in diesem Sinne verfahren: Sie setzen auf *agentenbasierte Systeme* und behandeln diese entsprechend explizit als *komplexe adaptive Systeme* (CAS), wie sie mit Holland (2006) in Pkt. 4.3 näher umrissen werden. Dass das AI-Konzept von Poole/Mackworth (2010) auch sonst in Richtung des postklassischen AI-Verständnisses geht, wird anhand folgender sieben Punkte ersichtlich: (i) es gründet auf ontologiebasierter Wissensrepräsentation,¹⁸⁰⁵ (ii) behandelt Komplexitätsdimensionen,¹⁸⁰⁶ (iii) thematisiert qualitative vs. quantitative Repräsentationen,¹⁸⁰⁷ (iv) folgt einem Indeterminismus im Sinne der Annahme einer "offenen Welt",¹⁸⁰⁸ (v) beruht auf SWT wie XML oder OWL,¹⁸⁰⁹ (vi) bezieht schließlich die AI-Ontologien auf

¹⁸⁰³ Vgl. etwa insbes. unter *Interoperabilitätsgesichtspunkten* Tolk et al. (2009).

¹⁸⁰⁴ Bspw. lässt sich hier auch auf das *NK-Modell* Kauffmans (1996, 2003, 2004) zurückgreifen, das ebenfalls agentenbasiert ist und insbesondere auch auf Adaptionsprozesse abstellt.

¹⁸⁰⁵ Vgl. Poole/Mackworth (2010: 11 ff.).

¹⁸⁰⁶ Vgl. Poole/Mackworth (2010: 19, 625).

¹⁸⁰⁷ Vgl. Poole/Mackworth (2010: 52 ff.).

¹⁸⁰⁸ Vgl. Poole/Mackworth (2010: 193).

¹⁸⁰⁹ Vgl. Poole/Mackworth (2010: 564 ff.).

die *Top-level Ontologie* als universaler Referenzebene,¹⁸¹⁰ (vii) und gründet im Rekurs auf die BFO-TLO schließlich auf einem zumindest realitätsorientierten Ontologieverständnis.

Insofern das Ontologiekonzept von Poole/Mackworth (2010) gleichzeitig mit ihrer Ontologiedefinition auf einem *linguistischen* und im Rekurs auf die BFO-TLO auf einem *realitätsorientierten* Ontologiekonzept gründet, wird offenbar, dass die AI-Disziplin eines doppelten Existenzverständnisses bedarf. Tatsächlich ist die im vorherigen Pkt. 3.2.2 im Zeichen realistischer resp. linguistischer Ontologiekonzepte vorgenommene Differenzierung zwischen *realer* und *definitorischer Existenz* nicht nur für die konzeptuelle Modellierung von zentralem Belang, sondern natürlich gleichermaßen für die AI-Disziplin. Denn das postklassische AI-Verständnis bewegt sich insbesondere in CPS-Kontexten nicht nur in *Denkwelten*, sondern in erster Linie in *Realwelten*, mit denen CPS in umfassender Interaktion stehen. Spätestens dann wird deutlich, dass sich Poole/Mackworth (2010) zwar in die richtige Richtung bewegen, ihr eklektizistischer Ansatz aufgrund fehlender systematischer metaphysischer Fundierung dennoch nur in sich vielfach widersprüchliche Stückwerktechnologie bleiben kann. Diese Widersprüche bestehen etwa insofern, als die Komplexitätsperspektive mit der deskriptiven Metaphysik inkompatibel ist, Grubers Ontologieverständnis mit jenem von Smith inkompatibel ist, und beide mit Cyber-physischen Systemen inkompatibel sind. Darüber hinaus orientiert sich die Agentenadaption an Situationen bzw. Ereignissen, um die es weder in der Ontologiekonzeption Grubers noch in jener Smithens in der erforderlichen Weise geht. Richtig verstanden setzt diese eine kombinierten Situations- und Ereignissemantik voraus, die ihrerseits im cyber-physischen Sinne in einem exklusivistischen Vierdimensionalismus samt reproduzierenden Ordnungsmustern gründet.

Gilt es, die verschiedenen relevanten Weltmodelle als kohärentes Ganzes universal zu konzipieren, empfiehlt sich eine direkte wie systematische Orientierung an der Komplexitätsforschung. Relevant ist dabei vor allem jene digitalistische Strömung, die ihrerseits dem postklassischen AI-Verständnis verpflichtet ist. Das gilt etwa für Bibel (2004, 2006, 2007) oder für Mainzer (1990, 2002b, 2006a, 2014b), indem hier AI-Fragen mit solchen der Komplexitätsforschung methodisch verbunden werden. Vor allem bei Mainzer ist das postklassische AI-Verständnis insofern angelegt, als das, was McCarthy (1995) als "*general world view*" fordert, richtig verstanden wird. Denn die Strukturen sämtlicher Diskursuniversen, die für Natur, Wirtschaft und Gesellschaft wie auch für artifizielle Welten Gültigkeit besitzen, werden hier im Sinne des Leibnizprogramms konzipiert.¹⁸¹¹ Im postklassischen Verständnis konzeptueller Modellierung, bei dem Diskurswelten *universal* im Sinne *komplexer Systeme* zu erschließen sind, ist die *Theorie komplexer Systeme* im Sinne eines neuen *Einheitsparadigmas der Informatik* zu verstehen, das im Leibniz-Whiteheadschen Sinne auf ihr eigentliches Ursprungsparadigma zurückweist. Allein auf ihrer Grundlage ist dieses *postklassische CM-Verständnis* mit dem *postklassischen AI-Verständnis* in einem

¹⁸¹⁰ Vgl. Poole/Mackworth (2010: 573 ff.).

¹⁸¹¹ Vgl. hierzu etwa Mainzer (1978, 1992b, 1994a, 1994b, 1999b, 2000a) sowie Mainzer/Chua (2012).

Guss zu verbinden. Mainzer (1990, 2002b, 2006a, 2014b) läutet dabei das *postklassische AI-Verständnis* der dritten AI-Generation selbst maßgeblich mit ein. Bereits Mainzer (2006a) stellt die Notwendigkeit heraus, zwischen dem klassischen AI-Verständnis und einem *neuen AI-Verständnis* zu differenzieren, das hier als *postklassisches AI-Verständnis* bezeichnet wird.¹⁸¹² Im Gegensatz zur zweiten AI-Generation gründet Mainzers *neues AI-Verständnis* auf der richtigen Metaphysik, der Digitalmetaphysik, die seit jeher mit dem Komplexitätsgedanken in Verbindung steht, allerdings erst mit Whitehead (1929a) im Interaktionssinne richtig herausgearbeitet wird. Dieses *neue, postklassische AI-Verständnis* ist mit Mainzer (2006a, 2014b) im Zeichen von CPS und kognitiver Robotik durch die *Selbstorganisation von Kreativität* und *kontrollierte Emergenz* gekennzeichnet, wie es für intelligente Agenten in der dritten AI-Generation insgesamt vorauszusetzen ist. Dabei weist der Selbstorganisationsgedanke jedoch keineswegs auf isolierte Agenten; vielmehr ist immer der *Systemgedanke* im Spiel, wie der mit Mainzer im Zuge der *Theorie komplexer Systeme* zugrunde gelegt wird.

Komplexe Systeme sind im CPST-Hyperspace vielschichtig, indem sich mit diesem der kausale Systemaspekt über alle vier Weltypen erstreckt. In der Whitehead-Popperschen Metaphysik sind der *"cyber-physical space"*, der *"thinking space"* sowie der *"social spaces"* interdependent und der Gedanke *komplexer Systeme* ist somit im Adaptionssinne in dieser Verkopplung zu verstehen: Die CPS-Adaption erfolgt im *"thinking space"* (W2), dieser seinerseits im MAS/CAS-Sinne in *"social spaces"* (W4) eingebunden ist, während sich die kausale Konsequenz darüber hinaus regelmäßig auf den *"cyber-physical space"* (W1-W3) erstreckt. Wesentlich ist dabei, dass die W3-Artefakte bzw. die soziale W4-Welt durch institutionelle Arrangements geprägt ist. Es sind also für alle Agentenklassen jene Institutionen von Relevanz, die etwa auch Searle (2005) im Blick hat. Für die AI-Disziplin ist das deshalb wesentlich, weil zwar alle Diskursuniversen an sich aus der Emergenzperspektive des Selbstorganisationsparadigmas zu begreifen sind, dies jedoch keineswegs impliziert, dass AI-Systeme *per se* auf rein selbstorganisatorischen Steuerungsprinzipien basieren. Es ist richtig, dass der Agentengedanke im Adaptionssinne grundsätzlich mit Selbstorganisation assoziiert ist; als genauso wesentlich erweisen sich jedoch seine systemischen Relationen. Dabei sind diese nicht allein durch die Interaktion und intellektuelle Mächtigkeit des Agenten geprägt, sondern genauso durch das institutionelle Arrangement im Ganzen. IoX-Systeme wie jene des U-PLM-Referenzszenarios zeigen, dass fremd- und selbstorganisatorische Steuerungsprinzipien nicht notwendigerweise einen Widerspruch darstellen. Anhand des IoV-Szenarios und anderer IoX- bzw. AI-Szenarien wird vielmehr deutlich, dass ihre Kombination im Sinne des Wechselspiels von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz eher die Regel ist. Beide Modi stellen also Agentenmodi dar, und gehen jeweils auf das spezifische institutionelle Arrangement zurück. Dieses ist mit dem CPST-Hyperspace in der dritten AI-Generation prinzipiell in jedem AI-Szenario zu be-

¹⁸¹² Vgl. ähnlich Dawson (2011).

rücksichtigen. AI-Infrastrukturen sind auf ED-SOA-Basis über das *Commitment-Based SOA* (CSOA) bei M.P. Singh et al. (2009) hinausgehend entsprechend im MAS-Sinne auszubauen. Institutionelle Arrangements weisen in jeder Agentenklasse jedem Agenten erst jene spezifischen Rechte und Pflichten zu, auf deren Grundlage eine koordinierte Interaktion möglich ist. Das IoV-Szenario wie andere cyber-physische Szenarien offenbaren, dass diese nicht in Echtzeit *ad hoc* zwischen den Agenten aushandelbar ist. Dass Agenten auf Basis institutioneller Arrangements bzw. auf ED-SOA-Infrastrukturen operieren, wird in der ersten und zweiten AI-Generation mehr oder weniger vollständig übersehen.

Sind *komplexe Systeme* nun real? Ist ein *prozessualer Strukturenrealismus* zu fordern, wie ihn Earley (2006, 2008) als Neo-Whiteheadschen *Process Structural Realism* (PSR) ins Spiel bringt? Ist die Komplexitätsforschung, die im Allgemeinen bewusst als *mathematisch methodologisches* Forschungsprogramm verstanden wird,¹⁸¹³ entsprechend notwendig in seiner metaphysischen Wurzel im Sinne Whiteheads (1929a) zu verstehen? Man kann darauf zwei Antworten geben: erstens jene, die die universale Anwendbarkeit der Komplexitätsforschung auch in jenen Paradigmen beibehält, die jenseits einer metaphysischen Sichtweise liegen. Insofern lässt sie sich sowohl mathematisch als auch empiristisch als Methodologie rechtfertigen und ist universal quer durch alle Paradigmen anwendbar. Aus unserer Sicht liegen die Dinge jedoch in dreifacher Hinsicht anders. Das betrifft erstens am wenigsten die Position H. Posers (2005), der den eigentlichen Ursprung der Komplexitätsforschung in fundamentaler Hinsicht der Komplexitätsmetaphysik Whiteheads zuschreibt. Vielmehr verlangt zweitens jede tiefere Analyse komplexer Systeme in aller Regel mehr als das Voraussetzen eines mathematischen Strukturalismus. Denn zunächst einmal ist die kausale Struktur des komplexen Systems an sich zu verstehen, wobei der CPST-Hyperspace zeigt, dass durchaus verschiedene Komplexitätsebenen kausal miteinander verkoppelt sein können. Insofern kommt jede tiefere Analyse komplexer Systeme nicht um das Setzen umfänglicher metaphysischer Dispositionen umhin, die die Grenzen einer rein mathematischen bzw. empirischen Analyse sprengen. Vielmehr sind etwa in Bezug auf die Adaption der Automaten, in Bezug auf ihre Intelligenz usf. umfassende Voraussetzungen erforderlich, die auf die Leibniz-Whiteheadsche *Metaphysica* weisen. Drittens lässt die Komplexität im CPST-Hyperspace eine Umkehrung der Fragestellung zu: sind *Cyber-physische Systeme* (CPS) real? Sind diese real, dann sind auch komplexe Systeme, zumindest was den CPST-Hyperspace betrifft, als real zu setzen. Sie sind real, indem sie mit dem *Prinzip kausaler Wirksamkeit* real sind, und weil sie in spezifischer technologischer Gestaltung in die Realität einbettbar sind, in anderer hingegen nicht. D.h. sie können technologisch genauso an der Realität scheitern, wie auch Theorien im Sinne der Fallibilität an der Realität scheitern können. Insofern ist allgemein von einem metaphysischen Realismus im Kantischen Sinne des Zensoramts der Metaphysik auszugehen. Genauso sind komplexe Systeme in der dritten AI-Generation im Sinne eines *prozessualen Strukturen-*

¹⁸¹³ Vgl. Mainzer (2007a: 434).

realismus als reale Strukturen zu begreifen. Indem komplexe Systeme jedoch genauso auf Basis rein virtueller bzw. fiktiver Systeme denkbar sind, bleibt das methodologische Selbstverständnis der Komplexitätsforschung davon unberührt.

Während die Informatik ohne den Gedanken *komplexer Systeme* nicht sachgerecht aufsetzbar ist, ist diese umgekehrt auch für die Komplexitätsforschung wesentlich. Das gilt zumindest für jene Hauptströmung, die letztere etwa mit Pagels (1988) oder Casti (1997) als echte Computerwissenschaft begreift. Insofern besteht dann eine gewisse Interdependenz, die insbesondere den AI-Kern der Informatik und damit insbesondere die dritte AI-Generation betrifft. In dieser Sicht kommt die Komplexitätsforschung erst auf Basis der Verbindung von *postklassischem CM-Verständnis* und *postklassischem AI-Verständnis* richtig weiter. Insofern das *postklassische CM-Verständnis* notwendig einer *realistisch-metaphysischen Top-level Ontologie* bedarf, auf die gleichzeitig das *postklassische AI-Verständnis* referenziert, wird die *Cyber-Physical Ontology* (CYPO) für die Komplexitätsforschung zur Option: Wenn diese alle modernen Technologien und Wissenschaften tatsächlich begründet, benötigen diese eine mit ihr korrespondierende ausdifferenzierte *Ontologie des Wissens*, wie sie mit der in Pkt. 3.5 erörterten integrierten CYPO-Ontologiearchitektur für den CPST- bzw. IoX-Hyperspace eröffnet wird. Mit anderen Worten ist eine an der Komplexitätsforschung orientierte Technologie- und Wissenschaftspraxis unvollständig ohne die Realisierung einer entsprechenden Einheit des Wissens bzw. einer Einheit der Erkenntnis, wie sie insbesondere Mainzer im Sinne Leibnizens fordert.

Ein ausschließlich erkenntnistheoretischer Zugang zur Ontologie greift für Cyber-physische Systeme resp. die kognitive Robotik genauso wie für die *Smart Enterprise Integration* entschieden zu kurz. Auch wenn für ein modernes *agentenbasiertes AI-Verständnis* das kognitive wie epistemische Moment natürlich an sich unerlässlich ist. Das Problem besteht vielmehr darin, dass im Grunde der Großteil der AI-Protagonisten nach wie vor *einseitig* dieser Art von Ontologie verpflichtet sind. Sie sind dem Irrtum erlegen, dass die AI-Disziplin im Wesentlichen auf subjektives Wissen gründet, wie es die *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) der AI-Anfänge bereits indizieren. So beziehen etwa Brachman/Levesque (2004: 32) die AI-Ontologie – ganz im Sinne Grubers (1993, 1995) – auf den *subjektiven* Erkenntnisprozess einzelner Agenten, womit sich dieser auf entsprechend *denkabhängige Entitäten* erstreckt, nämlich auf jene »kinds of objects that will be important to the agent, the properties those objects will be thought to have, and the relationships among them – before we can start populating our agent’s KB«. ¹⁸¹⁴ Solche *denkabhängigen* Entitäten beziehen sich dabei regelmäßig auf ein *definitorisches* Existenzverständnis, und damit wird die klassische AI-Ontologie unversehens zur *epistemologischen* Ontologie, die beliebige Diskursuniversen im Sinne einer *Mögliche-Welten-Semantik* adressiert. Diese Position besagt also, dass intelligente Agenten subjektiv agieren und dazu ebenso subjektive Onto-

¹⁸¹⁴ Gruber steht dabei indessen gerade *nicht* im Zeichen der *relativistischen Ontologie* Quines (1968), weil dieser solchen mentalen Objekten keinen Wert einräumt.

logien benötigen, die nicht im klassisch ontologischen, sondern vielmehr im epistemologischen Zusammenhang stehen. Allerdings werden damit sowohl die systemischen Zusammenhänge übersehen, in denen Agenten stehen, als auch jenes Wechselspiel, auf das es mit lokaler, regionaler und globaler Intelligenz gerade ankommt. In diesem Sinne ist mit Poole/Mackworth (2010: 549 ff.) auch zu berücksichtigen, dass Ontologien einen wesentlichen *Mechanismus zur Wissensteilung* darstellen, wie er für Multiagentensysteme unverzichtbar ist. Das aber setzt zum einen Schritte zur Objektivierung subjektivistischer Ontologien voraus, was allein durch den Rückgriff auf andere Wahrmacher (Truthmaker) möglich wird, als sie im Modus subjektiven Wissens zum Einsatz gelangen. Zum anderen ist mit der Objektivierung impliziert, dass es noch andere Ontologietypen des Wissens resp. entsprechende Ontologietypen gibt, wie sie in Pkt. 3.5 im Rekurs auf Poppers (1959, 1967, 1972a, 1978a, 1994c, 1994d) Gesamtsystem konzipiert werden.

Auch Hirst (1989, 1991) erkennt die Mängel der Existenzannahmen in der Wissensrepräsentation, die dem ILP-Typus der Russell-Quine Ontologie fälschlicherweise zugeschrieben worden sind: Mit der mathematischen Logik lässt sich zwar alles als existent voraussetzen, was jedoch zählt sind im Sinne des Quineschen Naturalismus bzw. Empirismus die Fakten. Insofern bestehen wesentliche Unterschiede zu jenen auf dieser Basis entwickelten möglichen Welten, wie sie beim Quine-Schüler D.K. Lewis (1986b) jenseits Quines entwickelt werden. Im Grunde ist es diese Denkschule, auf der das Ontologieverständnis Grubers (1993) letztlich steht: Alles ist vollkommen beliebig repräsentierbar, was nur auf den ersten Blick als vorteilhaft erscheinen kann. Tatsächlich aber handelt es sich in Bezug auf die meisten Wissensrepräsentationen um einen vollkommen unzureichenden ontologischen Ansatzpunkt. Das betrifft insbesondere Cyber-physische Systeme (CPS), für die mögliche Welten zwar von Relevanz sind, sich in ihrer Eigenschaft als Smart Embedded Systems jedoch in erster Linie auf die *aktuelle Welt* beziehen. Dieser fehlende systematische Bezug auf die aktuelle Welt markiert einen der großen Schwachpunkte des *klassischen* AI-Verständnisses. Offenbar erfordert eine *Aktuelle-Welt-Semantik* nicht nur die unmittelbare Kopplung mit der konzeptuellen Modellierung, sondern darüber hinaus auch deren Referenz auf eine *realistische* Top-level Ontologie, mit der sich erst die fundamentalen Kategorien aktueller Diskurswelten systematisch begründen lassen.

Die in Pkt. 3.2.2 erwähnte Notwendigkeit zur Aufhebung der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* ist nicht nur für die postklassische konzeptuelle Modellierung, sondern auch für das postklassische AI-Verständnis vorauszusetzen. Denn CPS-Agenten erfordern gerade auch in kognitiver wie epistemologischer Hinsicht ein postcartesisches Weltverständnis, das in Pkt. 6.1.1 näher dargelegt wird. Die oben geschilderte Differenzierung zwischen *realer* und *definitorischer Existenz* wie die These vom Erfordernis eines doppelten Existenzverständnisses der AI-Disziplin laufen in diesem Zusammenhang darauf hinaus, dass sie Seins-Kategorien *und* Denk-Kategorien auch gleichzeitig voraussetzen muss. Bei letzteren handelt es sich um Kantische Kategorien, die unmittelbar mit der linguistischen AI-Ontolo-

gie korrespondieren. Schon Mainzer (2006a: 868) weist darauf hin, dass Kantische Kategorien als konstruktive Schemata zur Repräsentation von Wissen aufzufassen sind; als solche repräsentieren sie »die Tools, die wir vor (a priori) jeder konkreten Wissensrepräsentation voraussetzen müssen«. Tatsächlich ist es Kant, der den Grundgedanken des modernen Konstruktivismus, nachdem »wir unsere Wissensontologien selber entwerfen und bauen«, als erster formuliert hat.¹⁸¹⁵ Allerdings lässt sich dies im Lichte des postklassischen AI-Verständnisses nicht im Sinne eines radikalen Konstruktivismus umdeuten, wie es in der AI-Disziplin verschiedentlich geschieht. Vielmehr sei hier an die Argumente des bereits in Pkt. 3.1 bemühten *internen Realismus* Putnams (1987, 1990) in seiner Eigenschaft als erkenntnistheoretischer Realismus erinnert. Dabei bilden Seins-Kategorien und Denk-Kategorien keinen natürlichen Widerspruch: Denn alle Klassen intelligenter Agenten sind selbst Teil der Diskurswelt; sie sind erkennendes Subjekt und Objekt zugleich und bilden somit Whiteheadsche (1929a) *Subjekt-Superjekte*. Entsprechend gilt das an Whitehead angelehnte Diktum: »The perceiver's percepts are within nature«. ¹⁸¹⁶

3.2.4 Semantisch interoperable IoX-Systeme und Konvergenz der Ontologien

»But the pursuit of well-defined terms is more than just an attempt at engineering elegance. Yes, it is true that this greater degree of rigor will improve the interoperability of systems [...]»

— Steven R. Ray (2002: 66)

Superintelligenz im Sinne globaler Intelligenz erfordert semantisch interoperable Systeme. Globale Intelligenz ist dabei entgegen der Subjekt-Objekt-Dichotomie nicht extern zu denken; sie ist genauso wie lokale und regionale Intelligenz dem IoX-Hyperspace selbst inhärent. D.h. sie wird von den Agenten agentenbasierter Systeme getragen. Dennoch ist sie vollständig anders gehalten als regionale Intelligenz, indem es nicht um eine ad hoc veranlagte induktive Reaktion geht, sondern um eine reflexive Intelligenz, die ein intellektuelles Milieu in Form des Aufbaus einer umfassenden institutionellen Umgebung erforderlich macht. In diese sind prinzipiell alle Agenten eines ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarios einbezogen. Im U-PLM-Referenzszenario sind dies menschliche wie maschinelle Agenten zugleich. Globale Intelligenz meint das gesamte objektive bzw. objektivierte Wissen über ein Diskursuniversum bzw. ein Gesamtsystem durch das System selbst, konkret also durch die in das UoD bzw. System eingebetteten Agenten. Im Fall des Kosmos ist es Kosmologie im Whitehead-Popperschen Sinne, und zwar sowohl im Vollzug, als auch im Ergebnis wie in Voraussetzung dieses Vollzugs. Bei den Diskursuniversen der Informatik verhält es sich keineswegs anders; es kommt lediglich ein bedeutsamer Aspekt zwingend hinzu, der im Whitehead-Popperschen Programm angelegt ist. Das betrifft das Wissen um die technologische Gestaltbarkeit CPST- bzw. IoX-technischer Systeme. Zur Voraussetzung ist vieles zu zählen, was im AI-Kontext neu zu denken ist, etwa die

¹⁸¹⁵ Vgl. Mainzer (2006a: 868); vgl. hierzu ergänzend Bertalanffy (1955b).

¹⁸¹⁶ Vgl. Balz (1934: 283).

Expertise, was gute wissenschaftliche Praxis ausmacht. Das betrifft Details wie die Frage, wie viele sensorische Messpunkte erforderlich sind, um belastbares statistisches Wissen auf IoX-Basis generieren zu können. Denn um solche Aspekte geht es im BDA-Sinne in elementarer Weise. Vor allem betrifft das mit dem zweiten Teil die gesamte *Smart Enterprise Architecture* (SEA) sowie mit ED-SOA die servicebasierte Infrastruktur. Die Fähigkeit zur Selbstreflexion des ganzen Systems durch die Agenten des Systems selbst verlangt entsprechende Kenntnis über alle ontologischen, epistemologischen und methodologischen Belange. Die Agenten müssen also den Unterschied zwischen den Wissensarten genauso verstehen wie methodologische Verfahren usf. Insofern weist jedes IoX-System nicht nur eine umfassende Dimension globaler Intelligenz auf, sondern es wird im Sinne der M2H- bzw. H2M-Interaktion wie der Koexistenz von IoA- und IoP-Subsystem auch offensichtlich, dass es sowohl um menschliche wie maschinelle Agenten geht, die indessen auf den gleichen Fundamenten stehen, also denselben einen "*general world view*" besitzen müssen.

Das Erfordernis einer *Konvergenz der Ontologien* ist jedoch nicht nur durch semantisch interoperable Systeme bedingt, sondern es folgt genauso aus dem dargelegten postklassischen integrierten CM- und AI-Verständnis, wie es für CPS, CPPS und alle modernen kombinierten Informations- und Wissenssysteme zugrunde zu legen ist. Denn es steht außer Frage, dass in diesen beiden direkt zusammenhängenden Bereichen keine disparaten Ontologiekonzepte Verwendung finden können. Das illustriert der industrielle Kontext komplexer U-PLM-Systeme unmittelbar, gilt aber genauso für alle anderen Bereiche. Für die Closed-loop U-PLM-basierte *Smart Enterprise Integration* (SEI) ist eine umfassende semantische Interoperabilität unabdingbar;¹⁸¹⁷ allerdings scheitert diese bisher in ganz grundsätzlicher Weise bereits daran, dass die Informatik weder über eine *integrierte Ontologiekonzeption* noch über einen *einheitlichen Ontologiebegriff* verfügt. Einmal auf die CM-Sphäre, und einmal auf die KR/AI-Sphäre fixierte disparate Ontologiekonzepte stehen einer semantischen Interoperabilität insofern fundamental entgegen, als sie von vollkommen unterschiedlichen meta-ontologischen, epistemologischen wie wissenschaftstheoretischen Annahmen ausgehen. Dessen ungeachtet wird die Ontologiedebatte in beiden Teildisziplinen der Informatik mehr oder weniger isoliert geführt. Eine *integrierte Ontologiekonzeption*, die beide Bereiche umschließt, und die *Top-level Ontologie* als Integrator beider Sphären in den Mittelpunkt rückt, findet sich bisher nicht. Somit lassen sich auch nicht die bestehenden Widersprüche im Ontologiebegriff und Ontologiekonzept auflösen.¹⁸¹⁸ Semantisch interoperable Informations- bzw. Wissenssysteme, wie sie U-PLM-Systeme einfordern, verlangen somit ein rigoroses Umdenken in der Ontologiefrage.

Mit Blick auf semantisch-interoperable Systeme gilt also, dass sich Ontologiekonzepte und Ontologiebegriffe gleichzeitig im Rahmen der konzeptuellen Modellierung wie im Zuge der Wissensrepräsentation zu bewähren haben. Das betrifft damit insbesondere die

¹⁸¹⁷ Vgl. etwa Young/Gunendran et al. (2010), Parrotta et al. (2013) sowie Penciu et al. (2014).

¹⁸¹⁸ Vgl. Guizzardi/Herre/Wagner (2002a), Evermann (2005c, 2009) und Bera/Krasnoperova/Wand (2010).

Top-level Ontologie als grundlegender Referenzebene. Denn semantische Interoperabilität ist natürlich nicht zu erreichen ohne ein geteiltes Verständnis des Diskursuniversums (UoD). Daraus folgt, dass die konzeptuelle Modellierung (CM) und die Wissensrepräsentation (KR) engstens zu verzahnen sind,¹⁸¹⁹ und entsprechend auf *einem* in sich geschlossenen Ontologiekonzept basieren müssen. Konkret bildet die konzeptuelle Modellierung, indem sie das *Universe of Discourse (UoD)* grundlegt, nicht weniger als den domänenbezogenen Ausgangspunkt der Wissensrepräsentation. Damit ist sie gerade bei der Repräsentation realer Welten ein entscheidender Anker, um die faktische Realität in ihren grundsätzlichen Zusammenhängen in ontologiebasierten Informations- resp. Wissenssystemen (ODIS) realitätsgerecht zu repräsentieren.¹⁸²⁰ Diesem Erfordernis zur Verzahnung der CM- und KR/AI-Sphäre wird indessen weder in den relevanten Disziplinen entsprochen, noch werden ihm einzelne Ansätze gerecht. Wie stark die diversen AI-Ontologiekonzepte gegenüber der klassischen Ontologie kontrastieren, ist in der AI-Disziplin nur einem kleinen Kreis bewusst; zumindest wird dieses Problem bisher kaum thematisiert.¹⁸²¹

Analoges gilt für einzelne Ansätze, die schon *in sich* inkonsistent sind: wie im vorausgehenden Pkt. 3.2.3 dargelegt, gründet das AI-Ontologiekonzept von Poole/Mackworth (2010) gleichzeitig auf einem *linguistischen* und mit der BFO-TLO auf einem realitätsgerichteten *philosophischen* Ontologiekonzept. Eine solche unreflektierte Vermengung führt zu einer Vielzahl ontologischer Problemen bzw. semantische Inkonsistenzen, wie es bereits folgende sechs Aspekte offenbaren: Die elementaren Divergenzen beginnen damit, dass (i) für die BFO-basierte AI-Ontologie B. Smithens die *Top-level Ontologie* die alles entscheidende Referenzebene markiert, während für linguistische AI-Ontologien Gruberscher Provenienz eine solche *systematische* TLO-Referenz in keiner Weise angelegt ist.¹⁸²² Sie wird damit den Ansprüchen der *Heavyweight-Ontologie* nicht gerecht, womit sie für AI-Szenarien mit kritischen Prozessen ungeeignet ist. Entsprechend arbeitet die BFO-TLO (ii) in systematischer Weise auf Basis von *Top-level Kategorien*, während es sich bei der Gruberschen Variante um einfache *Klassifikationen* handelt. Daneben verkörpert (iii) die BFO-TLO eine realitätsorientierte Ontologie, die allein auf die *aktuale* Welt zielt, während die Grubersche eine linguistische Ontologie darstellt, die auf der Basis *möglicher* Welten operiert. Erstere zielt auf einen systematischen Realitätsbezug, in letzterer gibt es diesen nicht. Als Wahrmacher stehen sich entsprechend (iv) die *Korrespondenztheorie* bei der BFO-TLO, und die *Konsens- resp. Kohärenztheorie* bei der Gruberschen Ontologiekonzeption gegenüber. Die BFO-TLO ist (v) an *Universalien* orientiert, die Grubersche Ontologievariante beruht hingegen auf *Konzepten*; dabei steht (vi) außer Frage, dass die BFO-TLO einem *immanenten Realismus* verpflichtet ist, was jedoch für die Grubersche Ontolo-

¹⁸¹⁹ Vgl. hierzu Bauman (2009), Guizzardi/Baião et al. (2010) sowie Guizzardi/Zamborlini (2014).

¹⁸²⁰ Vgl. etwa Juristo/Moreno (2000) sowie C.E.H. Chua et al. (2012).

¹⁸²¹ Zwar wird die Heterogenität der Ansätze verschiedentlich diskutiert, vgl. etwa Noy/Hafner (1997) oder Chandrasekaran et al. (1999); allerdings werden nicht die richtigen Schlüsse daraus gezogen.

¹⁸²² Dass Gruber die *Top-level Ontologie* in Form seiner *Content Ontology* als solche am Rande thematisiert, ist hier nicht entscheidend.

gie nicht zutreffen kann. Jenseits des *Universalienstreits* folgt die BFO-TLO strikt einem *methodologischen ontologischen Realismus*, und auch in dieser Sache kann die Grubersche (1993) Ontologievariante nicht konform gehen, weil sie deutlich im Zeichen eines *konstruktivistischen Wissensbegriffs* steht. Dieser erinnert gar an die *viablen Begriffsstrukturen* von Glasersfeld (1992),¹⁸²³ die sich mit Gruber (2004) in einem zweiten Schritt zum "treaty" bzw. "social agreement" erklären lassen.¹⁸²⁴ Insgesamt steht außer Frage, dass diese Unterschiede eine *wissensrepräsentationale Inkommensurabilität* bedeuten, die mit dem Ziel einer semantischen Systemintegration offenbar ganz grundsätzlich konfligiert. – Dem Umstand, dass Grubers und Smithens Ontologiekonzepte inkompatibel sind, trägt zumindest Smith Rechnung, indem er das Grubersche Ontologiekonzept zu Recht entsprechend scharf attackiert.¹⁸²⁵ Auch bedarf es keiner weiteren Ausführungen um festzustellen, dass eine Kombination etwa von Domänenontologien, die nach Maßgabe der BFO-TLO entwickelt werden, mit solchen, die dem Gruberschen Standard entsprechen, in automatisierten Informations- und Wissenssystemen bei kritischen Prozessen in verteilten Umgebungen kaum dauerhaft stabil sein können. Genauer besehen ist von einer solchen Kombination, wie sie sich bei Poole/Mackworth (2010) findet, abzuraten: Zwischen diesen Ontologieansätzen besteht eine tiefgreifende Inkommensurabilität, die sich nicht heilen lässt.

Die gegenwärtige Situation konkurrierender Ontologiekonzepte muss für die Informatik auch deshalb als völlig inakzeptabel erscheinen, weil inkommensurable Ontologien vor allem auch in der Kombination wissenschaftlicher und technologischer Ontologien fatale Konsequenzen nach sich ziehen können. Das betrifft im U-PLM-Referenzszenario etwa die ontologiebasierte Prozesssteuerung komplexer Systeme. Dabei besteht die Problematik insbesondere darin, dass komplexe Systeme in der Dynamik ihrer Prozesse nur begrenzt durchschaubar sind; sie setzen mit Prigogine (1993a) und Mainzer (2009a) allen Klassen intelligenter Agenten deutliche epistemologische Grenzen. Weder sind die Folgewirkungen von Inkommensurabilitätsproblemen prognostizierbar noch ist auszuschließen, dass sich selbstverstärkende Aufschaukelungsprozesse zu unkalkulierbaren Effekten mit entsprechenden Risiken führen, wie es chaostheoretische Analysen aufzeigen. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist in Bezug auf Konzept- wie Implementierungsfragen entspre-

¹⁸²³ Diese *viablen Begriffsstrukturen* implizieren ein entsprechendes *Wahrheitskonzept*; Produkte der Reflexion und Deduktion müssen sich im Erfahrungsbereich lediglich als *viabel* erweisen, um als "Wahrheit" angesehen werden zu können, vgl. Glasersfeld (1992: 28): »Der Konstruktivismus gibt die Forderung auf, Erkenntnis sei 'wahr', insofern sie die objektive Wirklichkeit abbilde. Statt dessen wird lediglich verlangt, daß Wissen *viabel* sein muß, insofern es in die Erfahrungswelt des Wissenden *passen* soll«, vgl. Glasersfeld (1992: 30). Offensichtlich gilt diese Art von Wahrheitskonzept auch für Wyssuseks (2006b: 143) "*fairy ontology*", die nicht ohne Grund auf dem Ontologiekonzept Grubers (1993) aufbaut.

¹⁸²⁴ Solche *viablen Begriffsstrukturen* zielen allein darauf, dass sie in die Erfahrungswelt *des kognizierenden Subjekts* passen, vgl. Glasersfeld (1992: 27); sie stehen als solche zumindest nicht im Widerspruch zu Grubers (1993: 199) definitorischer Existenz: »what 'exists' is exactly that which can be represented«, allenfalls zu Grubers (2004) späterem, *sozialen Konsens* verpflichteten Ontologieverständnis. Das aber auch dann nicht, wenn man Glasersfelds (1992: 27) Subjekt nicht im Singular, sondern im Plural versteht, also im Sinne von *paradigmatisch geteilten Erfahrungswelten von Subjekten*, die sich allerdings regelmäßig als *paradigmatisch inkommensurabel* erweisen.

¹⁸²⁵ Vgl. etwa B. Smith (2004, 2008b).

chend unter das Regime der *Theorie komplexer Systeme* zu stellen, die selbst als Technologie zu verstehen ist. IoX-Systeme bilden nicht nur sachlogisch wie realphysisch komplexe Systeme, sondern mit ihren semantischen Relationen gerade auch in ontologischer Hinsicht selbst. Dies gilt nicht nur im Hinblick auf komplexe Entitäten oder auf komplexe Ontologien insgesamt, sondern gerade auch mit Blick auf die *Kombination* von Ontologien, die genauso wie die Zahl der Ontologien an sich stetig zunehmen wird. Dabei stellen sich die Komplexitätsprobleme vor allem mit Blick auf die in Pkt. 4.3 erörterte Varietät, wenn also Ontologien heterogener Ontologiekonzepte miteinander kombiniert werden. Semantisch vollumfänglich interoperable Informations- und Wissenssysteme müssen vor diesem Hintergrund insgesamt notwendig zu einer *Konvergenz der Ontologien* führen, die für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* dementsprechend zum Postulat zu erheben ist. Die in Pkt. 3.2.3 thematisierten Ontologiekonzepte der KR/AI-Sphäre lassen sich also nicht von jenen der in Pkt. 3.2.2 behandelten der CM-Sphäre isolieren. Das gilt allen voran insbesondere für die *Top-level Ontologie*, weil sie gerade in ihrer Eigenschaft als universale Referenzbasis beide Sphären miteinander verbindet und sich im Sinne der IoX-Adäquanz somit in beiden Sphären zu bewähren hat.

Erst auf einer einheitlichen Ontologiebasis können beide Bereiche unmittelbar ineinander übergehen. Dabei besteht das Erfordernis einer solch engen Verzahnung bei modernen Informationssystemen im Grunde immer, weil sie bei gängiger Prozessintelligenz *kombinierte* Informations- und Wissenssysteme (IKS) darstellen.¹⁸²⁶ Mit Pisanelli et al. (2002: 125) basieren sie immer auf Ontologien; es handelt sich also um *Ontology-Driven Information Systems* (ODIS). Es steht außer Frage, dass das Erfordernis einer solch engen Verzahnung mit steigendem Automatisierungsgrad bei kritischen Prozessen zunimmt, wie er insbesondere bei komplexen PLM-relevanten Integrationsszenarien wie jenem der Smart Factory gegeben ist. Es liegt in der Natur der *Smart Enterprise Integration* (SEI) auf Basis verteilter Closed-loop U-PLM-Systeme, dass ein möglichst hoher Interoperabilitäts- und AI-bezogener Automatisierungsgrad anzustreben ist. Für sie ist eine solche Verzahnung von CM- und AI-Sphäre entsprechend zwingend vorauszusetzen. Damit zeigt sich schließlich, dass die *Integration der Ontologiekonzepte der KR/AI-Sphäre und der CM-Sphäre* zusätzlich auch eine *Vereinheitlichung des Ontologiebegriffs von Informatik und Philosophie* bedeutet. Das nicht nur, weil sich eine allgemeingültige CM-Ontologiekonzeption letztlich notwendig auf eine *realistische Top-level Ontologie* im philosophischen Sinne bezieht,¹⁸²⁷ sondern auch, weil die für die KR/AI-Ontologiekonzeption erforderliche *Ontologie des Wissens* im Popperschen Sinne auf ein metaphysisches Ontologie- und Epistemologieverständnis hinausläuft. Dieses Erfordernis wird in Pkt. 3.3 sowie Pkt. 3.3.2 näher erörtert; viele AI-Vertreter vertreten eine dazu gegenteilige Auffassung, die jedoch selten qualifiziert begründet wird. Das überrascht insofern nicht, als eine solch gegenteilige

¹⁸²⁶ Vgl. hierzu etwa Lim et al. (2011).

¹⁸²⁷ Vgl. hierzu auch Evermann (2005c).

Auffassung vor dem Hintergrund des CPSS-adäquaten *postklassischen AI-Verständnisses* keine Gültigkeit mehr beanspruchen kann. Vielmehr erklärt sie sich allein aus dem defekten *klassischen AI-Verständnis* auf Basis naiver linguistischer Konzepte, die letztlich an den realen Anforderungen Cyber-physischer Systeme (CPS) scheitern. Indessen impliziert eine semantische CPS-Interoperabilität sehr viel mehr, nämlich eine im Sinne höherer Informationsfusion (HLIF) auf die gesamte *Natur des Wissens* abstellende Wissensontologie als integrierte Ontologiekonzeption. Bei dieser muss eine volle Durchgängigkeit und Interdependenz aller Wissenswelten gegeben sein. Diese ist für vollautonome AI-Systeme genauso unerlässlich wie für ontologiegestützte Innovationsprozesse bzw. optimierte Produktlebenszyklen. Eine solche *Ontologie des Wissens* wird als integrierte Ontologiekonzeption in Pkt. 3.5 in Form von CYPO FOX umrissen.

Das weitaus grundsätzlichere Problem besteht indessen darin, dass jenseits der unten genannten Ausnahmen auf breiter Front der Informatik nicht einmal die Notwendigkeit zu einer solchen Integration von konzeptueller Modellierung (CM) und Wissensrepräsentation (KR) gesehen wird. Tatsächlich haben die Ontologiekonzepte in der CM-Sphäre heute kaum etwas mit jenen der KR/AI-Sphäre zu tun. Das liegt in der Historie beider Bereiche begründet, die sich unabhängig voneinander entwickelt haben: Einerseits zielt die konzeptuelle Modellierung historisch gesehen auf Informationssysteme, die noch nicht AI-ontologiegestützt waren und insofern auch nicht zwingend eines unmittelbaren Übergangs zur Wissensrepräsentation bedurften. Andererseits besitzt die Wissensrepräsentation ihren Ursprung wie erwähnt in *Überzeugungssystemen* (Belief Systems), die zunächst auf den experimentellen Nachweis der Möglichkeit von Künstlicher Intelligenz *überhaupt* fixiert waren,¹⁸²⁸ kaum bereits auf ihren realen CPS-Praxiseinsatz in komplexen Systemen. Hinzu kommt die hochproblematische Konsequenz der falschen Metaphysik, indem in der deskriptiven Metaphysik eine umfassende Auseinandersetzung mit der Realität an sich nicht angedacht ist. Denn das liefe auf die revisionäre Metaphysik hinaus. Dieser wird vielmehr die unhaltbare *Harmonie-These* entgegengesetzt, auf der wiederum die verschiedenen Spielarten eines linguistischen bzw. sprachphilosophischen Ontologieverständnisses vollständig oder zumindest wesentlich aufsetzen.

Somit erklärt es sich, dass selbst in jüngerer Zeit viele AI-Vertreter keine zwingende Verbindung zwischen der Wissensrepräsentation und der konzeptuellen Modellierung sehen, was nicht zuletzt im direkten Zusammenhang mit dem populären linguistischen Ontologieverständnis Grubers steht. Tatsächlich arbeiten anerkannte AI-Vertreter wie Gensereth/Nilsson (1987), Gruber (1993, 1995) oder Poole/Mackworth (2010) zwar mit *Konzepten* bzw. *Konzeptualisierungen*,¹⁸²⁹ diese stehen aber mit der linguistischen AI-Ontologie in aller Regel im Zeichen des auf Ogden/Richards (1923) zurückgehenden und durch Ullmann (1962) modifizierten *semiotischen Dreiecks der Linguistik*, nicht aber im real-

¹⁸²⁸ Vgl. exemplarisch Feigenbaum/Feldman (1963).

¹⁸²⁹ Vgl. hierzu näher Pkt. 3.3.2.

weltlichen Zeichen der *konzeptuellen Modellierung*, an die sie keinen Gedanken verlieren. Demgegenüber spielt diese etwa mit der Daten- resp. Informationsmodellierung wie mit dem Software Engineering eine Schlüsselrolle für die Informatik. Dabei ist umgekehrt einzuräumen, dass auch die CM-Disziplin die Übergänge zur KR-Sphäre erst allmählich für sich zu entdecken beginnt. Dass gewissermaßen immer noch ein Bruch beider Teildisziplinen besteht, erklärt sich allein aus der Historie einer paradigmatischen Forschungspraxis, keineswegs aus sachlogischen Zusammenhängen. Denn mit den Erfordernissen der Cyber-Physik ist die Harmonie-These in Bezug sowohl auf *Scientific Ontologies* bzw. technologischen Ontologien als auch auf praktische Ontologien vollständig widerlegt.

Dieser Bruch zwischen CM- und KR-Sphäre resultiert aber auch daraus, dass Informationssysteme (IS) lange Zeit nicht notwendig etwas mit Wissenssystemen (KS) zu tun hatten. Vielmehr wird umgekehrt die Auffassung vertreten, dass man Wissensrepräsentation ohne den Realitätsbezug konzeptueller Modelle einfach auf Basis linguistischer Konzeptualisierungen betreiben kann. Beides hat sich in praxi vollständig überlebt, ist nicht mehr zu rechtfertigen, was somit die in beiden Sphären etablierten isolierten Paradigmata gänzlich in Frage stellt. Diese Paradigmata sind aufzugeben, und mit ihnen nicht nur das klassische CM- und AI-Verständnis, sondern auch die in beiden Sphären damit unmittelbar verbundenen isolierten Ontologieverständnisse: alle einseitig nur an Realitätsaspekten orientierte TLO-Konzepte in der CM-Sphäre, wie alle einseitig auf linguistische Konzeptualisierungen abstellende Ontologiekonzepte in der AI-Sphäre sind damit *ad absurdum* geführt. Damit betrifft mit Pkt. 3.4 gerade auch das Grubersche (1993, 1995) Ontologiekonzept, was mit seiner zentralen Stellung wiederum umfassendere Konsequenz für das AI-Verständnis als solches besitzt, indem dieses insgesamt auf eine andere, die für die Informatik tatsächlich adäquate Metaphysik zu stellen ist. Moderne CPS bzw. IKS, wie sie U-PLM-Systeme in ihrer AI-zentrischen ODIS-Welt repräsentieren, bilden integrierte Informations- und Wissenssysteme, die auf Prozessintelligenz abstellen. Mit dieser Prozessintelligenz benötigt der IS-Bereich genauso den KS-Bereich für Zwecke der Wissensrepräsentation, wie umgekehrt der KS-Bereich den IS-Bereich für die regelmäßig realitätsbezogenen Prozessmodelle und weiteren relevanten Soll- oder Ist-Modelle. Ihre Integration weist insgesamt auf das Ziel der *Smart Enterprise Integration* (SEI) und mit diesem auf eine allumfassende semantische Interoperabilität. Entsprechend zeigt sich die auch die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) nunmehr für beide Sphären von direkter Relevanz.

Die konzeptuelle Modellierung und die Wissensrepräsentation liegen natürlich sehr viel enger beieinander, als es der gegenwärtige Stand der Ontologiediskussion der Informatik vermuten lässt. Der Umstand, dass ihr Verhältnis vielfach nicht in der eigentlich strukturadäquaten Weise gesehen wird, stellt eine der Hauptursachen für den in Pkt. 3.3.2 thematisierten seit langem anhaltenden Widerstreit zwischen der *linguistischen* und *realistischen* Ontologieposition dar: Dass beide an sich engstens verknüpfte Bereiche, die sich in praxi regelmäßig auf das gleiche Diskursuniversum beziehen, heute noch mehr oder minder iso-

lierte Sphären bilden, zeigt allein schon der Umstand, dass das im Mittelpunkt der AI-Forschung stehende Grubersche AI-Ontologiekonzept im Rahmen der ontologiegestützten konzeptuellen Modellierung nicht zum Einsatz gelangt. Umgekehrt ist dieses auch nicht auf eine konzeptuelle Modellierung ausgelegt. Analog findet die in der CM-Sphäre am häufigsten vertretene BWW-TLO wiederum in der AI-Sphäre für Zwecke der Wissensrepräsentation kaum Berücksichtigung. Insofern lässt sich feststellen, dass die *klassischen* CM- und AI-Konzepte im Allgemeinen die jeweils andere Seite in paritätischer Weise die jeweils andere Seite weitgehend ignorieren.

Dabei liegt das Problem vor allem in der AI-Tradition, und zwar genau in dem Sinne, wie ihn die deskriptive Metaphysik mit ihrer falschen *Harmonie-These* vorgibt. Aus der irrtümlichen Annahme, dass die Struktur der Alltagssprache die fundamentalen Strukturen der Realität kategorial absorbiert, folgt vielfach ein weiterer Irrtum, nämlich dass damit eine realistische Top-level Ontologie obsolet ist. Wenn keine gesonderte Analyse der fundamentalen Strukturen aller Welten, insbesondere der Realität erforderlich ist, dann ist gemäß der linguistischen Position auch der metaphysisch-realistische Ontologiebegriff nicht von elementarem Stellenwert. Was existiert, lässt sich linguistisch definieren und anhand des semiotischen Dreiecks über die Differenzierung von Intension und Extension abgrenzen. Die realistische Position ist hingegen die genau umgekehrte: zunächst muss es gelten, die komplexen Realsysteme im jeweiligen Diskursuniversum zu untersuchen, um die Existenzbedingungen unter kausalen Aspekten zu fassen und die Anwendbarkeit einer spezifischen Repräsentationssprache zu untersuchen. Mit dieser Position relativiert sich die Alltagssprache; vielmehr wird die revisionäre Metaphysik und mit ihr der *philosophische* Ontologiebegriff entscheidend. Vor allem ist im Sinne der Metaphysik der zweiten AI-Generation die Frage nach der Realität gesondert zu stellen, indem sich diese mit der kognitiven Robotik bzw. insgesamt mit Cyber-physischen Systemen (CPS) nicht über die unhaltbare *Harmonie-These* abdecken lässt. Allerdings ist es genauso ein Irrtum, dass sich die Frage der Beschaffenheit der Realität *ad hoc* induktiv durch einzelne Agenten in adäquater Weise untersuchen lässt. Vielmehr kommt man in dieser Sache nicht um revisionäre Metaphysik mit ihrem Ratio-Empirismus und damit auch nicht um deduktive Hypothesenbildung umhin. Insofern ist die Konvergenz der CM- und AI-Ontologie dann richtig verstanden, wenn sie auf Grundlage der dritten AI-Generation gestellt wird.

Entsprechend ist es genauso unmöglich, die Realitätsfrage jenseits von Metaphysik auf Basis eines empiristischen Ansatzes zu lösen. Das läuft auf Versuche hinaus, metaphysische TLO-Ansätze zu umschiffen, nämlich entweder im Rekurs auf längst *ad acta* gelegte positivistische Traditionen bzw. im Rekurs auf Quines Naturalismus. Jenseits des seit langem widerlegten Positivismus ist jedoch mit Pkt. 5.1 auch Quines Position unhaltbar. Vielmehr plädieren selbst Vertreter des *Naturalismus* seit längerem für eine metaphysische Fundierung. Auch wenn sie diese auf eine *Minimalmetaphysik* einzuschränken suchen, ist dies mit der schieren Vielzahl der für eine integrierte Ontologiekonzeption zu klärenden

fundamentalen Fragen kaum möglich. Denn die Informatik benötigt mit ihren vielfältigsten Integrationserfordernissen eine *integrierte Ontologiekonzeption*, die im transdisziplinären Sinne auf eine tatsächlich *universalontologische* Top-level Ontologie referenziert. Und das für technologische wie für wissenschaftliche Ontologien, für aktuelle wie für mögliche Welten. In jedem der möglichen Fälle ist dabei von komplexen Diskursuniversen auszugehen, mit der dazu notwendigen Kombination von Prozessen, Ereignissen und Objektlebenszyklen. Die Konvergenz der Ontologien wird also allein über eine solch *integrierte Ontologiekonzeption* möglich, die insgesamt das Fundament für eine semantische Systemintegration stellen kann.

Eine Konvergenz der Ontologien der CM- und AI-Sphäre wie insgesamt die semantische Systemintegration stellt nicht zuletzt vor allem ein pragmatisches Erfordernis dar. Das Referenzszenario der U-PLM-Systeme offenbart zudem, dass wissenschaftliche, technologische und praktische Diskursuniversen enger zusammenhängen, als es die Informatik bisher berücksichtigt. Insofern wird für sie eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation erforderlich, wenn es gilt, Daten, Informationen und Wissen aus heterogensten Disziplinen, Bereichen oder intelligenten Agenten zu integrieren resp. zu fusionieren. Das ist bei Engineering- und Innovationsprozessen, Produktionsprozessen oder Wartungsprozessen hochkomplexer industrieller Güter regelmäßig der Fall. Dabei muss dies allerdings in einer Weise geschehen, die bei kritischen Prozessen tatsächlich stabil und belastbar ist. Vor diesem Hintergrund wird klar, dass dies allein auf Basis eines fundamentalen universalen Kategoriensystems möglich wird, das wiederum die Klärung zahlreicher meta-ontologischer Aspekte voraussetzt. Hierzu gehört etwa die Klärung der Natur der Ontologie, der Natur der Objekte sowie all jener weiteren Fragen, die für McCarthys (1995) "*general world view*" direkt oder indirekt von Relevanz sind. Hinzu kommen methodologische und epistemologische Fragen, etwa hinsichtlich der Natur des Wissens, der Grenzen der Erkenntnis usw. Damit wird wiederum der Anspruch an die für die Informatik adäquate Metaphysik deutlich: sie muss nicht nur die ontologische Konvergenz der CM- und AI-Sphäre sicherstellen, sondern dabei in beiden Hinsichten auch die Integration wissenschaftlicher, technologischer und praktischer Diskursuniversen bzw. Domänen gewährleisten.

Die Klärung der Kategorien wie der meta-ontologischen Dispositionen betrifft die *konzeptuelle Modellierung* wie das *Ontology Engineering* gleichermaßen. Dabei handelt es sich nicht etwa um nachgeordnet zu behandelnde Aspekte, sondern mit der *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik geht es vielmehr im Top-down Sinne um nicht weniger als den eigentlichen Startpunkt beider Unterfangen. Demgegenüber hat der linguistische AI-Ontologiebegriff weder etwas mit konzeptueller Modellierung noch mit techno-wissenschaftlicher Metaphysik zu tun. Entsprechend besitzt er auch keinen zwingenden Ausgangspunkt in einer realistischen Top-level Ontologie, wenngleich diese erst die unabdingbare *universalontologische Referenzbasis* bilden kann. Natürlich bestehen zwischen linguistischen *Konzepten* bzw. einer *Konzeptualisierung* einerseits und dem auf

Diskurswelten bezogenen *konzeptuellem Modell* andererseits elementare Unterschiede.¹⁸³⁰ Das betrifft nicht nur die Integration beider Bereiche, sondern damit verbunden auch den Stellenwert der *Top-level Ontologie* als solche: Konzepte bzw. Konzeptualisierungen laufen im Zeichen der linguistischen Ontologiekonzeption darauf hinaus, Phänomene in einer Art zu repräsentieren, wie es sprachlogisch beliebig möglich ist. Top-level Ontologien spielen hier zumeist keine, allenfalls eine untergeordnete Rolle, was auch die im folgenden Pkt. 3.3 erörterte irrtümliche Annahme einer Differenz zwischen dem philosophisch realistischen und dem linguistischen AI-Ontologiebegriff bedingt.

In einer *Konzeptualisierung* besteht eine abstrakte, simplifizierende Sicht auf das jeweils relevante Diskursuniversum, unabhängig davon, ob dieses mit seinen Objekten real existent ist oder nicht. Sie ist damit allein auf eine *definitorische* Existenz fixiert. Derart konstruierte Ontologien sind mit Blick auf die Natur des Wissens jedoch völlig ungeeignet, weil sie zum einen mit der fehlenden Differenzierung des Subjektiven und des Objektiven prinzipiell voraussetzen, dass alles Wissen gleicher Qualität ist, zum anderen mit der fehlenden Unterscheidung von aktueller Welt und möglichen Welten reale und mögliche Sachverhalte nicht trennbar machen. Genauer betrachtet heißt das, dass sie für eine systematische wissenschaftliche Wissensrepräsentation genauso ungeeignet sind wie für eine systematische technologische Wissensrepräsentation. Insbesondere im Kontext kritischer Prozesse erweisen sich solche linguistischen Ontologiekonzeptionen als inakzeptabel, wenn sie nach defektem Gruberschen Muster bzw. im Zeichen der veralteten *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) alles Wissen der Welt in *eine universale* Wittgensteinsche (1921) *logische Raumstruktur* resp. in *einen einzigen Weltypus* zwingen. Werden Welt- bzw. Ontologietypen nicht sorgfältig getrennt, kann dies im Kontext Cyber-physischer Systeme (CPS) bei vollständig automatisierten Integrationsszenarien möglicherweise fatale Konsequenzen nach sich ziehen. Offensichtlich wird vielmehr eine *integrierte Ontologiekonzeption* erforderlich, die nicht nur Wissen heterogener Quellen fusionieren kann, sondern dabei systematisch auf die *Natur des Wissens* abstellt: die das Aktuelle von dem Möglichen genauso strikt trennt wie das Subjektive vom Objektiven; die aber dennoch in der Lage ist, die eine Welt jederzeit *ad hoc* in die andere Welt zu überführen.

Die bisher im AI-Bereich wissensbasierter Systeme bemühten linguistischen Ontologiekonzepte sind von einer solchen Durchgängigkeit jedoch genauso weit entfernt wie insgesamt von einer integrierten Ontologiekonzeption; mit ihrem subjektiv idiosynkratischen Moment schaffen sie es nicht einmal, verschiedenste Ontologien und damit Wissen in verteilten Umgebungen transdisziplinär zusammenzuführen: Wie in Pkt. 1.2 bzw. Pkt. 6.2.6 dargelegt, steht hinter der Idee linguistischer Ontologiekonzepte und entsprechender

¹⁸³⁰ Henderson-Sellers' (2012) Überlegungen, die *konzeptuelle Modellierung* auf das *semiotische Dreieck* zu beziehen, sind sicher für bestimmte Fragestellungen hilfreich, doch sollten diese nicht in dem Sinne interpretiert werden, dass sich damit die fundamentalen Unterschiede in dem linguistischen und realistischen Standpunkt beheben lassen könnten. Vielmehr erkennt auch Henderson-Sellers (2012) dabei die fundamentale Bedeutung der *Top-level Ontologie* für die konzeptuelle Modellierung, vor allem mit Blick auf die Unterschiede zwischen *linguistischer Metamodellierung* und *ontologischer Metamodellierung*.

Sprachwelten der Konstruktivismus, und dieser ist der problematischen Inkommensurabilität genauso zuträglich wie der Idealismus, während der hinter dem realistischen Ontologiekonzept stehende Realismus die Kommensurabilität tendenziell fördert.¹⁸³¹ Daher kann für eine transdisziplinäre AI-Wissensrepräsentation nur letzterer wegweisend sein; allerdings in einer aufgeklärten Variante, wie sie der in Pkt. 6.2.6 erörterte *kritische Realismus* verkörpert. Linguistische Ontologien laufen mit ihrer fehlenden Referenz auf realistische, wissenschaftsorientierte Kategoriensysteme wie mit der fehlenden Klärung meta-ontologischer Aspekte demgegenüber am Transdisziplinaritätsmoment *per se* vorbei. Damit sind sie für den industriellen Kontext wie auch für sonstige komplexe reale Systeme ungeeignet. Denn die komplexen Phänomene und Probleme der Realsphäre, auf die AI-Systeme primär zielen, nehmen weder auf künstlich eingezogene Disziplinergrenzen noch auf bloß multidisziplinär strukturiertes Domänenwissen Rücksicht. – Vielmehr offenbaren sie mehr und mehr ihre transdisziplinäre Natur und verlangen als solche grundsätzlich eine beliebige *ad hoc* Kombinierbarkeit allen Wissens. Diese bleibt hingegen in einer multidisziplinären Repräsentation genauso unerreichbar wie insgesamt auf der defekten Basis linguistischer Ontologien. Indem auch das natürliche Integrationserfordernis der Informatik geradewegs auf den Transdisziplinaritätsgesichtspunkt hinausläuft, sollte die Disziplin entsprechende Konsequenzen ziehen. Offenbar zieht der Ansatzpunkt der Linguistik wie auch die Idee entsprechender linguistischer Konzeptualisierungen jenseits allen AI-Experimentierens in der AI-Pionierphase im praktischen Einsatzkontext agentenbasierter Cyber-physischer Systeme (CPS) wie professioneller, wissenschaftsorientierter Wissenssysteme (KS) mehr Probleme nach sich als sie zu lösen imstande sind.

Im fundamentalen Gegensatz zu linguistischen Konzeptualisierungen stehen konzeptuelle Modelle wie auch die *Enterprise Architecture* (EA) im Ganzen demgegenüber grundsätzlich im Zeichen der klassischen philosophischen *realistischen* Ontologiekonzeption. Denn eine allgemeingültige Auffassung der konzeptuellen Modellierung hat sich primär immer auf *Realwelten* zu beziehen, die auch fast ausnahmslos ihren Objektbereich bilden, auch wenn sie prinzipiell ebenso fiktive Welten zum Gegenstand haben kann. Daraus folgt, dass es sich um eine *realistische* Top-level Ontologie handeln muss, die aber gerade so konzipiert sein sollte, dass sie im Sinne des Imaginativen resp. der Invention zusätzlich auch mögliche Welten zulässt. Dabei ist Modalität "*de re*" wie "*de dicto*" vorauszusetzen. Mögliche Welten beziehen sich also nicht nur auf *geistige* Schöpfungen; es geht also nicht nur um *Denkakte* bzw. bei ihren Objekten um *Denkobjekte*, sondern im Kontext Cyber-physischer Systeme (CPS) vielmehr um mögliche Welten als Realität, die bei vorausgesetztem Emergenzprinzip aus der System-Umwelt-Interaktion hervorgehen. Daraus folgt, dass in integrierten Ontologiekonzeptionen zwingend verschiedene Modi von Ontologien und damit Ontologietypen strikt zu differenzieren sind. Diese müssen jedoch gleichzeitig Interdependenz aufweisen und sind somit durchgängig zu konzipieren, wie es

¹⁸³¹ Vgl. hierzu Sankey (1994) und Devitt (2001).

in Pkt. 3.5 im Sinne der Differenzierung verschiedener zueinander durchlässiger objektiver Real- und subjektiver Denkwelten geschieht.

Wenn Ontologien als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* zu definieren sind, handelt es sich um eine Definition *sui generis*, indem sie sich nicht nur auf sämtliche *Ontologiearten* erstreckt, sondern auch auf sämtliche *Ontologietypen*: Mit Blick auf die *Ontologiearten* ist festzustellen, dass diese Weltmodelle etwa für Top-level Ontologien inhaltlich etwas anderes bedeuten als etwa für Kern- oder für Anwendungsontologien, wie sie in Pkt. 3.3.1 abgegrenzt und genauer definiert werden. Top-level Ontologien sind *universal* in dem Sinne, als sie sich in ihrem philosophischen wie transdisziplinären Charakter auf das Universum und damit auf die "Welt" als Ganzes beziehen, womit sie *für alle Realitätsausschnitte Gültigkeit* besitzen. Handelt es sich um eine Top-level Ontologie, die in ihrer *prozessual logischen Form* auch mögliche Welten universal adressieren kann, besitzt sie darüber hinaus *Gültigkeit für sämtliche Diskurswelten*, da nicht jede Diskurswelt zwingend einen Realitätsausschnitt darstellt. Demgegenüber beziehen sich diese "Welten" bei allen anderen Ontologiearten im Allgemeinen, d.h. im Modus der aktualen Welt immer nur auf Realitätsausschnitte, die es indessen im transdisziplinären Sinne mosaikartig zusammensetzen gilt, was erst durch die TLO-Referenz möglich wird. Demgegenüber bedeutet die Rede von "Weltmodellen" in der einheitlichen Ontologiedefinition mit Blick auf die *Ontologietypen*, dass es sich dabei einmal um *Denkwelten*, und einmal um *Realwelten* handeln kann, wobei es mit Blick auf die Wahrmacher (Truthmakers) bei einer Wissensontologie mit der disparaten Natur des Wissens erforderlich wird, bei letzteren zwischen wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien zu differenzieren.

Entsprechend wird eine metaphysische Fundierung notwendig, die nach der ersten Kopernikanischen Wende Kants eine zweite Kopernikanische Wende schafft, mit der nicht nur der Ontologie wieder Vorrang vor der Epistemologie eingeräumt wird, sondern mit der auch die tradierte *Subjekt-Objekt-Dichotomie* entfallen kann: Das erkennende Subjekt ist hier selbst Objekt des Diskursuniversums, wie es für eine agentenbasierte CPS-Ontologiekonzeption notwendig vorauszusetzen ist, auf die das postklassische integrierte CM/AI-Verständnis hinausläuft. Diese zweite Kopernikanische Wende begründet Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik in expliziter Erwiderung bzw. konsequenter Fortführung der Kopernikanischen Wende Kants (1781) nicht zuletzt mit dem *Subjekt-Superjekt*, mit dem es gelingt, objektivistische und subjektivistische Traditionen zu vereinen. Es ist diese Art von Metaphysik, auf der eine integrierte Ontologiekonzeption disparater Welt- bzw. Ontologietypen allein aufbauen kann.

In der Annahme, dass konzeptuelle Modellierung und Wissensrepräsentation nichts miteinander zu tun haben, besteht ohne Zweifel ein folgenschwerer Trugschluss. Diese Fehleinschätzung ist insofern für die Informatik vor dem Hintergrund eines postklassischen AI-Verständnisses inakzeptabel, als es sich bei Wissenssystemen (KS) entweder um *Smart Embedded Systems* handelt, die als Cyber-physische Systeme (CPS) in *reale technische*

resp. physische Kontexte eingebettet sind, oder aber sich in *reale domänenbezogene Entscheidungskontexte* eingebunden zeigen, wie es etwa bei medizinischen Expertensystemen der Fall ist. Entsprechend müssen moderne Wissenssysteme prinzipiell darauf ausgelegt sein, gerade systematisch mit *realen* Situationen resp. Kontexten umgehen zu können, wie es auch SAW- oder CAW-Ontologien in den verschiedensten Bereichen erfordern. Insbesondere für Zwecke der *Smart Enterprise Integration* (SEI) ist das linguistische AI-Verständnis vollkommen unbrauchbar. Das offenbart auch das U-PLM-Referenzszenario, das wesensnotwendig auf die systematische Verknüpfung des *Enterprise Model* (EM) in der CM-Sphäre und der *Enterprise Ontology* (EO) in der KR-Sphäre angelegt ist. Ihre Integration gründet dabei nicht nur fachkonzeptuell im Sinne der Kernontologie auf einem gemeinsamen Bezug auf das PPR-Framework, sondern vor allem in fundamentaler Hinsicht auf der *Top-level Ontologie*, auf die beide Sphären ebenso einheitlich referenzieren. Sie erstreckt sich über sämtliche Phasen des PLM-Zyklus, um auf diese Weise insgesamt die Integration des gesamten PLC sicherstellen zu können. Eine solche lebenszyklusbezogene Integration verlangt mit Pkt. 6.1.1 nach einer prozessualen Sichtweise, die sich primär an Ereignissen orientiert, weil erst diese sowohl die konzeptuelle Modellierung als auch die Wissensrepräsentation CPS-konform, d.h. auf Basis eines postklassischen CM- und AI-Verständnisses integrieren kann.

Insgesamt wird deutlich, dass ein solch systematisches Zusammenspiel undenkbar ist ohne eine integrierte Ontologiekonzeption, ohne einen einheitlichen Ontologiebegriff, sowie ohne eine identisch vorausgesetzte Top-level Ontologie. Letztere muss sich damit entsprechend in beiden Sphären bewähren, tatsächlich aber existiert bislang kaum eine Untersuchung, die die Eignung der diversen TLO-Theorieanwörter gleichzeitig auf die Anforderungen der konzeptuellen Modellierung *und* jene der transdisziplinären Wissensrepräsentation bezieht. Mit anderen Worten wird die Konkurrenz bzw. Inkommensurabilität der diversen TLO-Ansätze bislang regelmäßig nur auf einen der Bereiche bezogen – wenn sie bislang überhaupt gesehen wird. Diese Praxis kann aber insofern nicht verwundern, als es zunächst einmal um ein einheitliches Ontologieverständnis gehen müsste, von dem bisher ebenso wenig die Rede sein kann.

Verschiedene AI-Vertreter behaupten, dass es grundlegende Unterschiede zwischen der philosophischen Ontologie und der AI-Ontologie gäbe,¹⁸³² wie es mit dem nachfolgenden Pkt. 3.3 noch deutlicher wird. Wenn jedoch mit Glymour/Ford/Hayes (2000: 113) gilt: »AI is philosophy, conducted by novel means«, kann diese Auffassung kaum stimmen, was mit Pkt. 3.3.2 genauer zu untersuchen ist. Dass die Disziplin die Ontologiefrage bisher kaum sachgerecht verstanden haben kann, ist an einer ganzen Reihe von Beispielen belegbar. Etwa wenn Poole/Mackworth (2010) die strikt realitätsorientierte BFO mit ihren immanenten Universalien in direkte Verbindung bringen zu linguistischen Konzeptualisierungen vom Typ Grubers. Genauso würde Dietz (2006b: 9 f.) nicht gleichzeitig auf der realisti-

¹⁸³² Vgl. exemplarisch Poole/Mackworth (2010).

schen Ontologie Bunges (1979a) und der linguistischen Grubers (1995) aufbauen wollen. Schließlich würden Marquardt et al. (2010: 12) strikt zwischen dem realen Existenzbegriff der Philosophie und der definitorischen Existenz Grubers unterscheiden.¹⁸³³ Mit Pkt. 3.3.2 bestehen in Bezug auf eine ganze Reihe von Aspekten fundamentale Widersprüche, die letztlich darauf zurückgehen, dass die jeweiligen OE-Ansatzpunkte auf inkommensurable philosophische Standpunkte zurückgehen.

Vereinzelt wird die notwendige Integration von CM- und KR/AI-Aspekten längst erkannt bzw. mit den verschiedensten Akzentuierungen angeregt – jedoch bisher kaum tatsächlich vollzogen.¹⁸³⁴ Bereits Mylopoulos (1989: 497) votiert für eine neue Variante konzeptueller Modellierung, die besticht durch »a new level of modelling which combines ideas from knowledge representation, from semantic data models and from some areas of programming languages such as specification languages«. Insgesamt steht außer Frage, dass konzeptuelle und semantische Modelle unmittelbar zusammengehören und entsprechend zu integrieren sind.¹⁸³⁵ Dabei wird deutlich, dass die CM-Sphäre prinzipiell die Real-sphäre markiert, und somit auf eine philosophisch realistische, d.h. klassisch-existentielle bzw. metaphysische Ontologie hinausläuft. Mit ihr steht die KR-Sphäre in unmittelbarer Interaktion, sie zielt – der *Episteme* verpflichtet – auf die Epistemologie;¹⁸³⁶ damit ist sie im Sinne der zweiten Kopernikanischen Wende Whiteheads (1929a) – und im Gegensatz zu Kant (1781) – als solche der metaphysischen Ontologie notwendig nachgeordnet.

Die methodische Integration der CM- und KR-Sphäre führt über Modellierungsansätze, die einen direkten Übergang von konzeptuellem und semantischem Modell zulassen. Hierzu gehören Sowas (1984) *konzeptuelle Graphen*; dabei zeigt sich, dass das detaillierte Ergebnis konzeptueller Modellierungsprozesse (konzeptuelles Schema) essentiell mit dem Ergebnis des Ontology Engineering (Anwendungsontologie) übereinstimmen sollte. Ein anderer Modellierungsansatz besteht in dem durch Dori (2002, 2011) entwickelten OPM, bei dem aus grafischen Objekt-Prozess Diagrammen (OPD) mithilfe von Softwaretools (OPCAT) automatisch Code in Form textueller Objekt-Prozess Sprache (OPL) generiert wird.¹⁸³⁷ Jedes OPD-Konstrukt besitzt ein textuelles OPL-Äquivalent in Form von Ausdrücken oder ganzen Sätzen. OPL nutzt dabei *Structured English*.¹⁸³⁸ Ein ähnliches Zusammenspiel konzeptueller und semantischer Modelle findet sich in der BPMN-SBVR-Kopplung, die ebenso aus der Kombination von Prozessmodellen (BPMN) und *Structured English* (SBVR) besteht. Schließlich besteht mit Speel et al. (2001) eine direkte Verbin-

¹⁸³³ Vgl. Marquardt et al. (2010: 12): »Viewed from the perspective of an AI system, this conception of an ontology is equivalent to the original philosophical definition of Ontology as a "theory of existence", since, as Gruber (1995) put it, "for AI systems, what 'exists' is that which can be [formally] represented"«.

¹⁸³⁴ Vgl. etwa Speel et al. (2001), Tamma/Bench-Capon (2001a), Wand/Weber (2002), Guizzardi (2005, 2007a), Herre/Heller (2005), Fonseca (2007), Embley/Liddle/Tao (2011) und C.E.H. Chua et al. (2012).

¹⁸³⁵ Vgl. etwa Fill/Burzynski (2009); vgl. hierzu auch Evermann (2009).

¹⁸³⁶ Vgl. hierzu auch Welty/Guarino (2001).

¹⁸³⁷ Vgl. Dori (2011); vgl. auch Dori/Shpitalni (2005).

¹⁸³⁸ Ibid.

dung von konzeptueller Modellierung und KS-Engineering. In der Tat stellen viele der KE-Methoden modellbasierte Ansätze dar,¹⁸³⁹ die als solche im Zeichen der konzeptuellen Modellierung stehen: »Experience has shown that eliciting and explicating knowledge is best seen as a modeling activity, also called *conceptual modeling*. This activity takes the form of a specialized type of requirements engineering. KBS construction methods typically provide tools for knowledge analysis in the form of so-called *conceptual models of knowledge* or simply *knowledge models*«. ¹⁸⁴⁰

3.3 Revision der tradierten Ontologiebegriffe und –konzepte der Informatik

»Artificial Intelligence is full of 'toy problems': small, artificial axiomatisations or puzzles designed to exercise the talents of various problem-solving programs or representational languages or systems. The subject badly needs some nontoy worlds to experiment with.«

— Patrick J. Hayes (1979: 242)

Mit McCarthy (1995) sind die AI-Kernideen *philosophische* Ideen; für Glymour/Ford/Hayes (2000) ist *AI Philosophie*,^{1841, 1842} wie sie es mit ihrer *Android Epistemology* auch voraussetzen.¹⁸⁴³ Wenn mit McCarthy (1977: 1043) gilt: »Philosophy has a more direct relation to artificial intelligence than it has to other sciences«, kann es kaum eine echte *epistemologische* resp. *ontologische* Divergenz zwischen beiden geben. Vielmehr läuft – wenn oftmals auch nur implizit vollzogen – *jede* AI-Repräsentation auf eine ontologische Verpflichtung im *philosophischen* Sinne hinaus, wie es auch Bonfatti/Pazzi (1995) postulieren:

»A knowledge-based system is always committed, explicitly or implicitly, to a conceptualization of the world, that is, to an ontology intended *in a philosophical sense*. An ontology is, therefore, the explicit specification of an inherent conceptualization of a knowledge-based system.«¹⁸⁴⁴

Dabei impliziert diese ontologische Verpflichtung primär eine *Realwelten-Referenz*, die nahezu alle professionellen AI-Anwendungen einfordern. Insbesondere im U-PLM- bzw. CPS-Kontext wie bei industriellen Applikationen ist dieses Erfordernis ständig gegeben:

»A *real* application of an "artificial intelligence" needs *references to the real world*, or a "background," or a "common sense." But this simply depends on AI's lack of abstract objects of its own, or on its weak ontological assumptions, AI being a general methodology rather than a science. As a methodology, it can only apply its conceptions to universes already defined by theories, rather than build on a universe of its own.«¹⁸⁴⁵

Demgegenüber besteht jedoch gerade in dieser *Realwelten-Referenz* ein traditioneller Schwachpunkt der AI-Wissensrepräsentation, den Brachman/Levesque (1985: xiii) auch offen einräumen: »[F]undamental difficulties exist in representing and reasoning at the level of real-world complexity, and no surveys or textbooks exist that can guide us through

¹⁸³⁹ Vgl. zu entsprechenden Ansätzen im Einzelnen Fn. 1617.

¹⁸⁴⁰ Vgl. Speel et al. (2001: 109 f.), Hvh. im Orig.

¹⁸⁴¹ Vgl. zu dieser gängigen Position Glymour (1988), Agre (1995) oder Glymour/Ford/Hayes (2000); vgl. auch Dennett (1982, 1984, 1988), Van Gulick (1987) sowie die diversen Beiträge in Ringle (1979).

¹⁸⁴² Ebenfalls engere Beziehungen bestehen zwischen *AL-Forschung* und *Philosophie*, vgl. Bedau (1992), Dennett (1994) sowie Bonabeau/Theraulaz (1994: 319).

¹⁸⁴³ Vgl. hierzu Ford/Glymour/Hayes (1995, 2006) sowie Glymour (2000).

¹⁸⁴⁴ Bonfatti/Pazzi (1995: 892), Hvh. des Verf.

¹⁸⁴⁵ Matteuzzi (1995), Hvh. des Verf.

those problems«. Neben der ontologischen Verpflichtung im Allgemeinen, die auf die Disposition zahlreicher meta-ontologischer Kriterien abstellt, wird die AI-Ontologie mit dieser Realwelten-Referenz ebenfalls zur *philosophischen* Ontologie, weil sie damit maßgeblich gerade auch in einem *realen Existenzsinne* zu verstehen ist.¹⁸⁴⁶ Wie oben in Pkt. 3.2.3 dargelegt, benötigt die AI-Disziplin ein *doppeltes Existenzverständnis*, was sich – wie in Pkt. 3.1 gezeigt – keinesfalls mit der philosophischen Ontologie widersprechen muss. Auch hier gibt es nicht nur *realistische*, sondern auch *idealistische* Ontologien, wobei es sich um zwei alternative philosophische Positionen handelt, die historisch betrachtet mal mehr, mal weniger Popularität erfahren. Tatsächlich sind beide Existenzmodi legitim. Nur sollten in diesem Zusammenhang nicht "Sein" und "Denken" verwechselt werden; vor allem ist zu vermeiden, sie in *einer* ontologischen Welt miteinander zu vermischen. Vielmehr kommt es darauf an, dass die verschiedenen Existenzmodi klar abgegrenzt werden, dass es also um verschiedene Welten geht, die nicht nur zweifellos durchlässig sein können, sondern – wie in Pkt. 3.5 gezeigt – es im Kontext von Technologien und Artefakten realiter auch regelmäßig sind. Mealys (1967) Übernahme des Ontologiebegriffs in die Informatik steht bereits im Zeichen der Existenzfrage: »The issue is ontology, or the question of what exists«. ¹⁸⁴⁷ Im Sinne seines Rekurses auf Quine steht der Ontologiebegriff schon bei Mealy (1967) in einem doppelten Existenzsinne, weil sich definatorische Existenz im Sinne von Quines Existenzquantor und im Zeichen des Quineschen Empirismus resp. Naturalismus dann schließlich doch auf eine empirische Existenz beziehen muss. Insofern kann man es durchaus mit Noy/Hafner (1997: 53) mit einer universalen Definition halten: »ontology is a particular theory about the nature of being or the kinds of existent. The task of intelligent systems in computer science is to formally represent these existents«. Ein solches Ontologieverständnis findet sich ähnlich bei Russell/Norvig (2010):

»The word *ontology* means a particular theory of the nature of being or existence. The ontology determines what kinds of things exist, but does not determine their specific properties and interrelationships.«¹⁸⁴⁸

Allerdings hinterfragt die AI-Disziplin bisher kaum, was überhaupt das Existenzprinzip ausmacht, während darin letztlich die wichtigste ontologische Fragestellung besteht, wenn die Ontologie selbst auf den Existenzaspekt von Entitäten weist. Vor allem hat die Informatik wie die AI-Disziplin diese Frage bisher nicht auf ihren zentralen Gegenstand, nämlich Cyber-physische Systeme (CPS) bezogen. Es ist generell unverstanden, dass für diese nur das Existenzprinzip der Cyber-Physik gelten kann. Und dieses Existenzprinzip ist weder kein aristotelisches bzw. neo-aristotelisches noch ein Cartesisches. Denn es bezieht sich weder auf die Selbstidentität von Entitäten bzw. auf Substanzen noch auf Materie. Vielmehr ist das Existenzprinzip der Cyber-Physik ein völlig anderes, nämlich ein systemisch-prozessuales Prinzip. Es ist das *Prinzip kausaler Wirksamkeit*, und es ist dieses

¹⁸⁴⁶ Vgl. hierzu auch Grenon/Smith (2011).

¹⁸⁴⁷ Vgl. Mealy (1967: 525).

¹⁸⁴⁸ Russell/Norvig (2010: 308).

Prinzip, in dem das ontologische Existenzprinzip der Informatik besteht. Denn alles andere wäre CPS-inadäquat. Das klassische linguistische AI-Verständnis, wie es sich etwa vor dem Hintergrund von Mastermans (1961) semantischen Netzen, bei deren Umbenennung in Ontologien bei Gruber (1993, 1995), oder etwa mit der Commonsense Metaphysics bei Hobbs et al. (1987) entwickelt hat, ist vor diesem Hintergrund in doppelter Weise durch ein postklassisches AI-Verständnis zu substituieren. Denn die Existenzfrage lässt sich nicht am semiotischen Dreieck der Linguistik festmachen, auch wenn dieses selbst einen philosophischen Ursprung besitzt. Vielmehr ist ein CPS-adäquates Existenzverständnis erforderlich, das mit dem Stand der modernen Wissenschaften korrespondiert. Denn diese setzen auf dem prozessualen Gedanken komplexer Systeme auf, und erfordern somit das universale Prinzip kausaler Wirksamkeit. Zum anderen wurde im Sinne der *deskriptiven* Metaphysik fälschlicherweise zwischen dem originär philosophischen Ontologiebegriff und einem gesonderten AI-Ontologiebegriff differenziert. Wie eingangs des zweiten Teils dargelegt, hat Masterman (1984) ihre ursprüngliche in Tradition zu Wittgenstein II stehende deskriptive Position aufgegeben und aufgezeigt, dass die Semantik unter dem Regime der Whiteheadschen revisionären Metaphysik zu entwickeln ist. In der AI-Disziplin ist jedoch auch diese wichtige Wende unverstanden geblieben; vielmehr wird im klassischen linguistischen AI-Verständnis durchweg ein gesondertes Ontologieverständnis eingefordert:

»In the philosophical tradition an Ontology is a theory about that what can exist. In the context of knowledge-based system research not many people claim to say anything about what exists in the real world. We do however, make claims about what knowledge entities are manipulated by our programs when they perform a task. So, we could rephrase the traditional definition of the term "ontology" as follows: *An (AI-) Ontology is a theory of what entities can exist in the mind of a knowledgeable agent.*«¹⁸⁴⁹

Entsprechend wird deutlich, dass sowohl die ganze Bandbreite der Philosophie bzw. Metaphysik unverstanden ist, als auch speziell jene cyber-physischen Zusammenhänge, die gerade für die Digitalmetaphysik entscheidend sind. Anhand obiger Ontologiedefinition Wielinga/Schreibers (1994) wird nicht nur deutlich,¹⁸⁵⁰ dass solche AI-Ontologien im Zeichen des Gruberschen Ontologieverständnisses stehen,¹⁸⁵¹ sondern auch, dass es hier offensichtlich um *epistemologische* Ontologien geht, worauf wir in Pkt. 3.3.2 zurückkommen. Selbst Poole/Mackworth (2010), die sich grundsätzlich in Richtung postklassischer AI bewegen, wenngleich ihr eklektizistischer Ansatz lediglich Stückwerk ist, unterliegen diesem für die Disziplin folgenschweren, metaphysisch induzierten Missverständnis:

»In philosophy, ontology is the study of what exists. In AI, an ontology is a specification of the meanings of the symbols in an information system. That is, it is a specification of a conceptualization. It is a specification of what individuals and relationships are assumed to exist and what terminology is used for them. Typically, it specifies what types of individuals will be modeled, specifies what properties will be used, and gives some axioms that restrict the use of that vocabulary.«¹⁸⁵²

Auch Berners-Lee et al. (2002) begehen diesen Fehler, indem sie analoges im SW-Kontext behaupten, worauf wir mit der SW-Ontologie zu Ende von Pkt. 3.3.2 zurückkommen:

¹⁸⁴⁹ Wielinga/Schreiber (1994: 191), Hvh. im Orig.

¹⁸⁵⁰ N.J. Nilsson (2010: 441) vertritt eine ähnliche, nicht zu rechtfertigende ontologische Trennung.

¹⁸⁵¹ Vgl. etwa explizit Hendler (2001) sowie implizit Swartout/Tate (1999).

¹⁸⁵² Poole/Mackworth (2010: 563), ohne Hvh. des Orig.

»In philosophy, an ontology is a theory about the nature of existence, of what types of things exist; ontology as a discipline studies such theories. Artificial-intelligence and Web researchers have co-opted the term for their own jargon, and for them an ontology is a document or file that formally defines the relations among terms. The most typical kind of ontology for the Web has a taxonomy and a set of inference rules.«¹⁸⁵³

Wie in Pkt. 3.2.3 dargelegt, ändert Berners-Lee seine Ontologieposition wenig später indessen insofern, als für ihn das gesamte *Semantic Web* und damit auch die SW-Ontologie unter das *Philosophical Engineering* zu subsumieren sind. Dessen ungeachtet kann auch in diesem Fall eine solch separierte Ontologieauffassung nicht richtig sein, weil das *Semantic Web* nicht nur etwa mit Blick auf die *Semantic E-Sciences*, sondern auch mit vielen anderen Entwicklungen, insbesondere mit Cyber-physischen Systemen (CPS) mit der Realität zunehmend verwächst. Das *Semantic Web* war zwar als virtuelles System mit beliebigen Existenzdefinitionen gedacht, wird jedoch nicht zuletzt in IoT- bzw. WoT-Kontexten zusehends auf die cyber-physische Realität bezogen. Wenn dieser Realitätsbezug auch nicht ausschließlich gegeben ist, zeigt sich einmal mehr die Notwendigkeit, verschiedene Existenzmodi parallel zuzulassen. Denn es sollte auch hier gelten: "*anything goes*". Indem man bisher annahm, dass ein gesonderter AI-Ontologiebegriff für die AI-Disziplin konstituierend ist, muss sie sich in gewisser Weise neu erfinden: sie hat von einem postklassischen Ontologieverständnis auszugehen, das auf eine metaphysische *Top-level Ontologie* referenziert, die mit ihrer digitalmetaphysischen Wurzel eine fundamental neue Weltsicht für die ganze Informatik einfordert. Der Wechsel im Ontologieverständnis ist allein schon mit Blick auf die erforderliche integrierte Ontologiekonzeption unabdingbar, wenn deutlich geworden ist, dass es sich bei dem CM-Ontologiebegriff ebenfalls um einen *philosophischen* Ontologiebegriff handelt. Analog dazu bauen die bisher in der AI-Tradition oftmals als irrelevant erachteten Top-level Ontologien ebenfalls auf dem *philosophischen* Ontologiebegriff auf. Das ist auch nicht anders möglich, da TLO-Ansätze letztlich immer philosophisch fundiert sind. Somit können all jene AI-Auffassungen nicht richtig liegen, die einen Ontologiebegriff postulieren, der zwischen Philosophie und AI-Tradition divergiert.

Die Disziplin kann also auf ihre alternative Klein- oder Großschreibung des Ontologiebegriffs oder alternativ auf seinen Gebrauch im Plural oder Singular verzichten, womit man tatsächlich meint, ganz disparate Ontologiekonzepte zueinander abgrenzen zu müssen bzw. zu können.¹⁸⁵⁴ Solche wissenschaftlich wie methodisch zweifelhaften Praktiken, wie sie die AI-Disziplin auf Basis ihres klassischen Verständnisses seit Jahren praktiziert, sind für die in Pkt. 1.1 diskutierte große Konfusion in der Ontologiediskussion verantwortlich – oder vielmehr ein Beleg für diese. Im Ergebnis hat dies dazu geführt, dass der Ontologie-

¹⁸⁵³ Berners-Lee et al. (2002: 27).

¹⁸⁵⁴ Diese Auffassung wird insbesondere durch Guarino/Giaretta (1995), Guarino (1998) sowie Guarino/Oberle/Staab (2009: 1) vertreten: »we distinguish between the use as an uncountable noun ("Ontology," with uppercase initial) and the use as a countable noun ("an ontology," with lowercase initial)«, wobei der erste Fall die *philosophische* Ontologie, der zweite die *linguistische* Ontologie bezeichnen soll. Diese Praxis ist schon deshalb abwegig, weil es auch in der Philosophie nicht *die* Ontologie gibt, sondern mit Verweis auf Pkt. 3.1 vielmehr eine Vielzahl disparater Ontologieauffassungen koexistiert.

begriff heute »in a near anarchic fashion« genutzt wird,¹⁸⁵⁵ was selbstredend keine Basis für das Ziel vollumfänglicher semantischer Interoperabilität darstellen kann. Genauso wenig lässt sich zwischen *Ontologie als Kategorialanalyse* vs. *Ontologie als Technologie* differenzieren; auch wenn man diese bereits im Wechselspiel miteinander sieht.¹⁸⁵⁶ Darüber hinaus ist es falsch zu behaupten, der Unterschied zwischen dem philosophischen Ontologiebegriff und seinem AI-Pendant bestünde darin, dass der erste im Gegensatz zum zweiten seinen Fokus auf dem Universum in seiner Totalität und nicht auf regionalen Welten habe;¹⁸⁵⁷ während der zweite im Gegensatz zum ersten immer einen direkten Anwendungsbezug aufweisen würde.¹⁸⁵⁸ Aber auch das ist nicht haltbar, weil im ersten Fall allein schon die Top-level Ontologie als oberste Ontologieebene der Informatik ebenfalls eine universale Perspektive aufweist, im zweiten Fall zunehmend alles Wissen der Welt in der AI-Wissensrepräsentation formalisiert wird. Das Problem ist auch hier in der fehlenden digitalmetaphysischen Fundierung gegeben; mit Pkt. 3.4 lässt sich echte Klarheit nur mit einer systematischen Entwicklung des Ontologiegedankens über das IMKO *OCF* schaffen.

Wie in Pkt. 3.1 dargelegt, ist ein einheitlicher Ontologiebegriff von Philosophie und Informatik auch insofern möglich, weil von *qualitativ hinreichenden* philosophischen Ontologien heute eine logische Stringenz, Detailliertheit, Klarheit und intellektuelle Schärfe erwartet werden kann, die ihre unmittelbare Überführung bzw. Repräsentation in AI-Ontologien ermöglicht. Diese Forderung wurde durch Feiblemans (1951: 653) »system of ontology« als »[logical] calculus [...] for computation« bereits lange vor dem Durchbruch von AI-Ontologien auf den Punkt gebracht. Mit dem zentralen Belang, den die mathematische Logik gerade auch für die philosophische Ontologie besitzt, kann sie letztlich insgesamt auch nur mit Leibniz (1714a, 1714b) von einem *Automatenuniversum* resp. mit Kant (1800) von einem *Regeluniversum* ausgehen. Was wollte man dazu auch als Gegenposition zu einer allgemeinsten Hypothese ins Feld führen? Dann aber muss sich die philosophische Ontologie auch der Ontologie der Informatik stellen, nämlich insofern, als sie diese mit abdecken können muss bzw. in keinerlei Gegensatz zu dieser stehen kann, indem deren Sachverhalte Teil des Universums sind. Das wird im Kontext Cyber-physischer Systeme (CPS) umso deutlicher, als die Informatik mit der Frage nach einer universalontologischen Fassung des *physischen* CPS-Teils genau in jene Ontologiesphäre vorstößt, die bislang dem philosophischen Diskurs vorbehalten war. Umgekehrt ist von philosophischer Seite mit dem Aufkommen von CPS zu konstatieren, dass sich mit Verweis auf den vierten,

¹⁸⁵⁵ Vgl. Khazraee/Lin (2011: 41).

¹⁸⁵⁶ Vgl. Poli/Obrst (2010); vgl. hierzu ergänzend B. Smith (2003a). Wenn Poli/Obrst (2010) zwischen einer *ontology_c* und einer *ontology_t* differenzieren, kommen sie bereits zum Schluss, dass es eine Konvergenz in Richtung einer "*ontology science*" geben muss. Mit Pkt. 3.3.1 und Pkt. 6.1.3 steht außer Frage, dass die *ontology_t* in ihrer TLO-Referenz eine *ontology_c* ist: Mit Pkt. 3.4 gilt das IMKO *OCF*.

¹⁸⁵⁷ Mit Whitehead (1933: 179) ist Ontologie letztlich *kosmologisch* zu verstehen, denn es gilt: »In one sense, Science and Philosophy are merely different aspects of one great enterprise of the human mind«. Das kann allerdings für die Informatik nur dann gelten, wenn die Ontologie *strukturalistisch* veranlagt ist, also mit Zuses (1982) *Computing Universe* konform geht.

¹⁸⁵⁸ Vgl. etwa Kishore et al. (2004).

fünften und sechsten Teil offenbar einige Grundsatzfragen neu stellen. Insgesamt muss also auch von dieser Warte alles auf eine *universale Ontologiekonzeption* hinauslaufen. Etymologisch wie sachlogisch gibt es nur *eine* Ontologie, kann es nur *ein* Ontologieverständnis geben, das sich *universal* als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* definiert.^{1859, 1860} Mit Glymour/Ford/Hayes (2000) *ist AI Philosophie*, woraus folgt, dass *der AI-Ontologiebegriff der philosophische ist*; es also lediglich *einen* Ontologiebegriff gibt. Wie gerade im U-PLM- resp. CPS-Kontext deutlich wird, kann es diese *einheitliche* Ontologie, diesen *universalen Ontologiebegriff* nur auf Basis eines integrierten Ontologiekonzepts im Sinne einer integrierten metaphysischen Wissensontologie geben, wie es in Pkt. 3.4 mit dem IMKO *OCF* und in Pkt. 3.5 mit *CYPO FOX* umrissen wird. Nur dann kann es auf Basis obiger universaler Ontologiedefinition heißen: *"anything goes"*.

Im Sinne der zweiten Kopernikanischen Wende Whiteheads (1929a) ist Ontologie notwendig grundsätzlich im *metaphysisch-realistischen* Sinne zu verstehen. Würde man dieser Sichtweise nicht folgen, würde man den klassischen Existenzmodus von vornherein in dem Sinne ausschließen, als es unmöglich wäre, *ontologische Systematiken* zu entwickeln, wie sie allen realistischen Top-level Ontologien zugrundeliegen. In der Tat wird diese Auffassung bei wichtigen TLO-Ansätzen regelmäßig vertreten, etwa bei Wand/Webers (1988) BWW-TLO im Rekurs auf Angeles (1981: 198), mit dem sie *Ontologie* verstehen als »[t]hat branch of philosophy which deals with the order and structure of reality in the broadest sense possible«. ¹⁸⁶¹ Ohne Zweifel liegt diesem Ontologieverständnis ein echter *metaphysischer Realismus* zugrunde. In ähnlicher Weise, aber mit einem lediglich *methodologisch* verstandenen *ontologischen Realismus* ist das auch bei B. Smithens BFO-TLO

¹⁸⁵⁹ Die Forderung, dass Ontologien auch in der Philosophie *formalisierbar* sein müssen, lässt sich bis auf Leibniz zurückverfolgen und wird insbesondere auch heute vertreten, vgl. etwa Casati/Varzi (1999: 201). Während sie für die Informatik selbstverständlich ist, sollte sie auch für die Philosophie – vor allem in ihrer Eigenschaft als *wissenschaftliche Ontologie* – mit der heutigen Bedeutung der mathematischen Logik als grundsätzliche Vorbedingung jeder *qualitativ hinreichenden Ontologie* allgemein akzeptiert sein. Vgl. hierzu auch Grim/Mar/St. Denis (1998) sowie Bynum/Moor (1998) und die in diesem Sammelband publizierten weiteren zahlreichen Beiträge zu diesem Thema, bei dem wiederum die Automatentheorie eine zentrale Stellung einnimmt. Dieses Postulat ist nicht zuletzt auch in dem Zusammenhang zu sehen, als nicht mehr das über Reduktion gewonnene Einfache, sondern primär das Komplexe das Forschungsinteresse leitet, sowohl in der Wissenschaft, vgl. etwa Barrow (2005: 282), als auch in der Philosophie, vgl. etwa Rescher (1998).

¹⁸⁶⁰ Indem dieses *einheitliche Ontologieverständnis* für die Informatik wie die Philosophie mit der Kongruenz ihrer Ontologiebegriffe gelten muss, lässt sich etwa mit Blick auf den frühen Wittgenstein (1921) oder auf Quine (1948) im Hinblick auf eine *universale Ontologiedefinition* gar keine weitergehende Synthese erzielen. Dabei integriert diese Ontologiedefinition die verschiedensten Ontologieansätze dadurch, dass ihre *"Weltmodelle"* allein im Zeichen der *vier Welttypen* der in Pkt. 3.5 entwickelten *emergentistischen CYPO FOX* als integrierter Ontologiekonzeption jeweils ontologietypgerecht weiter spezifiziert werden. Darüber hinaus beziehen sie sich auch auf alle Ontologiearten, also von der Top-level Ontologie über die Domänenontologie bis hin zur Anwendungsontologie. Jenseits der Ontologiedefinition steht außer Frage, dass weder die *emergentistische CYPO FOX* noch ihre Referenz auf eine prozessmetaphysische Top-level Ontologie mit Wittgenstein (1921) oder Quine (1948) vereinbar ist. – Aber deren Ontologieauffassungen eignen sich auch nicht für eine *transdisziplinäre integrierte Ontologiekonzeption*, die in der Ontologie als *universaler Ontologie* dann zwingend angelegt ist, wenn ihr Emergenzmoment im Sinne Whiteheads, Hartmanns oder Poppers konsequent bejaht wird. In diesem Fall sind die Ontologien Wittgensteins (1921) und Quines (1948) in ihrem engen Naturalismus ad absurdum geführt.

¹⁸⁶¹ Vgl. Wand/Weber (1989b), Wand/Storey/Weber (1999) sowie Parsons/Wand (2000).

der Fall: *Ontologie* ist für Smith »[t]he study of being in so far as this is shared in common by all entities, both material and immaterial. It deals with the most general properties of beings in all their different varieties«. ¹⁸⁶² Zwar ist mit Smithens *immanenten Realismus* neben dem klassischen Existenzmodus, der hier im materialistischen Sinne verstanden wird, ein definitiver Existenzmodus ausgeschlossen. Im materiellen Existenzsinne gilt dies bei Bunge ähnlich; demgegenüber ist dies in der Whitehead-Popperschen Metaphysik völlig anders, indem die Existenz nicht nur am *Prinzip kausaler Wirksamkeit* festgemacht wird, sondern der menschliche wie der maschinelle Agent zudem auch als *Subjekt-Superjekt* integrierter, kausal wirksamer Teil der Natur im Automatenuniversum ist. Es sind diese Voraussetzungen, die erst eine integrierte Ontologiekonzeption eröffnen, wie sie mit Poppers *Drei-Welten-Lehre* vorgezeichnet ist, die ebenso dieses platonistische Existenzprinzip voraussetzt. Im W2-Sinne sind dann *epistemische* Ontologien als kognitive Agentenwelten zulässig, die prinzipiell als kausal relevanter Teil des Automatenuniversums im Allgemeinen und Cyber-physischer Systeme (CPS) im Besonderen zu erachten sind.

Offensichtlich werden damit einige Positionen führender Ontologen hinfällig; jene etwa von Welty/Guarino (2001: 51) lässt sich gleich in doppelter Hinsicht nicht rechtfertigen, wenn es heißt: »In general the accepted industrial meaning of ‘ontology’ makes it synonymous with ‘conceptual model’ and is completely independent of it’s [sic!] philosophical antecedents«. Denn Ontologie ist, wie in Pkt. 3.2.2 ausgeführt, weder identisch mit konzeptuellen Modellen noch ist sie, wie hier dargelegt, unabhängig von der philosophischen Tradition verstehbar. Und gerade wenn die Ontologie synonym mit konzeptuellen Modellen gebraucht würde, liefe das ebenso mit Verweis auf Pkt. 3.2.2 strikt auf einen philosophischen Ontologiebegriff hinaus. Diese verfehlte Auffassung liegt wiederum tiefer begründet, unter anderem darin, dass Guarino/Oberle/Staab (2009) der philosophischen Ontologie im Sinne analytischer Modalmetaphysik unterstellen, dass sich diese auf Entitäten unabhängig von deren aktueller Existenz beziehe. Vielmehr aber ist diese mit Wolff (1730) primär als *metaphysica generalis* zu verstehen; im Vorgriff auf Pkt. 4.1 ist dabei festzustellen, dass diese allein mit der dort umrissenen *wissenschaftlichen Metaphysik*, nicht aber mit der Modalmetaphysik kompatibel ist. Denn *Ontologie* wird bereits bei Wolff (1730) explizit als *Wissenschaft* verstanden. Nach Wolff darf in der Ontologie »nur das zugelassen werden, was zureichend erklärt ist und sich auf unbezweifelte *Erfahrung* und Beweis stützt«, ¹⁸⁶³ womit sie bereits bei Wolff (1730) über die in Pkt. 4.1 näher definierte reine resp. exakte Metaphysik hinausgeht. Ontologie ist für Wolff aber auch insofern Wissenschaft, als das, was in ihr bejaht oder verneint wird, zu beweisen ist, ¹⁸⁶⁴ wobei mit der Bewährung an der Erfahrung offensichtlich ein *ratio-empirischer Beweis* gemeint ist. Wolffs (1730) Primat der Ontologie ist vor allem in seiner Leibnizschen Tradition zu sehen, womit umgekehrt deutlich wird, dass die Leibnizsche Metaphysik letztlich nicht als exakte Meta-

¹⁸⁶² Vgl. B. Smith (1995b: 373).

¹⁸⁶³ Vgl. Wolff (1730: § 4), Hvh. des Verf.

¹⁸⁶⁴ Vgl. Wolff (1730: § 5).

physik aufzufassen ist, sondern vor dem Hintergrund des ganzen Leibnizprogramms vielmehr als Vorläufer von Whiteheads *techno-wissenschaftlicher* Metaphysikposition zu interpretieren ist. Denn darauf weist sein systemisches Strukturprinzip, das platonistische Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit sowie die Verbindung von *Metaphysica* und *Scientia generalis* bzw. *Mathesis universalis*. In ontischer Hinsicht korrespondiert Wolffs (1730) Primat der Ontologie auch mit der aristotelischen Position. Denn für Aristoteles repräsentiert die Metaphysik die Wissenschaft vom Seienden als solchen, wie es allen Dingen prinzipienhaft zugrunde liegt, womit sie ihren Kern in der Seinslehre resp. Ontologie findet,¹⁸⁶⁵ die als Wissenschaft vom "Sein des Seienden" zu verstehen ist.

Entsprechend kann die Modalmetaphysik mit Verweis auf Pkt. 3.5 nur nachgelagert einen legitimen Modus darstellen, wobei die Modalitäten "*de re*" bzw. "*de dicto*" für verschiedene Welttypen gesondert als Subtypen zu behandeln sind. Guarino/Oberle/Staab (2009) schließen die Synthese der Objekte von philosophischer Ontologie und der Objekte der experimentellen Erfahrungswissenschaften in ihrer Ontologiedefinition explizit aus, die in der CPS-relevanten *wissenschaftlichen Metaphysik* mit Verweis auf Pkt. 4.1 im Sinne *universaler Ontologie* indessen mit dem *Ratio-Empirismus* gerade angelegt ist. Es steht außer Frage, dass auf Grundlage solch verfehlter Ontologieauffassungen ein universales Ontologieverständnis von vornherein unerreichbar bleibt. Tatsächlich besitzt das Aktuale und das Modale genauso wie das Ontische und Epistemische in Philosophie und Informatik genau die gleiche Bewandnis und den gleichen Stellenwert. Das gilt in einer transdisziplinären Wissenschaftspraxis und einer wissenschaftlichen Metaphysik analog für das Universale und Regionale. Neben diesen Widersprüchen muss nicht nur Grubers, sondern auch Guarinos linguistisches Ontologieverständnis ebenso insgesamt als unhaltbar erscheinen: Denn Guarino (1998) will den Ontologiebegriff *im linguistischen Sinne* allein für die Informatik reservieren, während die Philosophie auf ihn verzichten und durch einen Konzeptbegriff ersetzen solle. Ein solcher AI-Annexionismus des Ontologiebegriffs nach seiner Übernahme aus der Philosophie durch Mealy (1967) ist vor dem Hintergrund Cyberphysischer Systeme (CPS) nicht zu begründen. Dass es dabei gerade Guarinos DOLCE-TLO ist, auf die die W3C *SSN Ontology* im CPS-Sinne referenziert, belegt das konfuse Ontologieverständnis der Informatik einmal mehr.

Natürlich ist es verfehlt, die Linguistik zum Ausgangspunkt des *Ontology Engineering* erheben zu wollen, was aufgrund der ontologischen Konfusion mit Pkt. 3.3.2 in der ganzen erforderlichen Tiefe zu erörtern ist. Zum anderen ist damit verbunden insbesondere mit dem fünften Teil darzulegen, dass die Informatik zwingend der klassisch philosophischen Ontologie zu ihrer Fundierung bedarf. Dabei zeigt sich, dass sie entgegen Guarino insbesondere nicht um die revisionäre Metaphysik umhinkommt. Schließlich ist – ungeachtet der Absurdität der Idee an sich – hervorzuheben, dass ein AI-Annexionismus des Ontologiebegriffs schon allein deshalb kaum möglich ist, weil dieser in der Philosophie selbst tief

¹⁸⁶⁵ Vgl. Eisler (1905: 120).

verwurzelt und für sie letztlich völlig unverzichtbar ist. Mit Wolff (1730) ist sie bekanntlich nicht weniger als *Erste Philosophie: Philosophia prima sive Ontologia*. Als solche bildet sie den Ausgangspunkt zahlreicher nachgeordneter philosophischer Fragen; letztlich gerade auch für solche, bei denen Guarino im Zuge der Top-level Ontologie selbst umfassend wie explizit auf die klassische Philosophie zurückgreift. Auch wird diese Unverzichtbarkeit mit neueren Entwicklungen um die analytische Metaphysik offensichtlich, indem hier die klassischen ontologischen resp. metaphysischen Fragestellungen wieder auftauchen. Das zeigt einmal mehr: die Position der linguistischen Ontologen ist alles andere als konsistent; die grotesken Versuche zur linguistischen Reklamation des Ontologiebegriffs bilden dabei nur die Spitze einer verqueren alltagssprachlich gefassten Weltsicht.

Vor diesem Hintergrund ist mit Palomäki (2009) insgesamt nicht nur Grubers, sondern auch das darauf aufbauende Ontologieverständnis Guarinos rundweg abzulehnen. Denn beide Ansätze sind mit der philosophischen Ontologie nicht sachgerecht zu vereinbaren,¹⁸⁶⁶ auf die sie sich aber letztlich in ihrer Fundierung notwendig beziehen müssen. Gleichzeitig wird es wesentlich, auch den Ontologiebegriff selbst wieder im *philosophisch-realistischen* Sinne auszulegen, was nicht nur in der CM-Sphäre seit jeher gesetzt ist, sondern auch speziell in der AI/KR-Sphäre mit McCarthy/Hayes (1969) bereits mit der ersten AI-Ontologiekonzeption genau in dieser Weise konzipiert wird. Auch in modernen, weit verbreiteten AI-Ansätzen ist dieses klassisch philosophische Ontologieverständnis gegeben, etwa mit dem *philosophisch-realistischen* Ontologiekonzept der BFO-TLO Smithens (2003a, 2004), wie es etwa der gesamten OBO-Foundry zugrunde liegt. Damit fordert auch B. Smith in expliziter Fundamentalkritik der zwar gängigen, jedoch defekten Ontologievarianten Grubers und Guarinos die AI-Disziplin heraus. Das gilt auch dann, wenn Smithens Ontologieverständnis letztlich zur deskriptiven Metaphysik zu rechnen ist. Denn mit seinem Postulat nach strikter *Realitätsrepräsentation* eröffnet Smith ungewollt die *revisionär* metaphysische Debatte. Denn dieses Postulat setzt notwendig voraus, zunächst einmal die Frage der *Realität* an sich zu klären. Das ist gerade bei Smith unabdingbar, als sein Realitätsverständnis nicht nur an sich überholt ist, sondern für die Informatik inadäquat ist. Denn es lässt nicht zu, Cyber-physische Systeme (CPS) als reale Systeme zu fassen, was sie jedoch als kausal wirksame technische Artefakte faktisch ohne Zweifel sind. Eine solche Auseinandersetzung wird durch Spear (2007), der im Umfeld von Smithens BFO-TLO zu verorten ist, auch gefordert. Dabei ist die AI-Ontologie tatsächlich im philosophisch-universalen resp. damit zusammenhängenden wissenschaftlich-präzisen Sinne zu konzipieren:

»An information ontology is a *representational artifact* the intended interpretation of which is *what is general* in reality, and the *relationships amongst what is general*, and which includes a *maximal degree of precision* regarding the features of what is general and of the relationships between these features.«¹⁸⁶⁷

Mit diesem Votum für den klassischen Ontologiebegriff ist der Fokus auf die Genese des philosophischen Ontologiekonzepts zu richten: Dieser setzt sich aus den griechischen

¹⁸⁶⁶ Vgl. hierzu auch Zúñiga (2001).

¹⁸⁶⁷ Vgl. Spear (2007: 7), Hvh. im Orig.

Worten *on* (seiend) und *logos* (Lehre) zusammen, und steht als *Lehre vom Seienden im Allgemeinen* für jene zentrale philosophische Disziplin, die sich mit den grundlegenden Strukturen des Seienden und damit der Wirklichkeit auseinandersetzt. Im Einzelnen geht es dabei um die Kategorien und Strukturen von Entitäten, die für sämtliche Sphären der Realität Geltung beanspruchen können. Das *Ontische* repräsentiert dabei das aktuell Existente, und weist damit einen unmittelbaren realen Gegenwartsbezug auf. Rein inhaltlich gesehen geht der Ontologiebegriff bereits auf Aristoteles' ([Cat.] *Kategorienschrift* zurück, in der er das gesamte ontologische Inventar mitsamt seiner Relationen darzustellen suchte. Wie im Folgenden deutlich wird, ist diese Kategorienschrift für den Ontologiebegriff der Informatik nicht nur im Sinne der Kategorisierung von Entitäten an sich wesentlich, sondern sie bildet gleichermaßen auch den Ausgangspunkt für verschiedene TLO-Theorieanwörter. Indessen stammt der *Ontologiebegriff* als solcher erst aus dem siebzehnten Jahrhundert; er wurde durch den kurzzeitig in Marburg lehrenden Philosophen Lorhard [Lorhardus] (1606) in seiner Schrift *Ogdoas Scholastica* eingeführt und anschließend durch den ebenfalls in Marburg tätigen Philosophen Goclenius (1613) in seinem *Lexicon philosophicum* einem breiteren Publikum vertraut gemacht.¹⁸⁶⁸ Das primäre Ziel der Einführung des Ontologiebegriffs war nicht nur, einen speziellen metaphysischen Modus des Seienden abzugrenzen, sondern auch, die damalige Metaphysikdebatte und den umstrittenen Diskurs um den seit McCarthy/Hayes (1969) ebenfalls in der Informatik verwendeten Metaphysikbegriff zu versachlichen.¹⁸⁶⁹ Seine eigentliche Popularität verdankt der *Ontologiebegriff* aber erst der in der Philosophie weit verbreiteten klassischen Systematik Wolffs (1730), in der er auf die *metaphysica generalis*, also auf die allgemeine Metaphysik beschränkt wird.

Für die Diskussion um den Ontologiebegriff der Informatik ist es wesentlich, seine ursprüngliche Verwendung zu verstehen, auch wenn sie heute – wie im folgenden gezeigt wird – in dieser Ausschließlichkeit nicht mehr haltbar ist. Denn im Zuge unseres Diskurses wird deutlich, dass es unabdingbar ist, mit Pkt. 3.5 zwischen verschiedenen ontologischen Welttypen zu differenzieren. Das gilt in zweifacher Hinsicht: zum einen, um die große Konfusion um die Ontologie nach fünf Jahrzehnten beenden zu können, wie es in wissenschaftlicher Hinsicht angezeigt ist. Zum anderen, um eine wirklich präzise Semantik im Zuge kritischer Prozessintelligenz schaffen zu können, wie es in technologischer Hinsicht im Zeichen der CPSS-Adäquanz notwendig wird. Das läuft gleichzeitig auf eine Ontologiekonzeption hinaus, die entgegen aller bisherigen Entwürfe mit ihren Defiziten und Defekten den Weg zur Superintelligenz nicht von vornherein verstellt. Auch das kann mit Blick auf die umfassenden Investitionen, die der Aufbau stabiler Ontologiebibliotheken einfordert, allein zukunftsweisend sein; nicht etwa Ontologiekonzepte, die sich bereits mittelfristig als Irrweg entpuppen. Für den klassisch metaphysischen Ontologiebegriff im Sinne Wolffs (1730) ist ein Kriterium entscheidend, und dieses besteht in der *Erfahrbar-*

¹⁸⁶⁸ Vgl. Goclenius (1613: 16), unter dem Stichwort "*abstractio*".

¹⁸⁶⁹ Vgl. hierzu im Einzelnen Rompe (1968).

keit ontologischer Sachverhalte. Tatsächlich ist es dieses Kriterium, das den Ontologiebegriff ursprünglich fundamental vom Metaphysikbegriff unterscheidet. Dabei ist es dieser Aspekt, der letztlich auch zentral für die Einführung des Ontologiebegriffs überhaupt war.

Insofern ist eine sachgerechte Metaphysik immer nur eine ratio-empirische; es ist eine *Metaphysik der Erfahrung*, wie sie das Perzeptionsmoment der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik eröffnet. Dabei ist der *Ratio-Empirismus* der Whiteheadschen Metaphysik bereits mit dem Wechselspiel von *Metaphysica* und *Scientia generalis* bei Leibniz angelegt. Demgegenüber kennt der ungleich ältere vor Leibniz verwendete Metaphysikbegriff diese strikte Einschränkung von Wolffs (1730) *metaphysica generalis* auf *erfahrbare ontologische Sachverhalte* gerade nicht; im Unterschied zur Ontologie basiert die *spezielle* Metaphysik, Wolffs (1730) *metaphysica specialis*, auf der spekulativen Methode.¹⁸⁷⁰ Mit dem Fehlen eines empirischen Ankers sind metaphysische Debatten auf Basis eines reinen Rationalismus regelmäßig ins willkürlich Spekulative abgeglitten, worin nicht zuletzt die wesentliche Motivation von Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft* auszumachen ist. Insofern ist Van Fraassen (2002) darin zuzustimmen, dass die *analytische Metaphysik* im Zeichen *reiner Modalmetaphysik* einen Rückfall in den Metaphysikstil des siebzehnten Jahrhunderts bedeutet. Diese *Erfahrbarkeit ontologischer Sachverhalte* spielt nach wie vor eine zentrale Rolle, was in Pkt. 4.1 mit der Notwendigkeit deutlicher wird, nicht nur verschiedene Metaphysiktypen abzugrenzen, sondern mit der *wissenschaftlichen Metaphysik* (Scientific Metaphysics), die genauer besehen eine *Technoscientific Metaphysics* sein muss, gerade einen solchen empirischen Anker präzisen objektiven Wissens im Sinne Einsteins (1934) strikt vorauszusetzen. Aber selbst mit diesem empirischen Anker ist es wenig sinnvoll, wie Bunge den Ontologiebegriff mit dem Metaphysikbegriff gleichsetzen zu wollen. In der Tat wird in der aktuellen Debatte etwa mit Varzi (2011) nicht nur strikt zwischen ihnen differenziert, wenn er irrtümlich Ontologie ohne Metaphysik einfordert.¹⁸⁷¹ Indessen basieren sie tatsächlich immer auf unterschiedlichen Methoden, die allein mit dem *Ratio-Empirismus* kombiniert werden, der somit Metaphysik und Ontologie koppelt.

Die Informatik ist vor diesem Hintergrund gut beraten, diese ursprüngliche, etymologische Differenzierung zwischen Ontologie und Metaphysik aufrechtzuerhalten, wobei sich diese Empfehlung allein im Exkurs auf Kant (1781) verstehen lässt. Dieser baut auf Wolffs

¹⁸⁷⁰ Allein auf ihrer Basis wird es möglich, ausgehend von einer empiristischen Universalsynthese im Zuge rationaler Abstraktion zu universalen, transdisziplinären Kategorien zu gelangen: »Speculative Philosophy is the endeavour to frame a coherent, logical, necessary system of general ideas in terms of which every element of our experience can be interpreted«, vgl. Whitehead (1929a: 3). Genau darin besteht die zentrale Aufgabe wissenschaftlicher Metaphysik, womit sich im Zeichen des Ratio-Empirismus auch ihr Rationalismus erklärt: »Philosophers are rationalists. They are seeking to go behind stubborn and irreducible facts: they wish to explain in the light of universal principles the mutual reference between the various details entering into the flux of things. Also they seek such principles as will eliminate mere arbitrariness; so that, whatever portion of fact is assumed or given, the existence of the remainder of things shall satisfy some demand of rationality. They demand meaning. In the words of Henry Sidgwick – ‘It is the primary aim of philosophy to unify completely, bring into clear coherence, all departments of rational thought [...]’«, vgl. Whitehead (1925: 142).

¹⁸⁷¹ Das liegt indessen wiederum daran, dass das Metaphysikverständnis Varzis (2009) an sich unhaltbar ist.

(1730) klassischer Systematik auf. Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft* ist natürlich keine Ontologiekritik, sondern eine reine *Metaphysikkritik*, wobei Metaphysik bei ihm in keiner Weise in dem Sinne verstanden wird, wie sie heute als techno-wissenschaftliche Metaphysik vertreten wird. Anders gewendet erstreckt sich Kants Metaphysikkritik allein auf die veraltete reine und exakte Metaphysik, wie sie in Pkt. 4.1 abgegrenzt werden. Tatsächlich zielt die Kantische Metaphysikkritik nicht auf Wolffs (1730) allgemeine Metaphysik, also auf die *metaphysica generalis*, sondern allein auf die *spezielle* Metaphysik, Wolffs (1730) *metaphysica specialis*;¹⁸⁷² und hier noch nicht einmal auf die gesamte spezielle Metaphysik, sondern lediglich auf einen kleinen Ausschnitt letztlich bewusst ausgesuchter Fragestellungen.¹⁸⁷³ Während unter die spezielle Metaphysik alle spekulativen Momente im Sinne *möglicher* Welten fallen,¹⁸⁷⁴ ist die Ontologie im heute nicht mehr aufrechtzuerhaltenden klassischen Zuschnitt allein auf die *aktuale* Welt bezogen. Der Existenzgesichtspunkt in der metaphysischen Ontologie Wolffs (1730) ist also ein realer; die Ontologie bezieht sich insofern ausschließlich auf die aktuelle Welt, als ihre ontologischen Sachverhalte *erfahrbar* sind. Vor diesem Hintergrund ist die Methode der Ontologie als *allgemeiner Metaphysik* im Kontext der *aktualen Welt* deskriptiv, was jedoch nicht mit der deskriptiven Metaphysik gleichzusetzen ist. Vielmehr weist das Moment der Erfahrung auf die erforderliche Kohärenz mit den Erfahrungswissenschaften; die Metaphysik ist zu diesen als durchgängig zu gestalten, was sie in der deskriptiven Metaphysik gerade nicht ist.

Auch ist die Methode der Ontologie mit Heidegger (1927: 35) und Bergmann (1992: 317) durchaus phänomenologisch, jedoch weist dies genauso wenig auf die Phänomenologie. Vielmehr ist dieses phänomenologische Moment im perzeptiv-kognitiven Sinne von Whiteheads Subjekt-Superjekt zu verstehen und wissensontologisch somit im Sinne von Poppers W2-Ontologie. Dabei bleibt es allerdings nicht, indem im Whitehead-Popperschen Sinne das ontische primär ist. D.h., dass die subjektive W2-Ontologie im erfahrungswissenschaftlichen Sinne methodologisch in eine objektive W3-Ontologie zu transformieren ist. Darin besteht gerade im Sinne des IMKO OCF das zirkuläre Wechselspiel zwischen metaphysischer Ontologie und Wissensontologie, indem die Richtigkeit der metaphysischen Kategorien allein vor dem Hintergrund transdisziplinär zu verstehender *Scientific Ontologies* beurteilt werden kann. Genau darum geht es im Whitehead-Popperschen Ratio-Empirismus. Das metaphysische Kategoriensystem ist demgegenüber notwendig hypothetisch; es gründet somit im Ratio-Empirismus wie bei der *speziellen Metaphysik* auf der spekulativen Methode. Im Ratio-Empirismus bezieht sich diese primär, wenn nicht ausschließlich auf die aktuelle Welt; im Kontext der speziellen Metaphysik geht es genauso um diese, während zudem das Moment *möglicher Welten* noch stärker im Sinne der spekulativen Methode akzentuiert werden kann. Denn in einigen Bereichen der speziellen Metaphy-

¹⁸⁷² Vgl. hierzu ergänzend Ando (1963: 40 ff.).

¹⁸⁷³ Vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 4.1, insbes. Fn. 2581.

¹⁸⁷⁴ Der *Metaphysikbegriff* wird auch in der Informatik mitunter genau in diesem Sinne *möglicher Welten* verwendet, vgl. bspw. Steinhart (1998), insbes. p. 125.

sik gestaltet diese sich nach wie vor als rein rationales Unterfangen, das deduktiv bzw. im logischen Sinne beweisend ist. Indem Teil der klassischen AI-Ontologie an der Modalmetaphysik der Analytischen Philosophie festmachen, wird deutlich, dass Wolffs (1730) Differenzierung von *metaphysica generalis* und *metaphysica specialis* einschließlich des Moments der *Erfahrbarkeit ontologischer Sachverhalte* für das Verständnis der Ontologiedebatte erforderlich ist. Denn die AI-Disziplin benötigt mehrere Ontologiemodi, die jedoch streng zueinander abzugrenzen sind, damit für maschinelle Agenten eine umfassende Weltansicht möglich wird, die Fehlentscheidungen systematisch ausschließt.

Demgegenüber stellt sich die *Erfahrbarkeit ontologischer Sachverhalte* in der Informatik in heterogener Weise dar. In Bezug auf die erste AI-Generation ist festzustellen, dass mit der deskriptiven Metaphysik diese Erfahrbarkeit gerade nicht gilt. Indem der ganze Ontologiedanke wesentlich im Zeichen der ersten AI-Generation steht, lässt sich verallgemeinern, dass die *Erfahrbarkeit ontologischer Sachverhalte* in der Informatik zumeist keinen Bestand hat. Genau darin besteht eines ihrer Kernprobleme. In Bezug auf die zweite AI-Generation stellt sich dieser Sachverhalt zwar insgesamt gänzlich anders dar, als die dort maßgebliche "*embodied-embedded*" Variante der Kognitionswissenschaft gerade auf das Moment der Perzeption bzw. Erfahrung abstellt. Allerdings geht es bei ihr zwar um Heideggersche Metaphysik, jedoch kaum umfassend um Ontologie, weder im Sinne der *metaphysica generalis* noch im Sinne der *Wissensontologie*. Denn für die zweite AI-Generation gilt im Wesentlichen der Gedanke der direkten Agent-Umweltinteraktion im Sinne eines *ad hoc* Erlernens relevanter Sachverhalte. Maßgeblich ist hier also das lokale Weltmodell, das im kognitiven Sinne neuronaler Netze verstanden wird, keine globalen Weltmodelle, wie sie etwa mit der Metaphysik als Disziplin oder mit einer externen Wissensontologie vorgegeben werden. Die metaphysischen bzw. nachgeordneten epistemologischen und methodologischen Defizite sind entsprechend bei der zweiten AI-Generation nicht geringer als bei der ersten. Der Kardinalfehler der zweiten AI-Generation besteht in einer isolierten Agentenauffassung, für die im Sinne subjektiver Lernaspekte das konstruktivistische Moment vorausgesetzt wird. Von einem expliziten metaphysischen Realismus wird genauso abgesehen wie von objektivem Wissen. Vor allem wird auch nicht sachgerecht von komplexen Systemen ausgegangen wie von dem Umstand, dass alle Agenten im MAS-Sinne systemisch verkoppelt sind. Das eröffnet sowohl die regionale als auch die globale Intelligenz, die jenseits der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* jeweils in dem System selbst zu denken ist. Insofern wird die dritte AI-Generation unabdingbar, die zwischen lokaler, regionaler und globaler Intelligenz differenziert. Diese Unterscheidung ist für eine hybride Ontologie- bzw. Agentenarchitektur elementar.

Vor diesem Hintergrund wird die Ontologie sowohl in der ersten als auch zweiten AI-Generation fälschlicherweise als *epistemologische* Ontologie ausgelegt, die den metaphysischen Realismus durch eine konstruktivistische bzw. phänomenologische Position ersetzt. Der Agent ist *Subjekt*, nicht mehr und nicht weniger, während das globale Moment, das der

Leibniz-Whiteheadschen *techno-wissenschaftlichen* Metaphysik inhärent ist, unberücksichtigt bleibt. Allein über eine solch *revisionäre Metaphysik der Erfahrung* erklärt sich die reale Existenz im Sinne von Wolffs (1730) *metaphysica generalis*, während die deskriptive Metaphysik auf einer definitorischen Existenz von Entitäten gründet. Diese lässt sich sowohl im Sinne von Wittgenstein I als auch von Wittgenstein II verstehen, d.h. sowohl im Zeichen logico-mathematischer Diskursuniversen (UoD) als auch im Zeichen der Alltagssprache. Insofern ist die deskriptive Metaphysik auch maßgeblich durch die Standpunkte der analytischen Ontologie resp. Metaphysik geprägt. Teilweise zeigt sie sich jedoch auch unmittelbar durch die Position Quines bestimmt, wie es für den Ontologiebegriff Mealys (1967) bzw. McCarthys (2000: 45) gilt, während der Metaphysikbegriff bei McCarthy/Hayes (1969) noch anders akzentuiert ist.¹⁸⁷⁵ Indessen besteht gerade zwischen Wittgenstein II und Quine ein maßgeblicher Unterschied, indem es bei erstem im Sinne von Alltagssprache um eine *definitorische* Existenz geht, während für zweiten letztlich der Empirismus bzw. Naturalismus elementar ist. Mit diesem beschränkt sich die Existenzfrage der Ontologie schließlich auf die reale Existenz. Der zentrale Unterschied zwischen Mealy (1967) und McCarthy/Hayes (1969) besteht darin, dass es bei Mealys (1967) Ontologieverständnis in der IS-Bezogenheit der Datenmodellierung letztlich rein um *Realitätsrepräsentationen* geht, während diese zwar auch für McCarthy/Hayes (1969) die elementare Richtung vorgibt, sie aber im AI-Kontext dennoch auch mit rein logisch verstandenen *möglichen Welten* operieren. Konsequenterweise sprechen sie vor diesem Hintergrund im Unterschied zu Mealy (1967) auch nicht von *Ontologie*. Das geschieht erst zehn Jahre später, nämlich bei Hayes (1979, 1985a, 1985b) bzw. bei McCarthy (1980). Dabei wird *Ontologie* bei McCarthy (1980: 31) im Zeichen von "the things that exist" verstanden.

Demgegenüber mutiert die AI-Ontologiekonzeption mit Genesereth/Nilsson (1987) – und darauf aufsetzend mit Gruber (1993, 1995) – zu einem *logisch beliebigen* definitorischen Existenzverständnis. In diesem Sinne stimmt das populäre AI-Ontologiekonzept Grubers fundamental nicht mehr mit jenen metaphysischen AI-Konzepten überein, die von einem realen Existenzbegriff ausgehen. Einigen AI-Vertretern wie Hobbs (1985a) ist die Problematik einer von *erfahrbaren ontologischen Sachverhalten* abstrahierenden AI-Ontologiekonzeption klar, wenn in konträrer Position zu Hayes (1985a, 1985b) wie implizit insbesondere zu Genesereth/Nilsson (1987) oder Gruber (1993, 1995) konstatiert wird:

»My guess is that this ontology is generally too far from scientific truth to ensure success and too sparse to help in specifying the semantics of any but the most closely related constructs. For reasons like these, I find myself quite skeptical about whether specifying the semantics of our notation will go very far in ensuring the success of our robot. But I suspect I am in the minority here; Hayes argues the opposite case persuasively.«¹⁸⁷⁶

¹⁸⁷⁵ Im Gegensatz zu Mealy (1967) sprechen McCarthy/Hayes (1969) nicht von *Ontologie*, sondern von *metaphysisch adäquaten Repräsentationen*, was nur bedingt der *metaphysica generalis* also der Ontologie zuzurechnen ist. Denn McCarthy/Hayes (1969) bemühen rein logisch verstandene *mögliche Welten*, während die klassische philosophische Ontologie mit Wolff (1730) auf die aktuelle Welt bezogen ist.

¹⁸⁷⁶ Hobbs (1985a: xx).

Dessen ungeachtet hat sich die AI-Tradition nicht an McCarthy oder Hobbs orientiert, wie es im Hinblick auf ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis eigentlich angezeigt gewesen wäre. Vielmehr hat sie mit Genesereth/Nilsson (1987), Gruber (1993, 1995) und Epigonen auf Basis *rein linguistischer* Ontologien einen Weg eingeschlagen, der ihr heute bei komplexen Integrationsszenarien, Prozessintelligenz, autonomer Robotik oder der Informationsfusion von CPS genauso zum Verhängnis wird wie im Zuge der sachgerechten Repräsentation wissenschaftlichen Wissens. Der damit begangene Kardinalfehler besteht nicht nur im fehlenden systematischen Realitätsbezug, nicht nur in fehlenden Top-level Kategorien wie in einer fehlenden Klärung aller fundamentalen Fragen der meta-ontologischen Kriterien. Vielmehr ist er nicht zuletzt auch in völlig unangemessenen Wahrmachern (Truthmakers) zu suchen. Denn die Wahrmacher linguistischer AI-Ontologie bestehen nicht mehr in der Korrespondenz mit der Realität, sondern in logischer Kohärenz, d.h. logischer Widerspruchsfreiheit, oder aber im einfachen Konsens ihrer Verfechter. Es sollte nachvollziehbar sein, dass allein mit diesen Wahrmachern bei komplexen Integrationsszenarien genauso wenig gearbeitet werden kann wie in komplexen Wissensdomänen: Bspw. beruht die in Ontologiefragen fortschrittliche Biomedizin im Allgemeinen und die Genforschung im Speziellen gewiss nicht auf ihnen, wenn es um Wissensrepräsentation geht.

Mit der ausschließlich verfolgten definitorischen Existenz von Entitäten im Sinne logico-mathematischer Diskursuniversen (UoD) drehen sich linguistische Ontologien gerade nicht mehr um die erfahrbare physisch-materiale Welt, sondern ganz allgemein um Diskursuniversen, in denen die Existenz von Sachverhalten im Sinne von Wittgensteins (1921) *logischen Raum* jederzeit beliebig logisch-mathematisch definierbar ist. Tatsächlich rekurren linguistische Ontologien primär nicht auf die aktuelle empirisch erfahrbare Welt, sondern auf das aus der mathematischen Logik stammende *Universe of Discourse* (UoD), dessen Ursprung implizit auf De Morgan (1847) und explizit auf Boole (1854) zurückgeht.¹⁸⁷⁷ Mit ihm ist es möglich, auf Basis *möglicher Welten* zu operieren, die auch das Kontrafaktische bzw. Fiktive eröffnen, indem mit Gruber (1993, 1995) die Existenz der Dinge allein durch die Frage beschränkt ist, was sich in AI-Systemen repräsentieren lässt.

Die *Erfahrbarkeit ontologischer Sachverhalte* ist für den klassischen philosophischen Ontologiebegriff insofern elementar, als damit die Ontologie zum einen wissenschaftliche bzw. besser: *erfahrungswissenschaftliche Ontologie* ist, und ihre Aussagen im Sinne Bunge (1971, 1973) *allgemeinste Theorie* sind. Insofern kann hier im Unterschied zu regionalen Ontologien auch von *universaler Ontologie* gesprochen werden. Aus der Erfahrbarkeit ontologischer Sachverhalte folgt als Konsequenz, dass auch die Wahrheit ontologischer Aussagen an ihr festzumachen ist, was zur *Korrespondenztheorie der Wahrheit* als legitimen Wahrmacher (Truthmaker) und einem entsprechenden Stellenwert erfahrungswissenschaftlicher Theorie führt. Diese lässt empirisch überprüfbare Existenzaussagen zu.

¹⁸⁷⁷ Während De Morgan (1847) von einem im logisch-mathematischen Sinne gemeinten *Universe* spricht, ist es Boole (1854), der explizit auf das *Universe of Discourse* abstellt und dies umfassend definiert.

Wenn es in Pkt. 4.1 um die Frage einer adäquaten metaphysischen Fundierung integrierter Ontologiekonzeptionen geht, ist vor diesem Hintergrund evident, dass die für die Informatik notwendige metaphysische Klammer nicht in einer Modalmetaphysik der Analytischen Philosophie bestehen kann. Vielmehr kann diese im Sinne eines erfahrungswissenschaftlichen Ankers allein in einer *wissenschaftlichen* Metaphysik gegeben sein. Das schließt keineswegs aus, dass die Modalmetaphysik ergänzend eine wesentliche Rolle spielen kann, was sich für die Informatik tatsächlich auch anbietet. Indessen gilt aber auch hier, dass der Realitätsbezug in Form der *Erfahrbarkeit ontologischer Sachverhalte* elementar ist, wobei der empirische Anker letztlich allein in objektiven erfahrungswissenschaftlichen Theorien bestehen kann. Somit wird bereits an dieser Stelle deutlich, dass es entgegen Varzi (2011) unmöglich ist, Ontologie von der Metaphysik zu separieren. Diese Möglichkeit ist schon aus dem Grunde verwehrt, indem die Ontologie als solche ihre universalen Kategorien nur auf metaphysischer Basis verteidigen kann. Indessen kann sie diese selbst nicht finden, weil dies nur auf Basis der spekulativen Methode auf deduktivem Wege möglich ist. – Entsprechend ist dies im Zeichen des *Ratio-Empirismus* allein der Metaphysik vorbehalten.

3.3.1 Ontologieklassifikation für integratives *Ontology Engineering* (OE)

»Modelling and implementing ontology has become an engineering discipline, *Ontology Engineering*, which refers to the set of activities that concern the ontology development process and the ontology lifecycle, the methods and methodologies for building ontologies, and the tool suites and languages that support them.«

— Soumaya El Kadiri et al. (2016: 18)

Die in Pkt. 3.4 im Einzelnen kritisierte Ontologieauffassung Grubers (1993, 1995) ist für die Informatik mit Blick auf die Systemintegration genauso fehlleitend wie mit Blick auf das Erfordernis einer transdisziplinären Wissensrepräsentation. Ontologie ist als *Wissens-ontologie* dann richtig verstanden, wenn Wissen nicht chaotisch bzw. ordnungslos, sondern vielmehr in *systematischer* Weise repräsentiert wird. Eine integrierte Ontologiekonzeption zielt gerade auf eine solche *systematische Wissensrepräsentation*, und zwar in dreifacher Weise: sie hat (i) den transdisziplinären Austausch zwischen allen Domänen über die *Top-level Ontologie* und integrative Kernontologien wie der *Enterprise Ontology* als gemeinsamer Referenzebene in geordneter Weise zu ermöglichen; sie muss dabei (ii) praktische Ontologien auf technologischen aufbauen lassen, genauso wie technologische auf wissenschaftlichen Ontologien; womit sie schließlich (iii) die Übergänge zwischen den in Pkt. 3.5 differenzierten Welttypen auf Basis einer metaphysisch verwurzelten emergentistischen Ontologiekonzeption zu gewährleisten hat. Der erste Schritt zu einem systematischen *Ontology Engineering* (OE) bildet entsprechend eine Ontologieklassifikation, von der Gruber gänzlich abstrahiert. Deren Ziel besteht darin, die disparaten *Ontologiearten* und *On-*

tologietypen der Informatik zu klassifizieren,^{1878, 1879} um ihr störungsfreies Zusammenspiel zu arrangieren. Das ist prinzipiell auf Basis folgender fünf Kriterien möglich:

- (1) *Allgemeinheitsgrad*: regionale vs. universale Ontologien
- (2) *Wiederverwendbarkeitsgrad*: Anwendungs- vs. Referenzontologien
- (3) *Komplexitätsgrad*: einfache vs. komplexe Ontologien
- (4) *Inferenzgrad*: Ontologien ohne/mit automatischem Schließen (Logiktypen)
- (5) *Formalisierungsgrad*: informale vs. formale Ontologien (Explikationsgrad)

Diese fünf Klassifikationskriterien sind jeweils im Sinne eines Spektrums zu verstehen: So gibt es etwa ad (3) *unkomplexe und komplexe* Ontologien,¹⁸⁸⁰ oder ad (5) *informale und formale* Ontologien.¹⁸⁸¹ Dabei lassen sich die Kriterien (1) und (2) zusammenfassen, indem Ontologien *nach ihrem Grad an Allgemeinheit* differenziert werden, wobei ihre Wiederverwendbarkeit direkt von der Frage des Allgemeinheitsgrads abhängt. Dieses Kriterium betrifft die Gruppe der *Ontologiearten*, die weiter unten im Einzelnen differenziert wird. Demgegenüber lässt sich mit den Kriterien (3), (4) und (5) eine zweite Gruppe der *Ontologietypen* abgrenzen, indem der Explikations- und Formalisierungsgrad mit dem Inferenz- sowie Komplexitätsgrad positiv korreliert sind. Diese zweite Gruppe lässt sich auf den Gegensatz von *Lightweight- vs. explikativen Heavyweight-Ontologien* verkürzen.

Zunächst ist ausführlicher auf die Differenzierung der *Ontologiearten* einzugehen, daran anschließend werden die *Ontologietypen* näher erörtert. Eine gängige Klassifikationssystematik stammt von Guarino (1998); mit ihr wird nach dem *Grad an Allgemeinheit* zwischen vier Arten von Ontologien differenziert: der *Top-level Ontologie* (top-level ontology), der *Domänenontologie* (domain ontology), der *Aufgabenontologie* (task ontology) sowie der *Anwendungsontologie* (application ontology), wobei letztere in anderen Systematiken auch als *lokale Ontologie* (local ontology) oder als *werks- bzw. betriebspezifische Ontologie* (site specific ontology) bezeichnet wird. Dabei besteht in der *Top-level Ontolo-*

¹⁸⁷⁸ Mit den *Ontologiearten* sind die unten dargelegten sieben Varianten gemeint; demgegenüber ist mit *Ontologietypus* der generelle Typus gemeint, was zuvorderst auf die Differenzierung von *Scientific Ontologies*, *technologischen Ontologien* sowie *praktischen Ontologien* hinausläuft. Praktische Ontologien umfassen dabei auch den *Common Sense*, und zwar generell. Speziell bei CYPO FOX fällt der *Common Sense* unter die *Technopraxis*; d.h. dieser ist prinzipiell, also im relevanten Fall, auf *technologische Ontologien* zu beziehen (vgl. dazu Pkt. 3.5). Nur technologisch irrelevante Bereiche sind von dieser Referenz befreit. Entsprechend gibt es hier etwa keine *Naïve Physics*, die im Widerspruch steht zu *Scientific Ontologies* bzw. *technologischen Ontologien*; wohl aber lassen sich rein soziale Diskurswelten auf Basis von Konzepten fassen, wobei jedoch die Verpflichtung der universalen TLO-Referenz bleibt. Insgesamt wird deutlich, dass auch die Differenzierung zwischen *Heavyweight- vs. Lightweight-Ontologien* unter die Frage des Ontologietypus fällt, indem erste mit den *Scientific Ontologies* bzw. *technologischen Ontologien* verbunden ist, während zweite in davon abgewandelter, vereinfachender Form insbesondere im Kontext einfacher praktischer Anwendungsontologien zum Einsatz kommen können.

¹⁸⁷⁹ Während bereits das Erfordernis zur Ausdifferenzierung verschiedener *Ontologiearten* mit Guarino (1998) zwar unstrittig ist, jedoch selten praktiziert wird, gilt dies für die Differenzierung von *Ontologietypen* umso mehr. Zumindest Sowa (2015) erkennt auch diese Notwendigkeit, wenn er nunmehr zwischen *Scientific ontology*, *Design ontology* [praktisch] und *Engineering ontology* [technologisch] differenziert. Die hier verwendete Dreiteilung scheint dabei mit Blick auf die Bezeichnungen sowie das hierarchische Verhältnis der drei Ontologietypen eingängiger, vgl. dazu Fn. 1878.

¹⁸⁸⁰ Vgl. hierzu etwa das Spektrum bei Smith/Welty (2001: v).

¹⁸⁸¹ Vgl. hierzu etwa das Spektrum bei Guarino/Oberle/Staab (2009: 13).

gie ad (1) die allgemeinste Ontologie; bei ihr handelt es sich *prinzipiell* um die durch Steimann/Nejdl (1999: 5) postulierte *Universalontologie*. Ihre Funktion als *universale Ontologie* gilt auch dann, wenn deutlich wird, dass nicht alle TLO-Ansätze tatsächlich dieses eigentlich typische TLO-Kriterium erfüllen. Indem der Wiederverwendbarkeitsgrad positiv mit dem Allgemeinheitsgrad korreliert ist, gilt ad (2), dass die Top-level Ontologie in ihrer Eigenschaft als allgemeinste Theorie auch den höchsten Wiederverwendungsgrad aufweist.

Im Gegensatz zu Guarino (1998) differenzieren Semy/Pulvermacher/Obrst (2004) die Ontologiearten anders: sie unterscheiden zwischen einer *Upper-Ontology* (Top-level Ontologie), einer *Mid-level Ontology* sowie einer *Domain Ontology*. Zwischen der Top-level Ontologie und der Domänenontologie wird also noch eine mittlere Ebene eingezogen. Dieser Unterschied zu Guarino (1998) ist wesentlich, indem diese mittlere Ebene eine fachbezogene Integrationsschicht darstellt, der – wie im Fall der *Smart Enterprise Integration* (SEI) – überaus zentrale Integrationsfunktionen zukommen. Sie wird im Allgemeinen als *Kernontologie* (Core Ontology) oder auch als *Kernreferenz-Ontologie* (Core reference Ontology) bezeichnet.¹⁸⁸² Diese Kernontologie hat als oberste fachspezifische Ontologie ihren Platz zwischen universaler Top-level Ontologie und den Domänenontologien, wie es weiter unten mit Abb. 3 illustriert wird. Im Fall des *U-PLM-Referenzszenarios* handelt es sich entsprechend um die PLM-Core Ontology (PLM-CO), die in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* durch eine IoX-adäquate *Enterprise Ontology* (EO) vollständig abgedeckt werden kann bzw. sollte.¹⁸⁸³ Denn die Abdeckung der PLM-CO durch die EO ist jenseits ihrer allgemeinen Integrationsfunktion aus dem Grunde zu empfehlen, da es ansonsten zu wesentlichen Prozessüberschneidungen kommt: In aller Regel sind gerade die *Kernprozesse* in typischen produzierenden Industrien *PLM-Prozesse* (et v.v.):¹⁸⁸⁴ Jede in Abb. 1 dargestellte U-PLM-Phase markiert einen Hauptprozess im BPM-Sinne, wie es anhand der BPM-PLM-Integration deutlich wird. Sind EO und PLM-CO in praxi koexistent, müssen beide korrespondieren. Denn diese ontologische Koexistenz bedingt in etwa analog zur Koexistenz von BPM-Prozessen und PLM-Workflows aufwändige Abstimmungen, Doppelarbeiten sowie die Gefahr problematischer Inkonsistenzen. Aus diesem Grunde sollte im Zeichen einer strikt verfochtenen BPM-PLM-Integration von vornherein von einem kritischen Nebeneinander sich überlappender Ontologien abgesehen werden.

Eine denkbare Strategie besteht mit Verweis auf den zweiten Teil darin, die PLM-CO direkt als *Enterprise Ontology* (EO) zu konzipieren. Alternativ müssten sich bestehende EO-Ansätze gerade auch in ihrer Funktion als PLM-CO bewähren können. Diese Basisan-

¹⁸⁸² Im Unterschied zur vielzitierten Einteilung der Ontologiearten bei Guarino (1998) wird die *Core Ontology* bei Guarino/Oberle/Staab (2009) nunmehr erwähnt. Allerdings wird dabei weder auf das wesentliche Zusammenspiel zwischen *Top-level Ontologie* und *Core Ontology* eingegangen noch werden beide hinreichend differenziert.

¹⁸⁸³ Mostefai/Bouras (2006) diskutieren vor diesem Hintergrund etwa die TOVE-EO sowie die EEO bzw. AIAI-EO in ihrer Eignung als PLM-Ontologie.

¹⁸⁸⁴ Nicht sämtliche *PLM-Phasen* bilden im Zeichen von *Hauptprozessen* im BPM-Sinne tatsächlich *Kernprozesse*; dennoch ist dies ganz überwiegend der Fall.

forderung ist insofern zwingend voraussetzbar, als sämtliche EO-Ansätze ihrer Natur als integrative Kernontologie nach auf die *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu zielen haben. Wie mit dem zweiten Teil gezeigt, scheitern bisherige EO-Entwürfe allerdings in verschiedener Hinsicht an dieser Basisanforderung. Das betrifft etwa ihre CPSS/SEA-Inadäquanz, die fehlende TLO-EO-Verkopplung oder die fehlende Lebenszyklusorientierung, die mit dem 4D-PPRLT-Framework einzufordern ist. Somit ist die Notwendigkeit eines EO-Neuentwurfs impliziert, der in Form einer kritischen EO-Synthese vollzogen werden sollte.

Mit dem U-PLM-Lebenszykluskonzept rückt die TLO-Referenz der Kernontologie im Zuge der *Smart Enterprise Integration* (SEI) insofern in den Mittelpunkt, als die EO-Kategorien mit den TLO-Kategorien zu korrespondieren haben. Dabei müssen beide kategorialen Ebenen, etwa im Hinblick auf die Verhältnisbestimmung von Objekten und Ereignissen, den damit zusammenhängenden *evolutionären Zyklen* auch tatsächlich gerecht werden können: Ereignisse, Prozesse, Relationalität, Komplexität oder Objektlebenszyklen bilden jene Sachverhalte, die ein IoX-adäquater TLO-Theorieanwärter in fundamentaler Hinsicht in den für intelligente U-PLM-Systeme relevanten wissenschaftlichen, technologischen wie praktischen Ontologiemodi abbilden können muss. Mit diesen EO-typischen Forderungen konfrontiert, werden im Zuge jeder TLO-Evaluierung auch die Defizite und Defekte der tradierten TLO-Ansätze ersichtlich, die sich partiell mit jenen der tradierten EO-Ansätze überschneiden. Über die Unzulänglichkeiten bestehender EO-Ansätze hinausgehend kommen noch jene der tradierten TLO-Ansätze insofern hinzu, als bei allen bisherigen EO-Ansätzen eine mehr oder weniger ausgeprägte TLO-Referenz gegeben ist.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, welche zentrale Rolle der Ontologieklassifikation als Basis des *Ontology Engineering* (OE) zukommt: wie im folgenden Pkt. 3.3.2 eingehend gezeigt, wird mit der TLO-Referenz der Kernontologie deutlich, dass in der Tat die *Top-level Ontology* den systematischen Ausgangspunkt des *Ontology Engineering* bilden muss. Mit anderen Worten ist die Kernontologie mit ihren Kategorien systematisch auf dem TLO-Fundament zu errichten. Von einem solch systematischen Procedere ist die Ontologiepraxis noch ein gutes Stück entfernt, was vor allem darauf zurückgeht, dass nach wie vor weitgehende Unklarheit in der Frage besteht, wie ein sachgerechter OE-Ansatzpunkt überhaupt zu konzipieren ist. Dies wird in den nachfolgenden Kapiteln im Sinne des einzig CPSS-adäquaten *realistischen OE-Ansatzpunkts* Schritt für Schritt erarbeitet, wobei anhand der Abb. 3 weiter unten bereits deutlich wird, dass die eigentliche Grundlage von allem in der transdisziplinären techno-wissenschaftlichen Metaphysikebene als systemischer Meta-Ontologie besteht, wie sie in Pkt. 4.1 erörtert wird. Denn nur auf dieser Basis lässt sich eine realistisch-revisionäre *Top-level Ontologie* als tatsächlich *universale Ontologie* errichten. – Während bei Guarino (1998) die elementare *Kernontologie* übersehen wird, fehlen bei Semy/Pulvermacher/Obrst (2004) demgegenüber die Aufgaben- und die Anwendungsontologie, die als Ontologiearten genauso unverzichtbar sind. Allerdings ist dabei wiederum abweichend von Guarino (1998) die Aufgabenontologie noch weiter zu

differenzieren, indem mit Blick auf die Wiederverwendbarkeit zwischen Aufgaben- und Methodenontologien zu trennen ist. Denn ad (2) kann ihr Wiederverwendbarkeitsgrad nicht nur in erheblichem Maße differieren, sondern er lässt sich auch oftmals insgesamt steigern, indem man die Methoden ontologisch von den Aufgaben separiert. Geht es darum, Ontologien nach ihrer Funktion unter Maßgabe ihres Allgemeinheitsgrads zu differenzieren, lassen sich somit insgesamt sieben grundsätzliche *Ontologiearten* unterscheiden:

- (i) *Top-level Ontologie* [Top-level Ontology / Foundational Ontology; PLM-TLO]
- (ii) *Kernontologie* [Core Ontology; PLM-CO / Enterprise Ontology]
- (iii) *Domänenontologie* [Domain Ontology; PLM-DO]
- (iv) *Methodenontologie* [Method Ontology; PLM-MO]
- (v) *Aufgabenontologie* [Task Ontology; PLM-TO]
- (vi) *Funktionsontologie* [Functional Ontology; PLM-FO]
- (vii) *Anwendungsontologie* [Application Ontology / Local Ontology; PLM-AO]

Alle sieben grundsätzlichen Ontologiearten bilden den Gegenstand des *Ontology Engineering*; also auch die *Top-level Ontologie* als fundamentale Ontologie.¹⁸⁸⁵ OE-Resultat sind Ontologien als *Engineering Artefakte*.¹⁸⁸⁶ Wesentlich bei dieser Modellierung ist dabei der Unterschied zwischen (vii) *Anwendungsontologien* und *Referenzontologien*, die die Ontologiearten (i) bis (vi) kennzeichnen. Die hierarchische Beziehung dieser sieben Ontologiearten wird anhand der nachfolgenden Abb. 3 illustriert, um diese daran anschließend im Einzelnen zu erörtern:¹⁸⁸⁷

¹⁸⁸⁵ Vgl. auch Little (2003).

¹⁸⁸⁶ Vgl. etwa D'Aquin/Gangemi (2011).

¹⁸⁸⁷ Wenn bei Grimm et al. (2011) allein zwischen *Top-level Ontologie* (Upper-level Ontology) und *Domänenontologien* differenziert wird, lässt sich weder das ganze ontologische Potential freisetzen noch lässt sich auf einer solchen Grundlage eine umfängliche *Smart Enterprise Integration* (SEI) realisieren, indem der Kernontologie hier eine spezifische Rolle zukommt. Auch lässt sich die Ontologiearchitektur wie eine sachgerechte Ontologiepraxis auf diese Weise kaum vermitteln: wesentlich ist etwa die Differenzierung zwischen Referenz- und Anwendungsontologien; genauso wesentlich ist die Differenzierung zwischen wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien bzw. die damit zusammenhängende IS/KS-Integration. Diese und weitere Aspekte erfordern eine feinere Ontologieklassifikation.

3. Diskurs genuiner Grundfragen der Ontologie komplexer IoX-Systeme

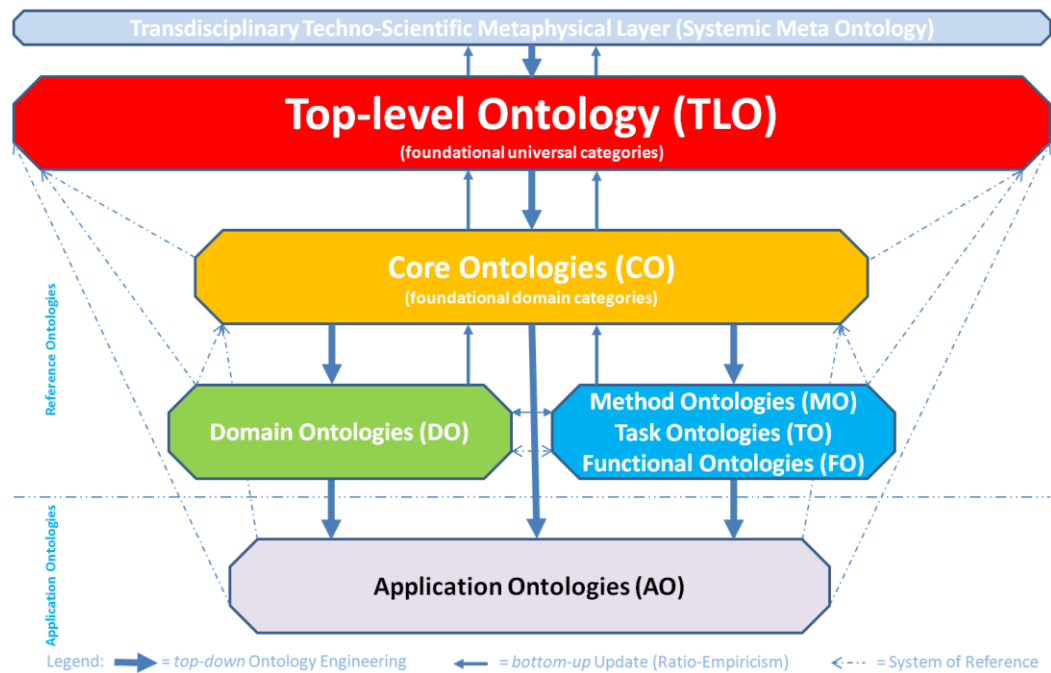


Abb. 03:¹⁸⁸⁸ Integratives *Ontology Engineering* (OE) mit CYPO FOX

Ontologien komplexer IoX-Systeme sollten so weit wie möglich *modular* aufgebaut werden, so dass sich einzelne Module leicht kombinieren wie auch ersetzen lassen.¹⁸⁸⁹ Mit Loebe (2010) sollte die *Modularisierung von Ontologien* in den Kontext *komplexer Systeme* gestellt werden. Top-level Ontologien spielen im Zuge der Komplexitätsreduktion eine zentrale Rolle, da erst sie eine durchgängige transdisziplinäre *Modularisierung* ermöglichen.¹⁸⁹⁰ Modulare Architekturen sollten für sämtliche Ontologiearten an sich gelten sowie in Bezug auf ihr Verhältnis zueinander. Mit Blick auf Top-level Ontologien heißt das, dass sich einzelne Aspekte wie etwa der Zeitaspekt modularisieren lassen; andererseits sollte eine Top-level Ontologie keine Aspekte abdecken, die etwa distinktiv unter Domänenontologien fallen, also bspw. rein erfahrungswissenschaftlicher Natur sind. Die Top-level Ontologie ist im Hinblick auf die Abgrenzung zu Kern-, Domänen-, Methoden-, Aufgaben- sowie Funktionsontologien so knapp wie möglich zu halten. Andererseits muss sie mit Blick auf ihre Eigenschaft als *Universalontologie* indes so komplett wie möglich sein, um eine transdisziplinäre Wissensteilung sowie eine Referenz für alle ihr nachgeordneten Ontologiearten zu ermöglichen. Somit bleiben die sieben Ontologiearten näher zu erörtern:

Ad (i) Die *Top-level Ontologie* (TLO) bildet die oberste Ontologieebene der Informatik;¹⁸⁹¹ diese ist insofern vollkommen *domänen- und problemunabhängig*, als sie von grundsätzlich *universalontologischer* Natur ist.^{1892, 1893} An diesem Maßstab *universaler*

¹⁸⁸⁸ Quelle: Behnen (2015).

¹⁸⁸⁹ Vgl. hierzu Spaccapietra et al. (2005), Stuckenschmidt et al. (2009) sowie Kutz/Hois (2012).

¹⁸⁹⁰ Vgl. etwa Rector et al. (2012) sowie Langermeier et al. (2014); vgl. Hois et al. (2009) zur konkreten Anwendung von DOLCE.

¹⁸⁹¹ Vgl. für *alternative TLO-Bezeichnungen* Fn. 273.

¹⁸⁹² Häufig werden Ontologien falsch klassifiziert, weil man meint, dass spezifische Ontologien in bestimmter Hinsicht auch fundamental sind. Bspw. wird durch Melo/Almeida (2014) neben einigen richtigen An-

Ontologie haben sich alle TLO-Theorieanwärter zu messen, wobei dieser unter Geltung des Transdisziplinaritätsmoments gleichzeitig in wissenschaftlicher, technologischer wie in praktischer Hinsicht zu erfüllen ist. Denn die der *Top-level Ontologie* nachgeordneten Ontologiearten können entweder unter dem Regime eines dieser Anwendungstypen stehen, oder gar – wie im Fall intelligenter U-PLM-Systeme – gleichzeitig unter allen drei Anwendungstypen. Die *Top-level Ontologie* ist *allgemeinste ontologische Theorie* der Informatik und als solche im Hinblick auf ihre Kategorien und meta-ontologischen Aspekte engstens verkoppelt mit der in Pkt. 4.1 umrissenen allgemeinsten Theorie techno-wissenschaftlicher Metaphysik der Klasse 4.¹⁸⁹⁴ Diese ist mit Pkt. 4.2 durch Whiteheads *cyber-physische Prozessmetaphysik* bestimmt. Vor diesem Hintergrund klärt sie alle grundlegenden Aspekte von Weltmodellen und ist selbst *fundamentales Weltmodell*, das jedes Diskursuniversum und jeden Anwendungskontext transzendiert. In ihrer Universalität ist entsprechend bei der Top-level Ontologie der Allgemeinheitsgrad am höchsten; er ist nicht steigerbar, womit die Top-level Ontologie prinzipiell auch den höchsten Wiederverwendbarkeitsgrad besitzt. Als universale Ontologie ist sie nicht nur allgemeine Referenzebene, sondern im TLO-Idealfall vielmehr auch Garant *transdisziplinärer* Integration aller Ontologien und Ontologiearten. Die Top-level Ontologie unterstützt maßgeblich die *Wiederverwendbarkeit von Ontologien* und gewährleistet erst den systematischen Aufbau ganzer Ontologiebibliotheken.¹⁸⁹⁵

Ohne eine Referenz auf die Top-level Ontologie ist ein methodisch einwandfreies *Ontology Engineering* im Grunde unmöglich. Denn bei jeder Ontologie muss im explikativen Sinne nicht nur Klarheit bezüglich der grundlegenden Kategorien im Sinne der *Top-level Kategorien* bestehen; allen voran bzgl. der für das TLO-Inkommensurabilitätsproblem wesentlichen Bestimmung des Verhältnisses von Objekt, Ereignis und Prozess. Vielmehr sind auch verschiedene zentrale meta-ontologische Kriterien dezidiert zu klären, etwa, ob sich die Ontologie auch auf mögliche Welten bezieht, worin ihr Wahrmacher besteht, ob sie objektiv resp. objektiviert ist und wie sie insgesamt das jeweilige Diskursuniversum resp.

sätzen auch die DEMO-EO von Dietz (2006b) als *Top-level Ontologie* klassifiziert, was natürlich nicht richtig ist. Häufig resultieren diese Verwechslungen daraus, dass mit der obersten Ontologie die oberste *fachliche* Ontologie gemeint ist; das aber ist nicht die *Top-level Ontologie*, sondern die *Kernontologie* (Core Ontology). So sprechen etwa Abramovici et al. (2010) irrtümlicherweise von *top level ontology*; gemeint ist aber auch hier die *Kernontologie*. Vgl. zu diesem Verwechslungsproblem auch Baumgartner/Retschitzegger (2006).

¹⁸⁹³ Teilweise wird die Auffassung vertreten, *Top-level Ontologien* seien generisch in dem Sinne, dass sie auf viele resp. möglichst viele Anwendungsfelder, Objektbereiche bzw. Diskursuniversen anwendbar sind bzw. sein sollten. Das ist etwa bei Borgo/Masolo (2009: 361) der Fall, wenn sie feststellen: »Foundational ontologies are ontologies that: (1) have a large scope, (2) can be highly reusable in different modeling scenarios, (3) are philosophically and conceptually well founded, and (4) are semantically transparent and (therefore) richly axiomatized«. Zur Realisierung vollumfänglicher semantischer Interoperabilität ist diese Auffassung indessen dahingehend zu revidieren, dass TLO-Ansätze an der *universalen Ontologie* der *metaphysica generalis* zu messen sind; als solche müssen sie auf die *Totalität sämtlicher Diskursbereiche* anwendbar sein, damit sie im Sinne der *universalen Ontologie* die *Transdisziplinarität* und die *Einheit des Wissens wie aller Erkenntnis* sichern können. Je weniger ein TLO-Theorieanwärter diese Kernanforderung erfüllt, desto weniger ist er für die TLO-Funktion geeignet.

¹⁸⁹⁴ Vom grundsätzlichen Ansatz her gesehen findet sich bei Petrov (2011) eine ähnliche Position.

¹⁸⁹⁵ Vgl. bspw. Van Heijst et al. (1997a: 193).

ihren Objektbereich in ganz grundsätzlicher Weise versteht. Hinzu kommen philosophisch-mathematische Fragen, etwa wie im Kontext konkreter Objekte formaler Ontologie *Teil-Ganzes-Beziehungen* (Mereologie) zu handhaben sind. Insofern gewährleistet erst der TLO-Einsatz mitsamt der TLO-Referenz aller Ontologien die Kritikabilität der immer vorhandenen metaphysischen Dispositionen; er schafft erst methodologisch einwandfreies objektives Wissen, und er sichert erst mit Blick auf die Interoperabilität die notwendige Stabilität. Insofern hat ein sachgerechtes *Ontology Engineering* (OE) systematisch von der *Top-level Ontologie* auszugehen. Zweifelsohne bedarf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* einer *Top-level Ontologie*, auf die sämtliche Ontologien des *Smart Web* Integrations-szenarios einheitlich referenzieren.¹⁸⁹⁶ Dabei muss ein qualifizierter TLO-Entwurf nicht nur die transdisziplinäre Wissensrepräsentation und -teilung sicherstellen können, sondern er muss auch eine techno-wissenschaftsadäquate, realistische Weltansicht gewährleisten.

Top-level Ontologien bilden für die Informatik das grundsätzliche Fundament zur Sicherstellung einer sachgerechten Repräsentation der Wirklichkeit durch verschiedenste Systeme und Domänen. Sie sind Garant für die *Konsistenz* interoperabler Ontologien,¹⁸⁹⁷ die ohne ein solch geteiltes Fundament kaum zu erfüllen ist. Insofern wirken sie dem Problem konzeptueller und semantischer Heterogenität in fundamentaler Weise entgegen, sorgen für eine Standardisierung bei den grundsätzlichen Kategorien der Wirklichkeit und tragen auf diese Weise ganz entscheidend zur Komplexitätsreduktion der verschiedenen konzeptuellen resp. semantischen Modelle bei. Im Kontext semantischer Systemintegration wie im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* sind eine ganze Reihe solcher grundlegenden Fragestellungen zu klären, womit es die Top-level Ontologie ist, die die wesentliche Bezugsbasis und allgemeine Referenzebene für alle Ontologien in diesem Bereich bildet. Diese sollten mit Blick auf die notwendige Verkopplung und Interoperabilität im Rahmen des *Ontology Engineering* (OE) verpflichtend sein. Die Top-level Ontologie besitzt also *Referenzfunktion* und wirkt dabei als der zentrale *ontologische SEI-Integrator*. Hierzu gehört primär die Frage, mit welchen grundlegenden Kategorien (Top-level Kategorien) die Diskurswelt sachgerecht beschrieben bzw. klassifiziert werden kann. Dies führt bei allen Top-level Ontologien zu Taxonomien mit hierarchisch unterteilten Top-level Kategorien. Die SUMO-Taxonomie beginnt etwa mit der Differenzierung der Diskurswelt in physische und abstrakte Entitäten, und unterteilt diese wiederum in Objekte und Prozesse. Alle der Top-level Ontologie untergeordneten Ontologien (z.B. Kern- oder Domänenontologien) nehmen auf diese TLO-Klassifizierung Bezug und konkretisieren diese für bestimmte Domänen, indem sie genau festlegen, welche Objekte, Ereignisse und welche Relationen zwischen ihnen existieren.

Das für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) entscheidende Postulat *vollumfänglicher semantischer Interoperabilität* ist ohne die Top-level Ontologie nicht einlösbar; sie ist für

¹⁸⁹⁶ Vgl. hierzu auch etwa Kaczmarek (2015).

¹⁸⁹⁷ Vgl. auch Oberle (2014), Arp/Smith/Spear (2015: 37) sowie Kumar/Sumathi (2016).

dieses unabdingbar. Das gilt nicht nur für das *Smart Enterprise* insgesamt, sondern darüber hinaus speziell auch für die darin inkorporierte *Smart Factory*, für die sie nicht zuletzt im Zuge der sich in CPS- bzw. CPPS-Kontexten vollziehenden Automatisierung ebenso unerlässlich ist.¹⁸⁹⁸ Legat/Seitz et al. (2014) stellen dabei etwa auf die Momente der *Modularisierung* und *Wiederverwendung* von Ontologien ab, die durch eine TLO-Referenz wesentlich erleichtert werden. Solche Modularisierungen lassen sich etwa für modulare *Reconfigurable Manufacturing Systems* (RMS) bzw. *Reconfigurable Assembly Systems* (RAS) nutzen.¹⁸⁹⁹ Mit Verweis auf die in Pkt. 3.2.1 thematisierte Funktion von Ontologien gehen die Einsatzmöglichkeiten der *Top-level Ontologie* im industriellen Bereich jedoch weit darüber hinaus. Denn sie bildet im Zusammenspiel mit einer adäquaten Kernontologie gerade das "*common formal framework*" bzw. das "*ontological backbone*",¹⁹⁰⁰ über das sich die vielfältigsten Einsatzzwecke resp. *Use Cases* von Ontologien in der *Smart Factory* in geeigneter Weise koordinieren und integrieren lassen.¹⁹⁰¹ Für eine durchgängige Automatisierung, insbesondere im Sinne vollumfänglicher semantischer Interoperabilität, sind diese unerlässlich. Außer dieser im Zeichen von Kommunikationsprozessen stehenden semantischen Interoperabilität und der erwähnten Wiederverwendung resp. Modularisierung sind hier weitere TLO-Funktionen von Relevanz: Neben Einsatzzwecken im Zuge der konzeptuellen Modellierung (CM) ist hier insbesondere die *Inferenz* als AI-Kern zu nennen. Denn erst durch die TLO-Referenz werden *Heavyweight-Ontologien* für die *Smart Factory* zur tatsächlichen Option, wie sie für die Stabilität kritischer Prozesse einzufordern ist. Mit Blick auf die kognitive Robotik resp. superintelligente CPS ergeben sich in Verbindung mit McCarthys (1995) "*general world view*" auf ihrer Grundlage weitere interessante Einsatzpotentiale, etwa rund um Sicherheitsaspekte in der Produktions- oder Nutzungsphase. Indem sich alle genannten Potentiale erst dadurch tatsächlich erschließen lassen, dass sich das gesamte *Ontology Engineering* (OE) auch *de facto* um die *Top-level Ontologie* zentriert, wird deutlich, dass in ihr der *eigentliche OE-Ansatzpunkt* bestehen muss. Das gesamte OE-Verfahren sollte also systematisch auf diesem TLO-Fundament gründen, von ihm beginnen, was in der gängigen OE-Praxis bisher kaum in dieser Weise vollzogen wird.

Top-level Ontologien verkörpern immer ein vollständiges Kategoriensystem, indem sie mindestens folgende ontologische Kategorien aufweisen müssen: Einzeldinge, Universalien, Mengen, zusammen mit einem Relationengefüge und entsprechenden Eigenschaftsaussagen. Mit Blick auf Ereignisse sowie die Veränderung von Objekten kommen Raum, Zeit und Form hinzu, ebenfalls wie topologische Relationen bzgl. der Abgrenzung und Verbundenheit. Top-level Ontologien sind aber nicht nur im Hinblick auf ihr Kategoriensystem regelmäßig philosophisch fundiert, sondern vor allem auch deshalb, weil eine kri-

¹⁸⁹⁸ Vgl. etwa Borgo/Lesmo (2008), Morbach (2009), Guizzardi/Baião et al. (2010), Young/Chungoora et al. (2010), Schumacher et al. (2011), Anjum et al. (2012) oder Loskyll et al. (2012).

¹⁸⁹⁹ Vgl. Alsafi/Vyatkin (2010) bzw. Lohse et al. (2006).

¹⁹⁰⁰ Vgl. Arp (2010: 88).

¹⁹⁰¹ Vgl. hierzu Fn. 1988.

tikable Top-level Ontologie zu den damit zusammenhängenden zahlreichen Fragen deziert Position beziehen können muss: vom metaphysischen Realismus angefangen über das Universalienproblem oder die Natur von Artefakten bis hin zur Mereologie. Sie sind allein im umfassenden systematischen philosophischen Diskurs sachgerecht zu beantworten. Damit muss jede ernstzunehmende Top-level Ontologie auf dem *spezifischen Fundament philosophischer Ontologie* aufbauen, so dass sich die jeweiligen ontologischen Grundsatzentscheidungen der zahlreichen miteinander konkurrierenden obersten Ontologien auch entsprechend rigoros hinterfragen und genauso klar beantworten lassen. Dabei steht explizit oder zumindest implizit das ganze umfassende systematische philosophische Fundament hinter einem TLO-Theorieanwärter; und damit immer eine metaphysische Position, die eine epistemologische und methodologische mit einschließt. Es ist die *Top-level Ontologie*, die die Objekte im Sinne einer *Theorie der Objekte* erst grundsätzlich definiert und spezifiziert; sie ist es, die immaterielle Objekte resp. Artefakte zulässt oder nicht, die eine prozessuale Sicht vorgibt oder eine substanzielle usf. Insofern steht mit Verweis auf den vorherigen Pkt. 3.3 vollkommen außer Frage, dass ein nahtloser Übergang zwischen der Top-level Ontologie der Informatik und der philosophischen Ontologie gegeben sein muss, was schließlich einen einheitlichen Ontologiebegriff impliziert.

Allerdings wäre es verfehlt anzunehmen, dass die *Top-level Ontologie* und die jeweilig hinter ihr stehende *philosophische Ontologie* an sich ein und dasselbe sind: tatsächlich *referenziert* erstere lediglich auf letztere. Es ist also gewiss nicht so, dass Bunges (1977a, 1979a) materialistische Ontologie *selbst* eine *Top-level Ontologie* markiert, wie es zuweilen gesehen wird.¹⁹⁰² Das wäre in etwa damit vergleichbar, die aristotelische Kategorienlehre als *Top-level Ontologie* verstehen zu wollen, wenn unter anderem die BFO-TLO einen neo-aristotelischen Ansatz verkörpert.¹⁹⁰³ Richtig ist vielmehr, dass die BWW-TLO auf die Bungesche Ontologie referenziert, jedoch mit Blick auf ihre Stellung als *Theorieanwärter zur obersten Ontologie der Informatik*, also als *TLO-Theorieanwärter* deutlich über diese hinausgeht. Tatsächlich handelt es sich bei TLO-Ansätzen um von philosophischen Ontologien *abgeleitete* Ansätze. So ist es auch möglich, dass konfligierende TLO-Ansätze auf *genau die gleiche* philosophische Ontologie rekurren. Das ist bei der Bungeschen Ontologie in der Tat der Fall, indem neben der BWW-TLO auch die IOMIS-TLO auf Bunges philosophische Ontologie referenziert. Noch deutlicher wird dies mit der Divergenz der verschiedenen neo-aristotelischen TLO-Ansätze. Insgesamt gilt, dass konkurrierende TLO-Ansätze durchaus auf den gleichen philosophischen Ontologien aufbauen können, jedoch diese etwa heterogen auslegen, verschieden interpretieren, anders akzentuieren, oder um divergente Aspekte ergänzen. Zwar gibt es Fälle, bei denen Kernontologien direkt auf philosophische Ontologien rekurren, wie es bei der DEMO-EO der Fall ist, wenn sie sich jenseits von BWW-TLO oder IOMIS-TLO direkt auf die Bungesche Ontolo-

¹⁹⁰² So etwa bei Becker/Niehaves/Pfeiffer (2008).

¹⁹⁰³ Smith et al. sehen sich als "realist philosophers in the Aristotelian tradition", vgl. Fielding et al. (2003).

gie bezieht. Indes ist ein solcher EO-Ansatz damit bereits defekt, indem er sich nur dann als *Heavyweight-Ontologie* realisieren lässt, wenn eine strikte TLO-Referenz gegeben ist.

Selbstverständlich gehört die *Top-level Ontologie*, genauso wie die Kern-, Domänen-, Methoden-, Aufgaben-, Funktions- und Anwendungsontologie unter *Architekturgesichtspunkten* in die Informatik, wie es anhand der *Smart Enterprise Integration* (SEI) besonders deutlich wird. Dabei lässt sich gar sagen, dass die Top-level Ontologie unter Architekturgesichtspunkten weitaus tiefer in der Informatik verwurzelt ist als alle anderen Ontologiearten. Denn in ihrem Fall hat sich die Disziplin sehr eingehend mit *ihren* fundamentalen Ontologiefragen zu beschäftigen, um zentrale Gesichtspunkte wie etwa ihre CPSS-Adäquanz zu erörtern. Dies lässt sich etwa in den Zusammenhängen des IoX-Hyperspace an keine andere Disziplin delegieren, insbesondere nicht an die Philosophie. Das gilt nicht zuletzt mit Blick auf ihre Umsetzung in maschinenverständliche formale Ontologiesprachen, mit ihrer Funktion in IS- oder KS-Kontexten, mit ihrem Einsatz in der konzeptuellen Modellierung, mit ihrer Heranziehung als Referenzbasis für MAS bis hin zu Sensorontologien, mit ihrer Rolle in der Architektur intelligenter Systeme, oder schließlich mit ihrer weiter unten nochmals aufgegriffenen Stellung als Ausgangspunkt des *Ontology Engineering* (OE) insgesamt. Indem sich diese Aufzählung beliebig über alle Sphären der Informatik fortsetzen ließe, soll hier die Feststellung genügen, dass die *Top-level Ontologie* im Unterschied zur philosophischen Ontologie nicht nur rein auf die ontologischen Belange der Informatik abstellt, sondern im Einzelnen auch genau darauf zugeschnitten ist.

Die Top-level Ontologie ist universal in dem Sinne, als sie faktisch *domänenunabhängig* ist. Sie ist immer *philosophisch* bestimmt, allen voran durch die *Metaphysik*,¹⁹⁰⁴ auch durch epistemologische wie wissenschaftstheoretische Aspekte, die jedoch immer im Lichte der jeweilig zugrundeliegenden Metaphysik zu sehen sind. Epistemologie und Methodologie jenseits von Metaphysik gibt es genau genommen nicht; mindestens ist sie implizit immer existent. Allein im Zuge des in Pkt. 4.1 erörterten *Ratio-Empirismus* besteht ein sekundärer Domänenbezug zu wissenschaftlichen Domänen; bei techno-wissenschaftlichen Metaphysiken auch zu technologischen Domänen. Dieser ist dergestalt, dass Top-level Ontologien zum einen nicht im Widerspruch zu den zentralen Erkenntnissen wissenschaftlicher Schlüsseltheorien stehen können, und insbesondere mit anerkannten transdisziplinären Theorien kompatibel sein müssen. Zum anderen sollte die Top-level Ontologie, sofern sie auf eine techno-wissenschaftliche Metaphysik rekurriert, mit den Anforderungen technologischer Ontologien konform gehen. Hier ist etwa mit Pkt. 6.2.1 auf das *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) als operationale CPS-Basis zu verweisen. Mit Pkt. 4.3 kommt der Komplexitätsforschung in diesem *Ratio-Empirismus* eine zentrale Rolle zu, indem es sich bei der *Theorie komplexer Systeme* nicht nur um transdisziplinäre Theorien handelt, sondern auch um solche, die sich insbesondere zur Fundierung der Ontologiefrage eignen. Das ist in einem zweifachen Zusammenhang zu sehen: Zum einen stehen sie der

¹⁹⁰⁴ Vgl. hierzu Pkt. 4.1.

Informatik selbst nahe, indem die Komplexitätsforschung mit Pagels (1988) oder Casti (1997) als *Computerwissenschaft* zu deklarieren ist. Dabei wird insbesondere deutlich, dass der Automatentheorie bzw. darauf aufbauende Theorien wie Kauffmans (1989a, 1989b) Boolesche NK-Netzwerke eine Schlüsselrolle zukommt. Mit der Automatentheorie und ihrem logico-mathematischen Kern handelt es sich um einen tatsächlich transdisziplinären Ansatzpunkt, der nicht im Verdacht steht, *naturalistisch* zu sein, wenngleich er sich gewiss auch auf die Naturwissenschaften anwenden lässt – und lassen muss.

Zum anderen geht es mit Wolfram (2002) um mehr als um Komplexitätsforschung an sich, nämlich um nicht weniger als *A New Kind of Science*, was mit Blick auf Pkt. 4.3 die Funktion der *Theorie komplexer Systeme* als ratio-empirischen Mittler techno-wissenschaftlicher Metaphysik unterstreicht. Allerdings ist dabei über Wolfram (2002) insofern hinauszugehen, als seine Überlegungen zu ergänzen und in den Kontext der Prozessmetaphysik bzw. CPSS-adäquaten Meta-Ontologie zu stellen sind. Damit ist der universale Automatengedanke im Leibnizschen Sinne als *integrierte metaphysische Wissensontologie* disparater Welttypen aufzufassen, wie sie mit Pkt. 3.5 den Grundcharakter von CYPO FOX markiert. Dabei legen drei zentrale Aspekte nahe, Wolframs (2002) *New Kind of Science* zu einer *World Automata Science* auszubauen:

(a) Der Fokus der Automatentheorie ist historisch sehr viel weiter gefasst; es sei hier nur auf die in Pkt. 4.3 nochmals aufgegriffenen *Complex Switching Circuits*, den Gedanken des *Switching Organ*, oder auf die noch ältere *Schaltalgebra* verwiesen. Sie alle sind gerade auch von technologischem bzw. praktischem Belang. Heute gilt dies analog mit Blick auf das in Pkt. 6.2.1 behandelte *Complex Event Processing* (CEP). Dabei ist dieses in IoX-Kontexten immer in Gestalt des *Ubiquitous Complex Event Processing* (U-CEP) aufzufassen, das in allen CPS- bzw. CPPS-Kontexten im Ereigniszentrismus der Prozessmetaphysik zu verstehen ist. Insofern lässt sich sagen, dass der Automatengedanke in der *Theorie zellulärer Automaten* durch Wolfram (2002) einseitig auf den reinen Wissenschaftsaspekt verengt wird, wenngleich dies auch für seine Zwecke legitim ist und seiner Fokussierung entspricht. Dennoch zielt die Trias von Automatentheorie, komplexen Systemen und der Ontologie als Wissensontologie nicht nur auf die Wissenschaft, sondern genauso auf Technologie und Praxis, die durch ihr Transdisziplinaritätsmoment gleichermaßen umschlossen werden. In diesem Sinne ist die Ausrichtung von Wolframs (2002) *New Kind of Science* mit jener etwa von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* zur *World Automata Science* zu verschmelzen. Das erscheint insofern konsequent, als ihre Bereiche gerade unter Wissensaspekten oftmals nahtlos ineinander übergehen, wie es im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* anhand des U-PLM-Referenzszenarios mit seinen interdependenten Übergängen im *Engineering komplexer Produkte* offensichtlich wird.

(b) Die *World Automata Science* wird im Zeichen der in Pkt. 3.5 erörterten CYPO FOX darüber hinaus als transdisziplinäre *Semantic E-Science* verstanden, was bei Wolfram (2002) nicht berücksichtigt ist. Allerdings muss dies bei einer Computerwissenschaft sinn-

voll erscheinen. Damit kommt die *Ontologie als Wissensontologie* ins Spiel, und in ihr ist gar insofern das Wesentliche dieser neuen Art von Wissenschaft zu sehen, als es ihre (Zwischen-) Ergebnisse, nämlich das generierte Wissen, betrifft.

(c) Die *World Automata Science* ist im Gegensatz zu Wolframs (2002) methodologischen Überlegungen strikt *metaphysisch* fundiert. Sie steht dabei im Zeichen des Leibnizschen *Automatenuniversums*, des Kantisch-Feynmanschen *Regeluniversums* oder des Whiteheadschen *prozessualen Strukturuniversums*. Entsprechend rücken die fundamentalen Strukturen einer Welttypensystematik in den Fokus, die wiederum mit den Wissensstrukturen und entsprechend mit der Semantik zu korrespondieren haben (et v.v.). Das erfordert eine *techno-wissenschaftliche Metaphysik*, die im Sinne des Ratio-Empirismus in der Komplexitätsforschung ihren Mittler besitzt, was schließlich im Zeichen des Whiteheadschen (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« zu sehen ist. Wenn *Ontologie* universal als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* zu definieren ist, muss besonderes Augenmerk auf die fundamentalen Strukturen dieser Weltmodelle gelegt werden, die genauso transdisziplinär zu deuten sind wie die *Ontologie* an sich. Mit anderen Worten ist *Ontologie* als bloße *Wissensontologie* fehlverstanden. Indem ihr Gegenstand immer *ganze Weltmodelle* sind, deren fundamentale Strukturen im Wechselspiel mit ihren Wissensstrukturen stehen, ist sie immer *metaphysische Ontologie*; mithin *integrierte metaphysische Wissensontologie*, wie sie mit Pkt. 3.4 im IMKO OCF gründet und mit Pkt. 3.5 als integrierte Ontologiekonzeption entwickelt wird. Als solche gilt die obige Ontologiedefinition allein mit dem Zusatz, dass alle Weltmodelle notwendig einheitlich auf ein *fundamentales Weltmodell* referenzieren, das durch die *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene gestellt wird.

Mit der Transdisziplinarität der fundamentalen Strukturen geht es mit Pkt. 4.2 sowie Pkt. 6.1.2 zum einen im Whiteheadschen Sinne um einen *universalen Strukturalismus*, zum anderen um *komplexe Systeme*. Das hängt so eng zusammen, dass die Strukturwissenschaften zuweilen synonym mit Komplexitätsforschung gebraucht werden. Geht es um eine CPSS-adäquate *Ontologie*, erfährt die Frage der *Transdisziplinarität der fundamentalen Strukturen* der Welt bzw. der Diskurswelten, die allein in den Zuständigkeitsbereich der *Metaphysik* fallen kann, eine elementare Bedeutung. Denn interne wie externe CPS-Welten sind als evolvierende Welten zu analysieren, die im Zeichen komplexer adaptiver Systeme (CAS) stehen. Insofern kommt eine CPSS-adäquate *Top-level Ontologie*, wenn sie CPS-Welten sachgerecht repräsentieren will, nicht an einer solchen CAS-Fundierung vorbei. Somit haben ihre fundamentalen Kategorien, also die TLO-Kategorien, den CAS-Belangen zu entsprechen, etwa was die Natur der Objekte, der Ereignisse, ihre Relationalität sowie den Komplexitätsaspekt betrifft. Allerdings ist kein einziger der bisherigen TLO-Theorieanwärter an CPS- bzw. CAS-Belangen orientiert.

Schließlich ist die *Top-level Ontologie* in ihrer umfassenden Axiomatisierung als *explikative Heavyweight-Ontologie* und *Garant explizit spezifizierbarer Semantik* wie präzisen

objektiven Wissens zu verstehen. Sie ist die oberste, alles bestimmende *Heavyweight-Ontologie*, die weiter unten in allgemeiner Hinsicht noch genauer definiert wird. Dies nicht zuletzt auch deshalb, weil sie als universale Referenzbasis integrierter Ontologie auch für solche AI-Ontologien adressierbar sein muss, die einem sicheren Schließen bei kritischen Prozessen verpflichtet sind. Gemäß allen gängigen Klassifizierungen von Ontologiearten – auch jenseits von Guarino (1998) oder Semy/Pulvermacher/Obrst (2004) – steht die Top-level Ontologie aus gutem Grund *immer an der Spitze* des hierarchisch gegliederten Ontologiesystems der Informatik. Doch daraus werden bislang oftmals nicht die erforderlichen Konsequenzen gezogen. Die Top-level Ontologie steht deshalb an der Spitze und besitzt deshalb ihren Namen, weil in einem hierarchisch angelegten System alle Ontologie *konsequent auf die oberste Ontologie* zu referenzieren hat. Zwar besteht mit Verweis auf Pkt. 1.2 unter Ontologieexperten zunehmende Einigkeit,¹⁹⁰⁵ dass *jedes Ontology Engineering (OE)* ausgehend von der *Top-level Ontologie* als *oberste Ontologieebene* der Informatik *top-down* erfolgen sollte, wie es in obiger Abb. 3 illustriert ist.^{1906, 1907} Allerdings besteht in dieser Sache insofern ein grundsätzlicher Handlungsbedarf,¹⁹⁰⁸ weil diese Praxis oftmals nicht konsequent, vielfach auch gar nicht vollzogen wird, indem bei den populären linguistischen Ontologiekonzeptionen Grubers (1993, 1995) bzw. Genesereth/Nilssons (1987) die *Top-level Ontologie* gar keine systematische Rolle spielt.

Ad (ii) Die *Kernontologie* (Core Ontology) verkörpert generische Konzepte, die sich auf multiple Domänen beziehen.¹⁹⁰⁹ Als solche wird sie zuweilen auch als *Top-Domain Ontology*, *Upper-Domain Ontology* oder als *Super-Domain Ontology* bezeichnet, die als mittlere Ebene zwischen *Top-level Ontologie* als oberster und der *Domänenontologie* als unterer Ontologie geschaltet ist. Insofern ist sie allgemeiner gehalten als die Domänenontologien resp. andere spezifischere Ontologiearten, verkörpert jedoch in ihrem Domänenbezug dennoch einen fachlichen Bezug: »*Core ontologies* are ontologies that focus on a domain application without being restricted to specific applications«. ¹⁹¹⁰ Entsprechend gibt es eine ganze Reihe von Kernontologien, die auf die gleiche Top-level Ontologie referenzieren. Im Unterschied zur *Top-level Ontologie*, mit der sie häufig, konkret auch im Kontext der REA-EO verwechselt werden,¹⁹¹¹ sind Kernontologien stets *domänenbezogen*. Das gilt

¹⁹⁰⁵ Vgl. hierzu insbes. Fn. 410.

¹⁹⁰⁶ Vgl. auch Sure/Staab/Studer (2009: 140 f.); vgl. exemplarisch angewandt etwa Seo et al. (2006).

¹⁹⁰⁷ Dies gilt auch mit Blick auf die Investitionssicherheit beim Aufbau umfassender ontologischer Systeme.

¹⁹⁰⁸ Vgl. bspw. Devedzic (2002), bei dem lediglich auf "*General Ontologies*" verwiesen wird. Uschold/King (1995) heben die Bedeutung (linguistischer) Kategorien hervor; sie raten jedoch davon ab, sich von Beginn an auf eine "*Meta-Ontologie*" zu fixieren; diese sei vielmehr erst im Nachhinein auf Basis der Erfordernisse der eigenen Konzepte zu wählen. Eine ähnliche Position beziehen H.S. Pinto et al. (2004), indem dargelegt wird, dass lokale Definitionen (nachträglich) auf *Top-level Kategorien* zu beziehen sind. Demgegenüber hätte es sich bei H.S. Pinto et al. (2009) empfohlen, die TLO-Problematik gerade mit Blick auf die dort fokussierten *shared ontologies* zu behandeln; genau dies wird bei H.S. Pinto/Martins (2002) auf Basis von SUMO thematisiert.

¹⁹⁰⁹ Vgl. hierzu etwa Deshayes/Foufou/Grüninger (2007) sowie Prestes et al. (2013).

¹⁹¹⁰ Vgl. Borgo/Gangemi (2004: 1), Hvh. im Orig.

¹⁹¹¹ Von "*Core Ontology*" wird vielfach in Zusammenhängen gesprochen, die sachlich unrichtig sind bzw. nicht den allgemeinen Konventionen entsprechen. So beziehen sich etwa Gailly/Poels (2009: 397) expli-

gerade auch dann, wenn sie sich typischerweise auf mehrere Domänen beziehen.¹⁹¹² Wie erwähnt, ist die Top-level Ontologie demgegenüber tatsächlich universal, indem sie *prinzipiell domänenunabhängig* ist. Geht es bei der Top-level Ontologie um die fundamentalen *universalen* Kategorien sowie um meta-ontologische Aspekte, stehen im Fokus der Kernontologie allein die fundamentalen *fachlichen* Kategorien: »*Core ontologies* contain the categories that define *what a field is about*. [...] The categories are not some common denominator of a set of application domains, but constrain what is *relevant* in these domains«. ¹⁹¹³ Entsprechend stellt sie nicht nur für Domänenontologien, sondern auch etwa für *Methoden- resp. Aufgabenontologien* die fundamentalen *fachlichen* Kategorien.¹⁹¹⁴ Die zentrale Kernontologie besteht im SEI-Sinne in der *Enterprise Ontology* (EO), wobei eine echte *Enterprise Integration* (EI) in Form einer vollumfänglich gegebenen semantischen Interoperabilität allein im Zuge einer durchgängigen *TLO-EO-Verkopplung* realisierbar ist: Vor dem Hintergrund der *Enterprise Integration* ist die Top-level Ontologie ohne den EO-Aspekt genauso undenkbar wie die Enterprise Ontology (EO) ohne die TLO-Referenz. Beides ist also unmittelbar interdependent und entsprechend immer zusammen zu erörtern.

Vor diesem Hintergrund kann es für ein konkretes Integrationsszenario zwar nur *eine* Top-level Ontologie als oberste, fundamentale Referenzebene geben, während es in komplexen bzw. interdisziplinären Integrationsszenarien *mehrere* Kernontologien als fachliche Integrationspunkte geben kann. Kommen PLM-Systeme etwa in der Biotech-Industrie zum Einsatz, sind im Zuge der wissenschaftsgestützten Produktentwicklung als Kernontologien etwa *BioTop* und *ChemTop* von Relevanz, während etwa bei rechtlichen Aspekten diverse Varianten von *Legal Core Ontologies* in den Fokus rücken.¹⁹¹⁵ Derweil muss die eigentliche *Smart Enterprise Integration* (SEI) auf spezifischen *Enterprise Ontologies* basieren, die als Kernontologien die *PLM Core Ontology* (PLM-CO) mit umfassen. – Insgesamt wird deutlich, dass es sich bei Top-level Ontologien (TLO) und Kernontologien (CO) um *grundsätzlich* andere Ontologiearten handelt, deren Verwechslung inakzeptabel ist, als damit gerade ihre jeweilige Quintessenz außer Acht gelassen wird. Das gilt gerade auch aus dem Grunde, als es im Zuge von Heavyweight-Ontologien gerade auf das systematische Zusammenspiel *beider* Ontologiearten ankommt. Solche Verwechslungen sind im

zit auf Guarinos (1998) angebliche "*core ontology*", die es dort aber gar nicht gibt. Vielmehr meinen sie damit offenbar Guarinos (1998) "*Top-level Ontology*", während demgegenüber die *Core Ontology* gerade wesentlich die Momente auszeichnet, auf die die REA-EO bei Gailly/Poels (2009) abstellt. Bei Verdonck/Gailly/Poels (2014) wird die "*core ontology*" auch explizit mit der "*foundational ontology*", also der *Top-level Ontologie* gleichgesetzt; dieses Mal berufen sie sich dabei auf Guarino/Oberle/Staab (2009), bei denen es die "*core ontology*" nunmehr auch gibt. Allerdings wird sie hier gerade *nicht* mit der *Top-level Ontologie* gleichgesetzt; vielmehr handelt es sich dabei in unserem Sinne um eine *domänenbezogene* Ontologie, nämlich um die "*definition of a super domain*", vgl. Guarino/Oberle/Staab (2009: 16). Entsprechend gibt es bei Guarinos DOLCE-TLO etwa eine *Core Legal Ontology* (CLO), vgl. Gangemi/Sagri/Tiscornia (2005), anhand derer die Zusammenhänge im Einzelnen nachvollziehbar werden.

¹⁹¹² Vgl. zur sachgerechten Auslegung von *Kernontologien* etwa Borgo/Gangemi (2004), Breuker/Hoekstra (2004b) oder Isaac/Troncy (2004).

¹⁹¹³ Vgl. Valente et al. (1999: 1084), Hvh. im Orig.

¹⁹¹⁴ Vgl. hierzu exemplarisch Bruaux/Kassel (2004).

¹⁹¹⁵ Vgl. hierzu Hage/Verheij (1999), Valente et al. (1999) sowie Breuker/Hoekstra (2004b).

Zuge der *Smart Enterprise Integration* (SEI) mit der verbreitetsten *Enterprise Ontology*, nämlich der REA-EO, von unmittelbarer Bewandnis. Denn nicht nur wird hier oftmals die Kernontologie mit der *Top-level Ontologie* verwechselt;¹⁹¹⁶ vielmehr wird auch umgekehrt nicht der zentrale Unterschied zwischen Kern- und Domänenontologie verstanden. Wie im zweiten Teil erörtert, wird etwa die REA-EO zwar offiziell als *Enterprise Ontology* (EO) deklariert, womit sie im PPR- bzw. SOC/SOA-Sinne als *Kernontologie* zu verstehen ist. Tatsächlich aber wird die REA-EO dem Anspruch einer *Kernontologie* gar nicht gerecht, sondern ist vielmehr als *Domänenontologie* einzustufen.¹⁹¹⁷ Indessen lässt sich jede *Smart Enterprise Integration* (SEI) nur dann sachgerecht bewerkstelligen, wenn diese auf einer echten *Enterprise Ontology* beruht, die sich dezidiert als *Kernontologie* versteht und somit auch systematisch als solche entwickelt wird. Dazu gehören neben ihrer strikten TLO-Referenz auch fundamental *fachliche* Kategorien, die allen EO-Aspekten, speziell auch sämtlichen Phasen des cyber-physischen U-PLM-Zyklus gerecht werden, worauf die REA-EO jedoch gar nicht angelegt ist.

Die Kerntontologie ist genauso von heterogener Natur wie alle anderen ihr nachgeordneten Ontologiearten. Sie kann damit genauso in einem wissenschaftlichen, technologischen oder praktischen Zusammenhang stehen. Es kann in einem Integrationsszenario zwar letztlich nur einen Top-level Ontologie, jedoch eine Mehrzahl an Kernontologien geben. Das EO-Grundfunktion ist immer erforderlich, um die SOC/SOA-Aspekte (FO) in den SEA-bezogenen PPR-Gesamtkontext einzuordnen. D.h., dass die SOA-Services mit den realen Produkten bzw. Services, Prozessen und Ressourcen zu orchestrieren sind, womit das EO-Grundmodul im systemtheoretischen Zusammenhang von Input, Throughput und Output für jedes IoX-System von Relevanz ist. Geht es über dieses abstrakte Produktionssystem hinaus um komplexe industrielle Produktionssysteme, muss die *Enterprise Ontology* als Kernontologie auf alle Phasen und Details von U-PLM-Systemen als Referenzszenario erweitert werden. Kernontologien können sich jedoch genauso etwa rein auf wissenschaftliche Ontologien beziehen. Das ist etwa dann der Fall, wenn sie als OWL DL basierende OS-Referenzontologien auf den *biologischen* (BioTop),¹⁹¹⁸ oder den *chemischen* Bereich (ChemTop) abstellen;¹⁹¹⁹ sie können darüber hinaus auf alle anderen Wissensgebiete, gerade auch im technologischen oder praktischen Zusammenhang, zielen. Mit Kernontologien werden die grundlegenden Konzepte für die jeweiligen zusammenhängenden Domänen definiert, so dass sie sich über diese interdisziplinär integrieren lassen. So referenzieren etwa die *Gene Ontology* (GO) wie die *Cell Ontology* (CL) als Domänenontologien auf *BioTop* als Kernontologie, während die *ChEBI-Ontologie* (Chemical Entities of Biological Interest) als Domänenontologie auf *ChemTop* als Kernontologie referenziert. Die vollständige Ontologieintegration realisiert sich schließlich über eine *BioTop-Chem-*

¹⁹¹⁶ Vgl. Fn. 1911.

¹⁹¹⁷ Vgl. Geerts/McCarthy (2002) sowie Laurier/Poels (2008).

¹⁹¹⁸ Vgl. hierzu etwa Schulz/Beisswanger (2006a, 2006b) sowie Ruiz-Martínez et al. (2012).

¹⁹¹⁹ Vgl. etwa Stenzhorn/Schulz et al. (2008); vgl. hierzu ergänzend Batchelor (2008).

Top Bridge,¹⁹²⁰ die sich wiederum durch die Referenz auf eine einheitliche *Top-level Ontologie* (BFO bzw. RO) konstituiert.¹⁹²¹ Ungeachtet der Tatsache, dass diverse EO-Ansätze koexistieren, hat der Bereich der *Enterprise Ontologies* in seiner Funktion als Kernontologie bei weitem noch nicht den Stand der biomedizinischen Ontologie erreicht. Das liegt vor allem daran, dass es hier nicht wie im letzteren Fall um *wissenschaftliche* Ontologien, sondern in erster Linie um *technologische Ontologien* geht, mit denen konkrete Steuerungszwecke zur *Enterprise Integration* (EI) verfolgt werden. Diese stellen sich in ihrer Umsetzung mit Verweis auf die heute vielfach noch gegebene Systemheterogenität ungleich komplizierter dar als die vergleichsweise einfache formale Repräsentation bereits existenten wissenschaftlichen Wissens.

Das Konzept der *Smart Factory* lässt sich indessen allein auf Basis einer solch integrierenden *EO-Kernontologie* umsetzen. Dabei bestehen die Domänenontologien hier vor allem in allen Phasen des in Pkt. 1.5 abgegrenzten, und in Abb. 1 dargestellten PLC-Zyklus des Closed-loop U-PLM. Demzufolge gibt es separate DO-Ansätze für Engineering, Produktion oder Wartung (MRO), die es wiederum über die fachliche CO-Referenzebene zu integrieren gilt. Mit Blick auf die Komplexität der einzelnen Prozesse wie die Schwierigkeiten bei der Umsetzung, richten sich die aktuellen Forschungsanstrengungen dabei zu Recht zunächst vor allem auf einzelne Phasen. So steht etwa die ontologiegestützte Steuerung PLM-integrierter Fertigungsprozesse besonders im Fokus,¹⁹²² weil es sich hier zum einen um kritische Prozesse komplexer Systeme handelt, bei denen eine Unterstützung durch AI-Ontologien besonders sinnvoll erscheint. Zum anderen sind gerade diese Prozesse besonders von der flexiblen Fertigung bei Losgröße-1-Szenarien berührt, wie sie die Idee der *Smart Factory* prinzipiell verkörpern muss. Da die eigentliche Prozessintelligenz der *Smart Factory* indessen in der systemischen Gesamtsteuerung auf Basis von *Smart Data* aller PLM-Phasen begründet liegt, besteht ihr eigentlicher Schlüssel jedoch in der *Enterprise Ontology* als Kernontologie. Diese muss zwingend auf einer integrierten CM- und AI-Ontologiekonzeption basieren, wie sie in Pkt. 3.2.4 postuliert wurde, weil sich CM- und AI-Sphäre im Zuge der *Smart Enterprise Integration* (SEI) nicht weiter – wie bisher – mehr oder weniger isolieren lassen. Denn die *Enterprise Architecture* (EA) zielt hier gerade auf Prozessintelligenz und semantische Interoperabilität. Dabei muss das Ziel unter anderem darin bestehen, die PPR-Modelle der SEA/SEI-Konzeption vermittels formaler PPR-Ontologien direkt ausführbar zu machen, wobei sie allzeit flexibel modifizierbar sind.

Kernontologien zielen also nicht nur wie im OBO-Fall auf die Wissensintegration, sondern können in technologischer Hinsicht im ODIS-Sinne gerade auch eine integrierte Steuerung beinhalten, wie es insbesondere für den PLM-Bereich entscheidend ist. Insofern ist

¹⁹²⁰ Vgl. hierzu Stenzhorn/Schulz et al. (2008).

¹⁹²¹ Vgl. zu *BFO in der biomedizinischen Domäne* Grenon/Smith/Goldberg (2004); vgl. zur *OBO Relation Ontology* (RO) Smith/Ceusters et al. (2005); vgl. hierzu ergänzend Batchelor et al. (2010).

¹⁹²² Vgl. etwa Young/Gunendran et al. (2007a, 2007b, 2010), Usman et al. (2010, 2011) sowie Chungoora et al. (2013a, 2013b).

die Kernontologie weder domänenunabhängig noch – wie etwa bei Gailly (2013) – mit der Top-level Ontologie zu verwechseln. Im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* handelt es sich bei der Kernontologie um die *Enterprise Ontology* (EO); sie sollte mit Verweis auf die obigen Ausführungen die PLM-Core Ontology (PLM-CO) substituieren, die wiederum auf eine IoX-adäquate Top-level Ontologie referenziert. Es ist die EO-Kernontologie, auf deren Basis sich die *Smart Enterprise Integration* (SEI) vollzieht. Indem sie dabei auf PLM-Systeme als Integrationsplattform des Smart Enterprise resp. der Smart Factory abzustellen hat, wird deutlich, dass die EO-Kernontologie mit Blick auf ihre zentrale Rolle in der *Enterprise Integration* wesentlich den Erfordernissen der PLM-CO zu entsprechen hat. Insofern hat sie vor allem auf das in Pkt. 2.5 erörterte PPR-Framework mit seinen zugehörigen Teilontologien, allen voran Produkt-, Prozess- und Ressourcenontologien abzustellen. Die EO-Kernontologie nimmt eine semantisch explizite Spezifikation von Kernkonzepten (core concepts) vor, die fachlich generischer Natur sind und auf diese Weise die fachlich-inhaltliche Verknüpfung zwischen einzelnen Domänenontologien bzw. weiteren Ontologiearten herstellen. Im Fall der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wird allein auf diese Weise das Ziel der *semantischen Integration* sämtlicher PLC-Phasen erreichbar. Denn eine *vollumfängliche semantische Interoperabilität* lässt sich nicht nur über die grundlegenden TLO-Kategorien erzielen, sondern erfordert genauso die Referenz auf dieselben fachlichen Kernkonzepte, die etwa in der Entwicklungs- und Produktionsphase in einheitlichen geometriebezogenen Konzepten besteht. Indem eine vollumfängliche semantische Interoperabilität eine *zentrale Steuerungsfunktion* der Enterprise Ontology impliziert, wird gerade im Kontext der für PLM-Industrien typischen autonomen Prozessintelligenz bei kritischen Prozessen deutlich, dass insbesondere auch die *Kernontologie* eine *Heavyweight-Ontologie* darzustellen hat, die als solche zwingend auf die Top-level Ontologie referenzieren muss.

Ad (iii) Die *Domänenontologie* (Domain Ontology) erstreckt sich auf das Wissen bzgl. spezifischer Diskursuniversen, Objekt- oder Erfahrungsbereiche; es handelt sich um eine »detailed characterization of "what there is"«. ¹⁹²³ Hierbei kann es sich um *wissenschaftliche*, um *technologische* oder aber um rein *praktische* Domänen und damit um dementsprechende Ontologien handeln. ¹⁹²⁴ Insofern wird deutlich, dass das repräsentierte Wissen, das offensichtlich höchst heterogen ist, auch auf je spezifischen Wahrmachern beruhen muss, wenn die Domänenontologie durchweg als *Referenzontologie* zu verstehen ist. Unter sie fallen etwa biomedizinische Ontologien wie Rechtsontologien, Engineering-Ontologien oder Produktionsontologien, genauso wie prinzipiell alle anderen Wissensbereiche, auf die sich sinnvoll referenzieren lässt. Domänenontologien können somit einmal *objektives Wissen* im Sinne Poppers repräsentieren, etwa bei der Wissensrepräsentation der Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschung. Andererseits sind Domänenontologien vielfach rein

¹⁹²³ Vgl. P.C. Benjamin et al. (1994: 63).

¹⁹²⁴ Vgl. hierzu etwa C. Toro et al. (2012).

praktisch gehalten, wie etwa die Domänenontologie von Arantes et al. (2007), die auf die Softwarekonfiguration zielt. Auch solche Domänenontologien, die auf technologische resp. praktische Domänen wie mit Falbo/Nardi (2008) auf das *Requirements Engineering* (RE) im *Software Engineering* (SE) abstellen, rekurren etwa mit einer Referenz auf die UFO-TLO auf die *Top-level Ontologie*.

Mit Poole/Mackworth (2010: 573) ist es mittlerweile auch in AI-Grundlagenwerken Erkenntnisstand, dass Domänenontologien immer auf die *Top-level Ontologie* zu beziehen sind, um eine semantische Interoperabilität gewährleisten zu können: »Each domain ontology implicitly or explicitly assumes a higher-level ontology that it can fit into. [...] Fitting the domain ontologies into a higher-level ontology should make it easier to allow them to interoperate«. ¹⁹²⁵ Mit Verweis auf die obigen Ausführungen ist genauer betrachtet eine doppelte Referenz erforderlich: die fundamentale Referenz auf die Top-level Ontologie, die integrative Referenz auf Kernontologien, die zum einen in SEA/SEI-Hinsicht in der Enterprise Ontology, zum anderen in *multidisziplinären Kernontologien* bestehen, die eine inhaltliche bzw. interdisziplinäre domänenübergreifende Integration möglich machen. Die oben erläuterte Referenzfunktion der *Top-level Ontologie* hat dabei nicht nur wie im Fall der *Gene Ontology* (GO) auf *Scientific Ontologies* abzustellen, sondern genauso auch auf technologische resp. praktische Ontologien, die regelmäßig auf Konsens als Wahrmacher beruhen. Diese haben also nicht *methodologisch objektives Wissen* im Sinne Poppers zum Gegenstand, sondern vielmehr im *gemeinschaftlichen Konsens objektiviertes Wissen*. Darin besteht offensichtlich ein ganz entscheidender Unterschied: Denn im letzteren Fall endet die Gültigkeit dieses Wissens an den Grenzen der wie auch immer abgegrenzten *praktischen Gemeinschaft*, die jenseits paradigmatischer Gesichtspunkte steht. Domänenontologien zielen auf eine möglichst hohe Wiederverwendbarkeit resp. universale Anwendbarkeit, gerade auch in inter- bzw. transdisziplinär aufgefassten Fachbereichen. Insofern sind sie weder auf eine spezifische Aufgabe noch etwa auf eine bestimmte Applikation bezogen. Es geht hier also um die Repräsentation allgemeinen Domänenwissens, das sich für eine Vielzahl an Anfragen, Aufgaben resp. Anwendungen heranziehen lässt.

Subjektives Wissen im Sinne Poppers ist insofern nicht Gegenstand von Domänenontologien, als diese zu den *Referenzontologien* gehören, die in aller Regel auf *objektivem* resp. im Konsens *objektiviertem* Wissen, nicht aber auf rein subjektivem Wissen gründen. Dennoch zeigt sich gerade bei autonomen AI-Prozessen das Erfordernis, mit der großen Varianz unterschiedlichster Wahrmacher die Ontologie mit Verweis auf Pkt. 3.2.3 auch im Sinne von Wissensontologien der *Natur des Wissens* nach – und damit qualitativ – zu klassifizieren. Darauf kommen wir in Pkt. 3.5 mit CYPO FOX zurück. Subjektive Ontologien spielen umso mehr eine Rolle, als das *Ontology Engineering* zumeist zunächst einen subjektiven Entwurf darstellt. Insbesondere im Fall von technologischen *Engineering Artefakten* haben wir es also mit dem – bar jeder Intersubjektivität – besonders kritischen

¹⁹²⁵ Vgl. hierzu auch Bittner (2007).

subjektiven Wissen (belief) zu tun, wie es im Zeichen der tradierten AI-frühzeitlichen *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) steht. Ohne eine entsprechende Objektivierung, die sich allein im Sinne von Wahrmachern (Truthmakers) verstehen lässt, bleibt jede Ontologie subjektivem Wissen verhaftet. Somit besteht latent die Gefahr, dass ungeprüftes subjektives Wissen zum Bestandteil des ontologischen Wechselspiels komplexer IoX-Systeme avanciert. Insofern sollte auch schon der Prozess des *Ontology Engineering* im Zeichen der *Klassifikation der Natur des Wissens* in einer integrierten Ontologiekonzeption stehen, die im Zusammenspiel mit den in Pkt. 6.2.8 diskutierten Wahrmachern strikt zwischen subjektiven, methodologisch objektivem und im Konsens objektiviertem Wissen differenziert, wie es mit der integrierten Wissensontologie in Pkt. 3.5 vollzogen wird.

Ad (iv) Die *Methodenontologie* (Method Ontology) beschreibt allgemeine *Problemlösungsmethoden* (PSMs),^{1926, 1927} die für die Künstliche Intelligenz (AI) von wesentlicher Relevanz sind. In einigen Ontologiesystematiken werden Aufgaben- und Methodenontologien auch zusammengefasst. Da es jedoch nicht zwingend ist, dass Aufgabenontologien nach solchen allgemeinen Problemlösungsmethoden verfahren, erscheint eine solche Gleichsetzung allerdings unangebracht. In der Tat verzichten Aufgabenontologien, die im Zusammenhang mit reinen Steuerungsprozessen stehen, oftmals auf eine solche PSMs-Kopplung.¹⁹²⁸ Anders gewendet muss eine Aufgabe (Task) nicht zwingend in einem echten Problemkontext stehen, kann aber dennoch sinnvoll ontologiegestützt ausgeführt werden. Insofern ist die synonyme Verwendung von "Aufgabe" und "Problemlösungszielen" bei Chandrasekaran et al. (1992) deshalb unzweckmäßig, weil solche ontologiegestützten Aufgaben nicht nur im KS-Kontext, sondern insbesondere auch im IS-Kontext gegeben sind. Dabei bilden sie Teile von Prozessen, die sich etwa auf Grundlage einer BPMN-SBVR-Kombination modellieren lassen, ohne dass eine PSMs-Kopplung erforderlich ist. Tatsächlich erweisen sich IS- und KS-Prozesse oftmals als unterschiedlich anspruchsvoll, womit Ontologien in IS-Kontexten bzw. im ODIS-Rahmen in einer Reihe einfacher Fälle repetitiver Prozesse eine weitaus weniger gewichtige Rolle zu spielen vermögen als in KS-Kontexten, in denen sie *de facto* immer grundlegend sind. Bereits insofern ist es sinnvoll, zwischen Methoden- und Aufgabenontologien zu differenzieren.¹⁹²⁹

Der Schwerpunkt von *Methodenontologien* liegt dabei etwa mit Expertensystemen (ES) tendenziell bei den *Wissenssystemen* (KS); sie gewinnen deshalb mehr und mehr an Bedeutung, als solche Expertensysteme zunehmend in semantische Varianten transformiert werden, etwa klassische Entscheidungsunterstützungssysteme (DSS) in *Semantische DSS*

¹⁹²⁶ Vgl. hierzu etwa Van Heijst et al. (1997b) sowie Chandrasekaran et al. (1998).

¹⁹²⁷ Vgl. zu solchen *Problem-Solving Methods* (PSMs) etwa Benjamins (1993), Fensel/Straatman (1996, 1998), Gómez-Pérez/Benjamins (1999) sowie Fensel (2000).

¹⁹²⁸ Vgl. exemplarisch Martins/Falbo (2008).

¹⁹²⁹ Der Zweck dieser Differenzierung läuft darauf hinaus, Methoden und Aufgaben in dem Sinne zu isolieren, als das Ziel in einer *möglichst hohen Wiederverwendbarkeit* von Methoden- und Aufgabenontologien bestehen sollte. Ungeachtet dessen verschwimmen mit den heute relevanten IKS *in praxi* nicht nur die Grenzen zwischen Informations- und Wissenssystemen, sondern damit zusammenhängend auch zwischen Aufgaben- und Methodenontologien.

(SDSS).¹⁹³⁰ Demgegenüber spielen *Aufgabenontologien* zwar auch hier eine Rolle, vor allem jedoch im Rahmen von *Informationssystemen* (IS); sie sind wesentliches Merkmal *ontologiebasierter Informationssysteme* (ODIS), was an den weiter unten genannten Beispielen deutlich wird. In der Regel besitzen Methodenontologien insofern einen höheren Allgemeinheitsgrad als Aufgabenontologien, als sich letztere zumeist auf spezifischere Prozesse beziehen. Dabei geht der unterstellte höhere Allgemeinheitsgrad von Methodenontologien darauf zurück, dass Aufgabenontologien im IS-Sinne etwa auf Steuerungsaktivitäten abzielen, die oftmals spezifischer Natur sind, indem sie – ungeachtet ihrer Natur als Referenzontologien – in ihrem Einsatz eng mit der jeweiligen individuellen Prozessarchitektur verwoben sind. Demgegenüber ist mit Blick auf Methodenontologien festzustellen, dass der Aufbau ganzer PSMs-Bibliotheken von Anfang an dem Ziel der Wiederverwendung verpflichtet ist;¹⁹³¹ Ontologien fungieren dabei insbesondere zur Beschreibung einzelner Problemlösungsmethodiken.¹⁹³² Methodenontologien sind in diesem Sinne elementar für alle Arten von Expertensystemen (ES) als Subklasse von Wissenssystemen (KS), indem sie das jeweilige Domänenwissen mit PSMs kombinieren.¹⁹³³ Damit rücken solche Systeme in ihrer Intelligenz in eine ganz andere Dimension vor als konventionelle Programme, die auf eine bloße Kombination von Algorithmen und Daten hinauslaufen.¹⁹³⁴ Das gilt vor allem dann, wenn diese Systeme agentenbasiert als MAS konzipiert sind.¹⁹³⁵

Ad (v) Die *Aufgabenontologie* (Task Ontology) beschreibt Aktivitäten, die in spezifischen Anwendungsdomänen anfallen.¹⁹³⁶ Zwar wird auch im Rahmen der Aufgabenontologie neben der faktisch gegebenen Unabhängigkeit von der Applikationsebene auch eine "Domänenunabhängigkeit" betont, doch kann die Aufgabenontologie nur in dem Sinne "generisch" sein, als sie sich in mehreren eng verwandten Domänen einsetzen lässt. Um ein Beispiel zu bemühen: die "Domänenunabhängigkeit", die etwa Rajpathak et al. (2001) für ihre "generische" *Aufgabenontologie für Planungsprozesse* betonen,¹⁹³⁷ bezieht sich letztlich auf einen *betriebswirtschaftlichen Domänenbegriff*, bei dem sich die Domäne etwa mit Industrie oder Branche gleichsetzen lässt.¹⁹³⁸ Es geht also um all jene Anwendungsbereiche, in denen klassischerweise (betriebliche) Informationssysteme eingesetzt werden. Die Domäne wird hier im rein technologischen bzw. praktischen Sinne verstanden, denn Planungsaufgaben sind Teil von *Steuerungsprozessen*, deren Allgemeinheitsgrad genauso

¹⁹³⁰ Vgl. etwa X. Yang (2009).

¹⁹³¹ Vgl. hierzu Benjamins (1993), Breuker/Van de Velde (1994) sowie Fensel (2000: 116 ff.).

¹⁹³² Vgl. Fensel (2000: 130).

¹⁹³³ Vgl. hierzu Puppe (1993).

¹⁹³⁴ Vgl. *ibid.*

¹⁹³⁵ Vgl. etwa Beydoun et al. (2005).

¹⁹³⁶ Vgl. hierzu etwa Mizoguchi/Vanwelkenhuysen/Ikeda (1995).

¹⁹³⁷ Mit Rajpathak/Motta (2004) geht es darum, die *Natur von Planungsaufgaben* unabhängig von jedem Planungsparadigma, spezifischen Anwendungsgebieten oder Applikationen zur *Lösung allgemeiner Planungsprobleme* in präziser Weise zu formalisieren.

¹⁹³⁸ Damit ist der Domänenbegriff hier regelmäßig sehr viel enger gefasst als jener *Domänenbegriff der Domänenontologie*, der sich auf sämtliche wissenschaftliche, technologische wie auch praktische Domänen erstreckt, was auch ihrem weitaus höheren Allgemeinheitsgrad entspricht.

spezifisch zu verstehen ist wie jener von *Problemlösungsprozessen*, auf die die Problemlösungsmethoden (PSMs) der Methodenontologien zielen: Aufgaben- wie Methodenontologien lassen sich im Sinne von *Referenzontologien* zwar "generisch" konzipieren, doch zielen sie letztlich auf vergleichsweise spezifische Felder, indem die Aufgaben und Probleme – in der ganzen Breite und Tiefe des Ontologiespektrums der transdisziplinären Ontologieklassifikation gesehen – an sich doch sehr spezifischer Natur sind. In diesem Sinne ist ihr Status als Referenzontologie ein grundsätzlich anderer als jener der tatsächlich *universalen* Top-level Ontologie als fundamentalem Weltmodell.¹⁹³⁹ Denn dieses muss mit dem entscheidenden Transdisziplinaritätsmoment prinzipiell für alle Ontologien und damit alle wissenschaftlichen, technologischen wie praktischen Anwendungsfelder gelten können. Analoge Einschränkung gilt entsprechend für *Methodenontologien*, indem sich diese im Zuge von *Problemlösungsprozessen* mit Aufgabenontologien zur Nutzung spezifischer Problemlösungsmethoden (PSMs) verkoppeln lassen.¹⁹⁴⁰

Nicht nur solche Planungsontologien sind für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in hohem Maße relevant, sondern insgesamt ist mit ihr ein reiches Spektrum spezifischer Methoden- und Aufgabenontologien verbunden. Solche Aufgaben- und Methodenontologien können sich nicht nur im Grunde auf *sämtliche PLM-Workflows* aller PLC-Phasen beziehen, sondern sie sind es auch, die in diesem Sinne und im Rekurs auf eine insgesamt steuernde *Enterprise Ontology* als Kernontologie erst die *Smart Enterprise Integration* (SEI) Wirklichkeit werden lassen. Denn über sie läuft die Steuerung der Prozessintelligenz *sämtlicher* U-PLM-Prozesse. Die PLM-Welt ist voller "Tasks"; PLM-Systeme basieren mit ihren Workflows auf "Tasks", und diese können bei verteilten, hochkomplexen und sicherheitskritischen automatisierten Prozessen allein auf einem möglichst umfassenden Gebrauch von "Task Ontologies" gründen. Das muss allerdings mit Blick auf eine stabile *Enterprise Integration* genauso zwingend auf eine integrierte EO- und TLO-Referenz hinauslaufen. In diesem Sinne ist die *Aufgabe (Task)* der Aufgabenontologie im Zeichen der Prozessmodellierung zu verstehen, d.h. konkret etwa als *BPMN-Task* im Kontext von BPMN-Ontologien. Somit wird deutlich, dass sich solche Aufgabenontologien an sich auf das *gesamte IoX-Prozessspektrum* beziehen. Insbesondere gilt dies auch für industrielle, komplexe U-PLM-Prozesse: Deren intelligente, flexible und stabile Prozesssteuerung lässt sich mit Blick auf Losgröße-1-Szenarien der *Smart Factory* nur auf der Grundlage eines

¹⁹³⁹ An diesem Beispiel zeigt sich gut die notwendige Verknüpfung zwischen den Ontologiearten: mit allen grundlegenden Entitäten ist diese zur *Top-level Ontologie* notwendig, etwa mit Blick auf zeitliche Aspekte; sie ist im betriebswirtschaftlichen Kontext im Grunde zwingend auf die *Kernontologie* zu beziehen, konkret auf eine *Enterprise Ontology*, weil sich erst über diese eine Gesamtsteuerung vollziehen lässt, wie sie für die Smart Enterprise Integration erforderlich ist. Und auch kommt eine solche Planungsontologie kaum ohne einen Rückgriff auf spezifische *Domänenontologien* aus, die konkrete fachliche Zusammenhänge vermittelt; genauso wenig wie auf eine Verkopplung mit *Methodenontologien*, wenn im Sinne von Expertensystemen Rückgriff auf konkrete Problemlösungsmethoden (PSMs) zu nehmen ist. Bereits die Planungsontologie Rajpathak/Mottas (2004) basiert explizit auf zwei anderen Ontologien, jedoch fehlt hier die notwendige EO- und TLO-Referenz.

¹⁹⁴⁰ Vgl. hierzu Ikeda/Seta et al. (1998).

umfänglichen Rückgriffs auf Aufgabenontologien realisieren. Das wird nicht nur an den durch Rajpathak et al. (2001) bemühten Planungsprozessen deutlich, die hier bzgl. einer vollautomatisierten flexiblen Planung von besonderem Interesse sind,¹⁹⁴¹ sondern vielmehr mit Blick auf *sämtliche* PLM-Phasen. Das gilt etwa mit Schleipen et al. (2011) für *MES-spezifische Aufgaben*, bei denen Ontologien die Basiselemente einer MES-Semantik bilden, oder mit Calhau/Falbo (2012) für *Konfigurationsaufgaben* im Konfigurationsmanagement komplexer Produkte, das für die *Smart Factory* ebenso unverzichtbar ist.¹⁹⁴²

Mit Calhau/Falbo (2012) werden zwei wesentliche Sachverhalte deutlich: dass es (a) außer Frage steht, dass *Aufgabenontologien* notwendig auf die *Top-level Ontologie* zu referenzieren haben. Konkret nutzen sie dabei die UFO-TLO, und dieser Schritt geschieht nicht von ungefähr. Vielmehr erkennen sie vor dem Hintergrund ihrer *Configuration Management Task Ontology* (CMTO), dass es (b) nicht darum gehen kann, sich auf *einzelne Aufgaben* zu beziehen. Für Calhau/Falbo (2012) ist entsprechend evident, dass in diesem unmittelbar PLM-relevanten Kontext von einer *Prozessontologie* auszugehen ist. Damit aber stellt sich erneut der Streit um die *Natur der Prozesse*, d.h. um das bereits in Pkt. 3.2.2 erwähnte Problem des vollkommen unterschiedlich auslegbaren Verhältnisses von Objekt, Ereignis und Prozess, auf das wir in Pkt. 6.1.1 mit der Divergenz von Objekt- und Prozessontologien zurückkommen. Indessen gelangt mit Martins/Falbo (2008) noch ein dritter Aspekt hinzu: denn mit der Maßgeblichkeit der Prozessperspektive wird (c) nicht nur deutlich, dass die AI-Ontologie von solchen Prozesssteuerungen unmittelbar berührt ist, sondern gleichermaßen die konzeptuelle Modellierung. So gilt es mit Martins/Falbo (2008) solche Prozesse mit konzeptuellen Modellierungssprachen resp. Notationen wie UML oder BPMN als OMG-Standards zu modellieren. Indem mit BPMN2 solche Prozesse nicht nur direkt ausführbar sind, sondern dabei vermittelt der *BPMN-Ontologien* auch AI-Prozessintelligenz im Sinne von auf BPMN-Tasks abstellenden Aufgabenontologien ins Spiel kommt, wird nochmals die Bewandnis der in Pkt. 3.2.4 postulierten Konvergenz der CM- und AI-Ontologien sowie die darauf gründende Forderung nach einer integrierten Ontologiekonzeption deutlich: Denn es geht mit den Prozessen in den CM- und AI-Ontologien natürlich um genau dieselben Sachverhalte.

Im Hinblick auf Aufgabenontologien, die im Zeichen der Prozesssteuerung stehen, lässt sich somit feststellen: CM- und AI-Ontologien haben *einheitlich auf dieselbe Top-level Ontologie* zu referenzieren. Dabei zeigt sich mit solchen BPMN-zentrischen Aufgabenontologien wiederum das TLO-Inkommensurabilitätsproblem, weil hier nicht nur die UFO-TLO mit Calhau/Falbo (2012) ins Feld geführt wird, sondern im Zuge von BPMN-Ontologien auch der Großteil der wesentlichen TLO-Theorieanwärter: jenseits der UFO-TLO etwa BFO, BWW, Cyc UCO, DOLCE, SUMO bis etwa hin zur Sowa-TLO. Tatsächlich ist mit jeder Top-level Ontologie eine andere, teils grundlegend disparate Prozessauffassung

¹⁹⁴¹ Vgl. hierzu etwa Cimatti et al. (2008).

¹⁹⁴² Vgl. hierzu etwa auch Pearce et al. (2016).

verbunden, die sich mit Blick auf die Prozesszentriertheit von PLM-Systemen in ihrer grundlegenden Relevanz nicht negieren lässt. Indem im Kontext intelligenter Systeme – etwa auf MAS-Basis – offensichtlich nicht alle alternativen Prozessauffassungen gleichzeitig richtig sein können, folgt daraus, dass sich auch nicht alle TLO-Ansätze als *IoX-adäquat* werten lassen. In Wirklichkeit ist dies bei den wenigsten der Fall; mit Blick auf die erforderliche gleichzeitige CPSS-Adäquanz bei keinem. Das ist genauer zu untersuchen, wenn insbesondere die prozessontologische TLO-Referenz der BPMN-Notation vor dem Hintergrund der allgemeinen TLO-Inkommensurabilität als Kernproblem zu reflektieren ist. Penicinas (2013) These, wonach das BPMN2-Metamodell am besten durch die BWW-TLO unterstützt sei, ist hier gewiss fraglich. Tatsächlich spricht vieles dafür, solche Thesen kritisch zu hinterfragen, weil in der Wahl eines tatsächlich adäquaten TLO-Theorieanwärters nicht weniger als der zentrale Schlüssel zur *Smart Enterprise Integration* (SEI) besteht. Insofern setzt eine kritische Stellungnahme zu Penicinas (2013) These zunächst einmal die richtigen grundsätzlichen Sichtweisen voraus, wozu es – wie in den vorangehenden Kapiteln deutlich wurde – erheblichen Korrekturbedarf gibt.

Natürlich fallen solche Einschätzungen auf Basis des postklassischen integrierten CM- und AI-Verständnisses sowie der Einsicht in das Erfordernis einer integrierten Ontologiekonzeption ganz anders aus als auf Grundlage tradierter Sichtweisen. Zweifellos muss dazu auch erst einmal Bunges materialistische Substanzontologie mit Pkt. 5.3 an sich verstanden sein, für die wiederum die Erörterung der *Natur der Prozesse* sowie die damit zusammenhängenden maßgeblichen Unterschiede von *Objekt-* vs. *Prozessontologie* in Pkt. 6.1.1 eine Grundvoraussetzung darstellt. Analoges gilt für den in Pkt. 6.1.2 rekapitulierten *Streit um Form vs. Materie* sowie etwa die in Pkt. 6.2 behandelten meta-ontologischen Kriterien. Auf dieser Basis lässt sich erst die BWW-TLO evaluieren, die indessen mit Bunge nur auf einer Klasse-3-Metaphysik basiert. Mit der bereits durch Scheer et al. (2006) oder IBM (2008a) als notwendig erachteten umfassenden wie engen BPM-PLM-Integration rückt die Frage der TLO-Referenz der BPMN-Notation in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* deshalb zwingend in den Vordergrund, weil diese Notation heute Standard ist. Gleiches gilt insofern, als die aktuelle Forschung darauf zielt, die *BPMN-Engine* um eine *CEP-Engine* mit dem Ziel zu ergänzen, Prozesse automatisch auf verschiedenste Ereignisse reagieren zu lassen.¹⁹⁴³ Das ist für das *Business Rules Management* (BRM) wie für das *Workflow Management* (WfM) eine gleichermaßen entscheidende Neuerung. Das *Event-Driven Business Process Management* (ED-BPM), das heute noch recht einseitig dem *Business Activity Monitoring* (BAM) verpflichtet ist, sollte nicht zuletzt vor dem Hintergrund der BPM-PLM-Integration in genau dieser Richtung weiterentwickelt werden.¹⁹⁴⁴ Mit der im SAP-Umfeld entwickelten *Business Event Modeling Notation* (BEMN) als ereignisorientierter

¹⁹⁴³ Vgl. hierzu Barros et al. (2007), Döhring et al. (2010), Kunz et al. (2010) sowie Bülow et al. (2014).

¹⁹⁴⁴ Vgl. hierzu etwa Ammon et al. (2008).

Notation werden weitere Anstrengungen in dieser Richtung deutlich.¹⁹⁴⁵ Tatsächlich besteht in dieser Konvergenz von BPM, BRM, WfM und CEP für PLM-Systeme ein äußerst relevanter Schritt, wenn diese nicht nur typische Kernprozesse abbilden und fundamental workflow- wie regelbasiert sind, sondern auch jenseits davon etwa im Hinblick auf CPS (z.B. PEID im Closed-loop U-PLM) bzw. CPPS der *Smart Factory* in sensorbasierten IoX-Umgebungen genauso grundsätzlich auf der *Ereignisdetektion* aufbauen.¹⁹⁴⁶

Indem wiederum mit Verweis auf Pkt. 6.2.1 absehbar ist, dass das CEP-Konzept gerade bei komplexen IoX-Systemen bei kritischen Prozessen durch ein TLO-referenzierendes *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) überlagert wird, ist anstelle der CEP-Engine eine *SCEP-Engine* vorzusetzen.¹⁹⁴⁷ Damit schließt sich der Kreis, und wir kommen erneut auf die Frage einer IoX-adäquaten Top-level Ontologie als fundamentaler Referenzbasis der *Smart Enterprise Integration* (SEI) zurück. Indem in der Top-level Ontologie der zentrale *ontologische SEI-Integrator* besteht, steht außer Zweifel, dass sie diese Referenzfunktion nicht etwa nachgelagert ausüben kann. Vielmehr wird mit Pkt. 3.3.2 deutlich, dass in ihr entsprechend der eigentliche Ausgangspunkt des *Ontology Engineering* (OE) insgesamt besteht und mit Blick auf ihre fundamentale Referenz- und Integrationsfunktion auch bestehen muss. Wenn in der *Top-level Ontologie* der zentrale *ontologische SEI-Integrator* gegeben ist, gewinnt die Evaluierung und Selektion IoX-adäquater TLO-Theorieanwärter eine ganz entsprechende Bewandnis. Denn dann steht außer Frage, dass die *Qualität jeder Smart Enterprise Integration* (SEI) in praxi in fundamentaler Hinsicht in direkter Beziehung zur CPSS/SEA-Adäquanz des jeweiligen TLO-Theorieanwärters steht, und somit auch maßgeblich von dieser TLO-Evaluierung abhängt. Allerdings ist die TLO-Evaluierung insofern nicht als ausreichend zu werten, als bereits Van Nuffel et al. (2009) erkannt haben, dass auch eine EO-Referenz zur Präzision der BPMN-Semantik erforderlich ist. Es lässt sich mit obigen Ausführungen ergänzen, dass analoges entsprechend für die SCEP-Semantik gilt. Damit ist nicht nur im Hinblick auf die Qualität der *Smart Enterprise Integration* (SEI) neben der TLO-Debatte zwingend auch eine EO-Debatte zu führen. Diese ist auch mit Blick auf den Nachweis der TLO-Referenzierbarkeit von Kernontologien notwendig. Daneben ist sie auch vor dem Hintergrund konkreter Umsetzungsfragen unerlässlich, indem im SEI-Kontext für das SCEP bzw. ED-BPM im Allgemeinen, oder etwa für Standards wie BPMN, SBVR oder OWL im Speziellen in gleicher Weise alle fundamentalen *universalen* TLO-Kategorien einerseits, wie alle elementaren *fachlichen* EO-Kategorien andererseits den veritablen Ausgangspunkt bilden. Somit ist neben der zu vollziehenden TLO-Reflexion in gleicher Weise eine EO-Reflexion mit der gebotenen Dringlichkeit wie Maßgeblichkeit zu vollziehen, wie sie im zweiten Teil skizziert worden ist.

¹⁹⁴⁵ Vgl. Decker et al. (2007).

¹⁹⁴⁶ Einige der zahlreichen *CEP-Potentiale für PLM-Systeme* werden bereits am Rande erkannt, vgl. etwa Fitzpatrick et al. (2013) sowie Bosch-Mauchand et al. (2014); allerdings sind mit der zentralen Rolle, die Ontologien für PLM-Systeme besitzen, vor allem die TLO-bezogenen *OCEP-Potentiale* von Interesse.

¹⁹⁴⁷ Vgl. auch Schaaf et al. (2012).

Tendenziell, jedoch nicht notwendig, haben *technologische* Ontologien im Sinne des in Pkt. 3.2.3 erwähnten prozeduralen Wissens *Methoden-* bzw. *Aufgabenontologien* zum Gegenstand, während *wissenschaftliche* Ontologien im Sinne des deskriptiven bzw. propositionalen Wissens primär *Domänenontologien* implizieren. Demgegenüber laufen *praktische* Ontologien auf die nachfolgend behandelten *Anwendungsontologien* hinaus, in deren Zuge sich die genannten Referenzontologien auf praktische lokale Zwecke adaptieren lassen. Wissenssysteme (KS) bauen vor allem auf Domänen- und Methodenontologien auf, während für Informationssysteme (IS) neben der *Enterprise Ontology* als *Kernontologie* für Integrationszwecke (SEI) im Kontext von Prozessen, Workflows und Prozeduren vor allem die *Aufgabenontologien* maßgeblich sind. Dabei erweist sich gerade auch die *Smart Factory* als task-orientiert.¹⁹⁴⁸ Mit der zentralen Stellung von Prozessen, Workflows und Prozeduren wird deutlich, dass verschiedenste Ontologien unter die Klasse der Aufgabenontologien fallen, etwa auch die erwähnten Sensorontologien, die prozedural sind. Entsprechend bilden Sensorontologien, GIS-Ontologien usw. keine separaten Ontologiearten, sondern fallen in ihrer Prozeduralität unter die Klasse der Aufgabenontologien. Analog ist zu konstatieren, dass kontextsensitive CAW-Ontologien bzw. situationssensitive SAW-Ontologien ebenfalls keine separaten Ontologiearten darstellen, sondern in ihrer Prozeduralität vielmehr als *technologische* Ontologien zu werten sind, die im Allgemeinen *Methoden-* bzw. (primär) *Aufgabenontologien* darstellen. Anders gewendet sind Methoden- und Aufgabenontologien bei komplexen technologischen Systemen im Allgemeinen kontextsensitiv bzw. situationssensitiv. Mit der TLO- bzw. CO-Referenz der *Methoden-* bzw. *Aufgabenontologien* steht außer Frage, dass sich diese Kontext- bzw. Situationssensitivität hier wiederfinden muss. Somit wird bereits an dieser Stelle deutlich, dass kein TLO-Entwurf sachgerecht möglich ist, ohne eingehende Auseinandersetzung mit Prozessen, Workflows und Prozeduren, in deren Kontext sich *Methoden-* bzw. *Aufgabenontologien* bewegen.

Ad (vi) Die *Funktionsontologie* (Functional Ontology) umfasst vor allem solche Ontologien,¹⁹⁴⁹ über die die integrative Funktion der *Enterprise Ontology* (EO) als elementarer Kernontologie in technischer Hinsicht realisiert wird bzw. über die sich die *Smart Enterprise Integration* (SEI) insgesamt vollzieht. Anders gewendet dient die Funktionsontologie insbesondere im weiten Feld der Orchestrierung in SEA- bzw. SOA-Kontexten. Entsprechend sind neben *EA Ontologies* etwa die *Reference Ontology for Semantic SOA* der OASIS (2008) oder die *SOA Ontology* (SOA-O) als Funktionsontologien zu zählen wie insgesamt alle *technischen Service-Ontologien* bzw. *Web Service Ontologies*. Die *Funktionsontologie* bezieht sich im Unterschied zu den beiden vorgenannten Ontologiearten nicht auf Methoden oder Aufgaben, sondern auf *Funktionen*, und stellt damit die dritte Variante in der Gruppe der eigentlichen technologischen Ontologien dar. Sie stehen regelmäßig im Zeichen des Systems Engineering, wobei mit Deshayes/Foufou/Grüninger (2007: 262) gilt:

¹⁹⁴⁸ Vgl. Wieland et al. (2006).

¹⁹⁴⁹ Vgl. hierzu etwa Kitamura/Mizoguchi (1998, 2010), G. Colombo et al. (2007), Mizoguchi (2008) sowie Mizoguchi/Kitamura (2009).

»The purpose of ontologies within engineering is to make explicit, for a given domain, the knowledge contained in engineering software and in business procedures«. Allerdings sind auch bei den Funktionsontologien die Grenzen fließend, wenn Services auf einzelnen Aufgaben (Tasks) gründen: »The concept of a *service* is [...] defined as an abstract *resource* representing a capability to perform some coherent set of *tasks*«. ¹⁹⁵⁰ Indem die Aufgaben (Tasks) immer grundlegend sind, offenbart sich auch der Umstand, dass für das RTE bzw. das IoX der BPM-Gesichtspunkt insgesamt elementar ist. Dieser ist Basis von allem, indem es mit Notationen wie BPMN um die Modellierung von *Event-Task-Sequenzen* geht, die mithilfe von Regeln und Ontologien im AI-Sinne automatisiert werden. Vor diesem Hintergrund besteht dennoch zwischen der *Task Ontology* und der *Functional Ontology* ein elementarer Unterschied, der eine separate Abgrenzung dieser Ontologieart rechtfertigt: denn erstere steht im Zeichen von Prozessen oder Workflows immer auf Basis von *End-to-End-Szenarien*, die einen zeitlichen Anfang und ein zeitliches Ende besitzen, während die *Functional Ontology* als kybernetischer Regelkreis bzw. als System mit Rückkopplungen oder Wiederholungsschleifen zu verstehen ist. Insofern ist beides auch nicht substitutiv, sondern komplementär, indem es mit Pkt. 2.5 immer die *Ressourcen* des PPR-Frameworks sind, die solche Aufgaben als Elemente von *Prozessen* vollziehen, deren Output wiederum im PSS-Sinne in *Produkten* bzw. *Services* besteht. Wenn im SOC-Kontext des *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* diese Services anbieten bzw. in Anspruch nehmen, steht damit außer Frage, dass nicht nur diese selbst dem maßgeblichen Kriterium der CPSS-Adäquanz entsprechen müssen, sondern auch die Funktionsontologie insgesamt. Bisherige *Cloud Service Ontologies* berücksichtigen diesen CPS- bzw. CPSS-Aspekt regelmäßig nicht. ¹⁹⁵¹ Allerdings gilt es zu beachten, dass der gesamte cyber-physische Bereich, also alle IoT-Anwendungen sowie etwa die Smart Factory auf der SOC/SOA-Architektur steht. Insofern ist für die Konzeption von *Cloud Service Ontologies* der ganze IoX-Hyperspace von Relevanz. Analoges gilt mit Verweis auf Abb. 3 damit verbunden in Bezug auf die erforderliche TLO-Referenz; auch diese fehlt bei den *Cloud Service Ontologies* (CSO), ¹⁹⁵² was bei automatischer Serviceauslösung in realen CPS/IoT-Kontexten nicht unproblematisch ist. ¹⁹⁵³ Generell sind mit der Funktionsontologie alle Funktionen der technischen Systemsteuerung adressiert, der Sensorik und Aktorik wie der Adaption komplexer Systeme allgemein. Sie verkörpert Mizoguchis (2008) *Device ontology*, womit deutlich wird, welche elementare Bedeutung sie für *IoT-Things* bzw. für *Smart Objects* aufweist. Denn diese besitzen umfassende Funktionen. Damit wird deutlich, dass SAW- bzw. CAW-Ontologien genauso als Funktionsontologien einzustufen sind wie etwa die W3C *SSN Sensor Ontology* oder die

¹⁹⁵⁰ Vgl. Preist (2004: 399), Hvh. des Verf.

¹⁹⁵¹ Vgl. etwa Di Modica et al. (2013), Nagireddi/Mishra (2013), T.H. Noor et al. (2013), L. Liu/Yao et al. (2014), Parhi et al. (2015) sowie Afify et al. (2016, 2017).

¹⁹⁵² Vgl. Fn. 1951.

¹⁹⁵³ Solche Probleme können bspw. auftreten, wenn die CSO bei Di Modica et al. (2013) in den Kontext der auf die *physische Sensorik* bezogenen Services bei Di Modica et al. (2014) gestellt wird.

EPCIS Event Ontology,¹⁹⁵⁴ die wie andere technische Event Ontologies unmittelbare CEP-Relevanz besitzen. Gerade auch bei den Funktionsontologien zeigt sich die Unabdingbarkeit des Grundsatzes der strikten *TLO-EO-Verkopplung*, indem sie etwa im SCEP-Kontext genauso unmittelbar auf die *Top-level Ontologie* (TLO) referenzieren wie unter SEA/SOA-Aspekten auf die integrative *Enterprise Ontology* (EO). Die *Funktionsontologie* ist analog zur Methoden- und Aufgabenontologie auf technologische Zusammenhänge beschränkt; also mit Verweis auf Pkt. 3.5 auf die W3-Sphäre. Zwar spielen Funktionen mitsamt einer *Ontology of Functions* (OF) nebst TLO-Referenz auch im Kontext naturwissenschaftlicher *Scientific Ontologies* eine wichtige Rolle;¹⁹⁵⁵ sie fallen jedoch mit Verweis auf Pkt. 3.5 in die W1-Sphäre und sind somit als Domänenontologien (DO) zu behandeln.

Ad (vii) Die *Anwendungsontologie* (Application Ontology) ist gerade auch mit Blick auf metaphysische, epistemologische und methodologische Aspekte vollständig anders zu verstehen als sämtliche vorgenannten anderen sechs Ontologiearten, die allesamt nicht *Anwendungs-* sondern *Referenzontologie* (Reference Ontology) sind. Dabei lassen sich solche Referenzontologien nur dann problemlos transdisziplinär wiederverwenden, wenn diese objektives resp. objektiviertes Wissen repräsentieren, das nicht nur dem Wahrheitsprinzip, sondern auch einer einheitlich akzeptierten kategorialen Wissenssystematik entspricht. Demgegenüber lässt sich die Anwendungsontologie anhand von vier Aspekten kennzeichnen: (a) dass sie *nicht Referenzontologie* ist: es handelt sich hier um Ontologien, die speziell den Anforderungen einer spezifischen *lokalen Nutzung* oder der Perspektive eines *individuellen Ontology Engineers* entsprechen. Insofern sind sie im Fall wissenschaftlicher Ontologien auch als *lokale Ontologie* (local ontology) bzw. im Fall technologischer oder praktischer Ontologien als *organisations- oder werkspezifische Ontologie* (site specific ontology) adäquat bezeichnet. In diesem Sinne zielen solche Ontologien weniger auf eine öffentliche Wissensteilung, als vielmehr auf lokale, individuelle oder spezifische Zwecke. Die Motivation ihrer Entwicklung kann vollkommen unterschiedlicher Natur sein: im Fall wissenschaftlicher Ontologien kann sie etwa darin liegen, dass spezifische Forschungsfragen anhand der Kombination verschiedenster Referenzontologien oder Ausschnitten daraus nachgegangen werden soll. Analog dazu kann sie in der bewussten Abänderung von Sachverhalten bestehen, um sie im modalen Sinne rational zu analysieren. Insbesondere bei technologischen bzw. praktischen Ontologien kann diese Motivation aber auch gerade darin bestehen, um Wettbewerbsvorteile auf Grundlage von Anwendungsontologien zu begründen, was auf Basis allgemein zugänglicher Referenzontologien schwerlich möglich ist. Diese lassen sich etwa im Zuge des Einsatzes von Expertensystemen dadurch realisieren, indem neben überlegenem Domänenwissen ebensolche Methoden- bzw. Aufgabenontologien entwickelt und eingesetzt werden, was analog etwa bei ODIS möglich ist.

¹⁹⁵⁴ Vgl. hierzu Lamparter/Legat et al. (2011); vgl. zu EPCIS allgemein Främling/Parmar et al. (2013).

¹⁹⁵⁵ Vgl. dazu Burek/Hoehndorf et al. (2006).

Damit ist (*b*) der Fokus auf das Verhältnis zwischen Anwendungs- und Referenzontologien zu setzen: dieses ist mit Menzel (2003) *zumeist komplementär*, während beide grundsätzlichen Ontologiearten in praxi immer zwingend erforderlich sind. Diese Koexistenz kann sich in Form von zwei Verhältnisfällen darstellen: im üblichen Fall (*b1*) sind die Anwendungsontologien von Referenzontologien abgeleitet bzw. aus diesen generiert, da diese den Stand der jeweiligen Disziplin möglichst vollständig widerspiegeln.¹⁹⁵⁶ Demgegenüber ist ebenso der Fall (*b2*) denkbar, in dem eine solche Ableitung nicht gegeben ist, d.h. Anwendungsontologien aus verschiedensten Gründen vollkommen unabhängig von bereits etwaig bestehenden Referenzontologien entwickelt werden. Tatsächlich werden zuweilen Domänen, die eigentlich bereits durch Referenzontologien abgedeckt sind, durch Anwendungsontologien *de novo* konzipiert, was gerade bei wenig komplexen Ontologien sowie jenseits der generell auf Teilung ausgelegten *Scientific Ontologies* eine Option ist. Liegen indessen keine relevanten Referenzontologien vor, führt dies oftmals dazu, dass lediglich Anwendungsontologien für die unmittelbaren technologischen oder praktischen Zwecke entwickelt werden. Das gilt gerade für hochspezifische Prozesse, für die es keine Referenzstandards gibt, bzw. deren Problemlösung ein privates "Asset" darstellt. Demgegenüber wird auch hier im Fall der *Scientific Ontologies* für gewöhnlich anders verfahren, indem sich das Bemühen dann wiederum zunächst auf das Schaffen von Referenzontologien richtet. Es kommt also sehr auf die repräsentierten Inhalte an, und insofern besitzt etwa Smith mit seiner rein auf *Scientific Ontologies* fixierten BFO-TLO eine völlig andere Perspektive als etwa Guarino mit seinen ODIS-Ontologien, von Wysuseks (2006b: 143) "*fairy ontology*" ganz zu schweigen. Es überrascht, dass dies in der Ontologiedebatte generell übersehen wird, wobei außer Frage steht, dass die Lösung der Ontologiekontroverse allein darin bestehen kann, dass sich Ontologien nicht nur auf disparate *Weltmodelle*, sondern damit auch auf unterschiedliche *Weltypen* im Popperschen Sinne beziehen. Indessen ist der Fall (*b1*) in praxi der wesentliche, indem das durch Referenzontologien repräsentierte objektive resp. objektivierte Wissen nochmals auf lokaler Ebene resp. werksseitig für die jeweiligen konkreten Zwecke modifiziert oder erweitert wird. Es geht hier also um die Momente der lokalen Anpassung, kontextueller Spezifizierung, Spezialisierung, Detaillierung resp. Konkretisierung oder um die experimentelle Manipulation von Referenzontologien im Sinne eines "What if X?". Dabei stellen sich diese Momente bei – zumeist im KS-Kontext stehenden – *wissenschaftlichen* Referenzontologien zuweilen anders dar als bei – oftmals im IS-Kontext stehenden – *technologischen* oder *praktischen* Referenzontologien.

Grundsätzlich kann dabei auf alle Referenzontologien von (i) bis (vi) Bezug genommen werden; allerdings sollten insbesondere (i) *Top-level Ontologien* sowie ggf. auch (ii) *Kernontologien* mit Blick auf ihre Integrationsfunktion dabei nicht substantiell verändert werden; vielmehr sollte es mit Verweis auf die Ausführungen unten dabei vor allem um die Generierung von Lightweight-Versionen gehen. Tatsächlich bezieht sich die Generierung

¹⁹⁵⁶ Vgl. Jansen (2008b: 81).

von Anwendungsontologien aus Referenzontologien vor allem auf Domänenontologien sowie auf Aufgaben-, Methoden- und Funktionsontologien, also auf die Wissensontologien im engeren Sinne. Die Praxis der Ableitung von Anwendungsontologien aus Referenzontologien ist etwa im Rahmen der bereits in Pkt. 3.2.3 erwähnten *Open Biomedical Ontologies* (OBO) insbesondere im Bereich biomedizinischer Forschung seit längerer Zeit gängig;¹⁹⁵⁷ die stark zunehmende Verbreitung dieser Praxis ist deutlich absehbar. Brinkley et al. (2006) ist darin zuzustimmen, dass diese Ableitung von Ontologien aus Referenzontologien einen Grundpfeiler des *Semantic Web* (SW) begründen sollte, womit schließlich erneut die unverzichtbare Rolle von *Top-level Ontologien* etwa auch für die auf SW-Umgebungen aufbauende *Semantic E-Science* deutlich wird, wie sie etwa mit der *biomedizinischen Ontologie* bereits existent ist.¹⁹⁵⁸ Das Analogon zur Referenzontologie besteht hierbei im Sinne des der *Realitätsrepräsentation* verpflichteten objektiven Wissens in der *wissenschaftlichen Theorie*; das Analogon der Anwendungsontologie hingegen in einem *technischen Produkt* wie speziellen Computerprogrammen.¹⁹⁵⁹ Der Fall (*b2*), in dem Anwendungsontologien in keiner Verbindung zu Referenzontologien stehen, entspricht in etwa den in Pkt. 3.2.3 erörterten *Überzeugungssystemen* (Belief Systems); denn Gegenstand ist hier nicht objektives, sondern *subjektives Wissen*, das ggf. im organisationsweiten Sinne erst in einem zweiten Schritt objektiviert wird.

Der dritte Aspekt zur Kennzeichnung von Anwendungsontologien besteht (*c*) in ihrer *Implementierungsnähe*; diese ist insofern gegeben, als Anwendungsontologien auf die spezifischen Zwecke dezidierter *Applikationen* zielen. Entsprechend beschreibt die Anwendungsontologie Konzepte, die innerhalb einer *konkreten* Anwendung relevant sind. Sie beziehen sich auf eine spezifische Anwendungsdomäne einschließlich zugehöriger Aktivitäten. Bei Anwendungsontologien handelt es sich um konkrete Spezialisierungen insbesondere von Domänen- sowie Aufgaben-, Methoden- bzw. Funktionsontologien. Der wesentliche Unterschied von Anwendungsontologien in ihrem Gegensatz zu Referenzontologien besteht indessen im vierten Aspekt, nämlich (*d*) im Hinblick auf ihre grundsätzlichen metaphysischen, epistemologischen und methodologischen Unterschiede, die für den oben genannten Fall (*b2*) gelten, wenn sie im Sinne von *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) in keinerlei Verbindung zu *Referenzontologien* stehen, für die andere Kriterien gelten. Es ist möglich, dass auch bei ihnen Konsens besteht, etwa in der Organisation, in der sie angewendet werden. Allerdings handelt es sich dabei um keinen paradigmatischen Konsens, weil sich dieser *per definitionem* im Sinne Kuhns (1974: 460) auf die *Scientific Community* beschränkt, was im Sinne von Smithens *Scientific Ontologies* mit dem Gedanken der *Referenzontologie* korrespondiert. Allerdings erscheint es sinnvoll wie legitim, dies

¹⁹⁵⁷ Vgl. hierzu Rosse/Mejino (2003), Brinkley et al. (2006), Burgun (2006) sowie Shaw et al. (2008).

¹⁹⁵⁸ Vgl. etwa Grenon/Smith/Goldberg (2004), Pisanelli/Gangemi (2004), Schulz/Hahn (2004), Bodenreider/Burgun (2005), Schulz/Beisswanger et al. (2006a, 2006b), Schulz/Kumar/Bittner (2006), A.C. Yu (2006) sowie Ruiz-Martínez et al. (2012).

¹⁹⁵⁹ Vgl. Jansen (2008b: 81).

im Sinne des engen Bezugs von Wissenschaft und Technologie jeweils einschließlich von *Technoscientific Communities* zu verstehen. In Abgrenzung zu Referenzontologien können Anwendungsontologien jedoch im Erprobungs- bzw. Entwicklungssinne auch dadurch gekennzeichnet sein, dass zu den repräsentierten Sachverhalten *kein allgemeiner Konsens* besteht. Dies kann damit einhergehen, dass sie noch auf *rein subjektivem Wissen* beruhen.

Auch Menzel (2003) konstatiert im Kontext der durch ihn mitentwickelten SUMO-TLO diese grundsätzlichen metaphysischen, epistemologischen und methodologischen Unterschiede, die zwischen *Anwendungs-* vs. *Referenzontologien* bei der semantisch expliziten Spezifikation von Weltmodellen *de facto* bestehen und entsprechend zu beachten sind:

»ROs [reference ontologies, A.d.V.] are all about getting the world — or some important piece of it — *right*. An ontology of time purports to describe its actual nature, to proffer the sober metaphysical truth on such matters as whether time is discrete, continuous, some combination of the two; whether there are timepoints or intervals, or both, and so on.«¹⁹⁶⁰

Es ist von wesentlichem Belang, wenn Menzel (2003) allen Referenzontologien eine Tendenz zum *philosophischen Realismus* zuschreibt, mit dem er sowohl den *metaphysischen* als auch den *epistemologischen Realismus* meint. Die ganze Tragweite dieser hier geteilten Position wird dann deutlich, wenn nochmals in Erinnerung gerufen wird, dass sechs der sieben oben erläuterten Ontologiearten *Referenzontologien* darstellen. Denn mit Menzel (2003) wird klar: alle Referenzontologien müssen im Sinne objektiven resp. objektivierten Wissens und in ihrer Neigung zum metaphysischen bzw. epistemologischen Realismus auf ein metaphysisches Fundament zielen. Das gilt für die *Top-level Ontologie* unmittelbar; für alle anderen Ontologien über die metaphysisch fundierte Top-level Ontologie in ihrer Referenzfunktion indirekt. Allein auf diesem Wege lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem aller Ontologien, speziell auch das der *Top-level Ontologie*, überwinden. Darin ist auch ein zentraler Grund zu sehen, warum für Popper selbst die Richtigkeit des philosophischen Realismus außer Frage steht und er die Metaphysik explizit befürwortet. Neben dem metaphysischen und epistemologischen Realismus ist mit Menzel (2003) für die Referenzontologie drittens auch eine *methodologische Betonung der Wahrheit* kennzeichnend. Für diese sind entsprechend die wesentlichen Unterschiede der in Pkt. 6.2.8 diskutierten Wahrmacher von zentraler Relevanz. Demgegenüber kontrastiert die Anwendungsontologie mit Menzel (2003) in allen drei genannten Punkten mit der Referenzontologie. Im Gegensatz zum philosophischen *Realismus* geht es bei ihr um eine philosophische Neigung in Richtung *Pragmatismus, Instrumentalismus und Konstruktivismus*. Damit wird deutlich, dass der Unterschied zwischen Referenz- und Anwendungsontologie nicht zuletzt auch im Zeichen des in Pkt. 6.2.6 erörterten Gegensatzes von *Realismus vs. Konstruktivismus* steht. Methodologisch geht es hier weder um objektives resp. objektiviertes Wissen noch um Wahrheit im Sinne von Wahrmachern (Truthmakers). Für die Anwendungsontologie ist mit Menzel (2003) vielmehr die *Glaubwürdigkeit (fidelity) der praxiskollaborativen Überzeugungen* (beliefs) ausschlaggebend. Darin besteht letztlich

¹⁹⁶⁰ Menzel (2003: 2), Hvh. im Orig.

jenes Prinzip, das für *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) an sich kennzeichnend ist: es geht um *Überzeugungen*, nicht um *objektives Wissen*, was Referenzprobleme impliziert. Zwar zeigen subjektive Ontologien, die immer Anwendungs- und niemals unmittelbar Referenzontologien sind, dass diese Zuordnung an sich richtig ist. Gleichzeitig wird damit jedoch das Erfordernis der engen Bezogenheit von Anwendungs- auf Referenzontologien deutlich, indem gerade auch erste CPS-adäquat sein müssen. D.h. der Realismus ist für Anwendungsontologien genauso zu fordern, indem diese regelmäßig in Cyber-physischen Systemen (CPS) zum Einsatz kommen. Genau das weist auf die Poppersche Methodologie.

Vor diesem Hintergrund werden nochmals die Unterschiede in den Ontologiekonzeptionen von Smith und Gruber deutlich: Obwohl auch Gruber (1991, 1993, 1995) explizit die Portabilität von Ontologien, die Wissensteilung und die Wiederverwendbarkeit von Wissen im Auge hat, eignet sich seine Ontologiekonzeption dafür letztlich gerade nicht. Denn sie entspricht mit ihrem Konstruktivismus, ihrer Konzeption im Sinne tradierter Überzeugungssysteme und ihrer einfachen Klassifikation im Sinne von Lightweight-Ontologien der Tendenz nach deutlich der *Anwendungsontologie*, nicht aber jener der *Referenzontologie*. Tendenziell, wenn auch mit sehr deutlichen Abstrichen zu Gruber, gilt dies genauso für die Ontologiekonzeption Guarinos, wie sie Grundlage der DOLCE-TLO ist. B. Smith (2004) ist demgegenüber mit seinen *Scientific Ontologies*, die den Charakter der BFO-TLO bestimmen, deutlich an der Referenzontologie und ihrem Realismus orientiert.¹⁹⁶¹ – Wenn hinter der Referenzontologie eine Neigung zum Realismus, und hinter der Anwendungsontologie eine zum Konstruktivismus steht, sei mit Verweis auf Pkt. 1.2 an Sankey (1994) und Devitt (2001) erinnert, mit denen festgestellt wurde, dass der Konstruktivismus tendenziell der für die semantische Interoperabilität problematischen Inkommensurabilität zuträglich ist, während der Realismus im Sinne der IS-Interoperabilität und KS-Transdisziplinarität eher die Kommensurabilität fördert. – Anwendungsontologien zielen damit vor allem auf organisationspezifische Zwecke konkreter Informations- resp. Wissenssysteme ab, die sich in ihrer eigenen Welt bewegen. Sollen über Ontologien Wettbewerbsvorteile aufgebaut werden, wie es gerade im Zeichen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* eine Option darstellt, ist der Bruch zwischen Anwendungs- und Referenzontologie teils durchaus gewollt; allenfalls gibt es diesen Bezug dann noch in den jeweiligen Organisations- resp. Kooperationsgrenzen.

¹⁹⁶¹ Das gilt auch dann, wenn sein ontologischer Realismus *kein metaphysischer*, sondern ein *methodologischer* ist, vgl. Smith/Ceusters (2010). Eine solche Differenzierung ist nicht mehr als eine verzichtbare Nuance: denn in der *wissenschaftlichen Metaphysik* ist der *metaphysische Realismus* keine durch Smith/Ceusters (2010) mit der Gefahr möglicher Angreifbarkeit zu vermeiden gesuchte *metaphysische Doktrin*, sondern vollkommen unproblematischer Bestandteil der Methodologie. Als solcher markiert er bereits in Poppers *Kritischen Rationalismus* letztlich die *grundlegendste aller Hypothesen*, die für einen sachgerechten transdisziplinären Wissenschaftsbetrieb als notwendig vorauszusetzen ist, vgl. hierzu Popper (2002b), insbes. S. 92. Wie Popper richtig ausführt, macht ein sachgerecht verstandener Wissenschaftsbetrieb ohne diese fundamentale Hypothese letztlich keinen Sinn – und gleiches gilt für den epistemologischen Realismus.

Mit dem Gegensatz von *Referenz-* vs. *Anwendungsontologie* kommen wir von den sieben differenzierten Ontologiearten zu den zwei *Ontologietypen*, die im Sinne eines divergierenden Explikations- bzw. Formalisierungsgrads in Form des Gegensatzes von *Lightweight-* vs. *explikativen Heavyweight-Ontologien* bestehen. Tatsächlich gibt es eine Verbindung zwischen diesen beiden Gegensätzen, nämlich insofern, als *Anwendungsontologien* mit Menzel (2003) insofern regelmäßig in Richtung der *Lightweight-Ontologien* tendieren, als sie für die Bedürfnisse spezifischer praxiskollaborativer Zwecke resp. konkreter Applikationen oftmals lediglich eine minimale terminologische Struktur erfordern. Es steht außer Frage, dass diese Verbindung nicht zwingend ist, aber sie besteht der Tendenz nach, da neben dem Konstruktivismus auch Lightweight-Ontologien im Sinne eines geringen Formalisierungs- resp. Explikationsgrads solch einfacher Taxonomien der Inkommensurabilität von Ontologien förderlich sind. Demgegenüber verhält es sich bei Heavyweight-Ontologien diametral anders; in ihrer umfassenden TLO-Referenz tendieren diese regelmäßig in Richtung der Referenzontologien (et v.v.). Mit solchen Lightweight-Ontologien steigt die *Gefahr der semantischen Fehlzuordnung* (semantic mismatch), die sich auf Basis axiomatisierter explikativer Heavyweight-Ontologien reduzieren lässt.¹⁹⁶²

Bei *Lightweight-Ontologien* handelt es sich um einfache Terminologien, Klassifikationen und Taxonomien, die als *Katalog der jeweiligen Diskurswelt* aufzufassen sind. In diesem Sinne bestehen sie aus Begriffen, Beziehungen zwischen diesen, Eigenschaften, die diese Begriffe resp. linguistischen Konzepte beschreiben, sowie aus Taxonomien als begriffliches Klassifikationsschema.¹⁹⁶³ Entsprechend sind Lightweight-Ontologien *in inhaltlicher Hinsicht* mit dem Handwerkszeug der Linguisten, etwa Begriffsnetzen, erstellbar. Bei ihnen handelt es sich nicht um die eigentliche Ontologie der Informatik, sondern ihnen kann diese Bezeichnung allenfalls in einem abgeleiteten Sinne zukommen. Denn unter Lightweight-Ontologien fallen auch etwa einfache Thesauri oder Topic Maps, die jedoch an dem eigentlichen Wesen der Ontologie als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* in entscheidender Weise vorbeiziehen. Wie oben dargelegt, ist für ein sachgerechtes Ontologieverständnis sowohl in der CM- als gerade auch in der AI-Sphäre vielmehr McCarthys (1995) "*general world view*" entscheidend, der sich natürlich nicht auf dem Wege von solchen *Lightweight-Ontologien* erzielen lässt, weil für diese – im Gegensatz zur sachgerecht konzipierten Heavyweight-Ontologie – eine TLO-Referenz nicht zwingend ist. Vor diesem Hintergrund wird klar: *Heavyweight-Ontologien* können gar nicht – wie vielfach behauptet wird – in der Weise verstanden werden, dass sie etwa eine *bloße Erweiterung* zur Lightweight-Ontologie bilden.¹⁹⁶⁴ Wer das behauptet, hat weder den Ontologiegedanken an sich verstanden noch den Zusammenhang, in welcher Richtung McCarthys (1995) "*general world view*" vor dem Hintergrund einer CPSS-adäquaten Ontologie zu entwickeln ist: Wie Ontologie also zu konzipieren ist, damit sie nicht nur

¹⁹⁶² Vgl. hierzu etwa Masolo et al. (2002, 2003).

¹⁹⁶³ Vgl. Gómez-Pérez et al. (2004: 8).

¹⁹⁶⁴ Vgl. exemplarisch Corcho et al. (2003: 44) oder Gómez-Pérez et al. (2004: 8).

etwa für die autonome Robotik funktioniert,¹⁹⁶⁵ sondern auch nicht von vornherein den Weg zur Superintelligenz von AI-Systemen verbaut. Damit handelt es sich bei der Heavyweight-Ontologie mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 um einen grundsätzlich anderen Ansatz.

Entsprechend geht es im Vorgriff auf den folgenden Pkt. 3.3.2 auch um einen gänzlich differenten OE-Ansatzpunkt. Denn bei diesem kann es sich nicht wie im ersten Fall um eine primär linguistische Konzeption handeln, sondern es muss seiner Natur nach um etwas fundamental anderes gehen: *Heavyweight-Ontologien* lassen sich nämlich nur insofern als explikative Ontologien entwickeln, als sie gerade *nicht* von einem linguistischen Ausgangspunkt generiert werden. Es kann bei ihnen nicht darum gehen, im linguistischen Sinne Begriffe einfach zu Begriffsnetzen zu verweben und diese um gewisse Regeln zu ergänzen. Vielmehr besteht der Ausgangspunkt in der Entwicklung von *Heavyweight-Ontologien* in der *Top-level Ontologie*, womit es sich in ihrer systematischen philosophischen Fundierung um einen explizit *metaphysischen* Ansatz handelt. Denn das explikative wie axiomatische Moment der Heavyweight-Ontologie basiert weniger auf der hier verstärkt genutzten logico-mathematischen Methode, als auf dem, was *Ontologie* mit Verweis auf den vierten, fünften und sechsten Teil eigentlich ausmacht: *kategoriales Schema, fundamentales Weltmodell, formale Ontologie*,¹⁹⁶⁶ *logische Form, Mereotopologie*,¹⁹⁶⁷ *mathematische Strukturen* usf.

Mit diesem eigentlichen OE-Ansatzpunkt ist – im grundlegenden Unterschied zur Vorgehensweise bei der Entwicklung bisheriger Lightweight-"Ontologien" – von vornherein nicht nur eine vollumfängliche IS-Interoperabilität, sondern auch eine KS-Transdisziplinarität angelegt. Denn mit der Referenz auf die metaphysisch fundierte Top-level Ontologie sind die ontologischen Weltmodelle aller Wissensontologien einheitlich auf ein *fundamentales Weltmodell* bezogen. Dieses fundamentale Weltmodell bezieht sich auf die Realität sowie ggf. auf mögliche Welten in ihrer Totalität, und geht in seiner Universalität damit über das jeweils zu adressierende Diskursuniversum im bisherigen Sinne ganz grundsätzlich hinaus. Somit ist die TLO-Referenz nicht nur für die *Heavyweight-Ontologie* konstituierend, sondern für jede sachgerecht entwickelte Ontologie zwingend. Es geht bei ihr um *formale Ontologie*, und damit sowohl bei Husserl (1929), als auch bei Whitehead (1929a) oder etwa Cocchiarella (1991, 2001) darum, dass weder die historisch vielfach vollzogene Trennung zwischen Ontologie und Logik möglich ist noch andererseits eine Reduktion von Ontologie auf Logik.¹⁹⁶⁸ Vielmehr gilt mit Sowa (1995: 669): »Logic is pure form, and ontology is the content. Without ontology, logic says nothing about anything.

¹⁹⁶⁵ Vgl. zu entsprechenden Anforderungen bereits Brooks (1986).

¹⁹⁶⁶ Diese ist mit Verweis auf Pkt. 4.1 im Sinne der *wissenschaftlichen Metaphysik* als *existentielle Ontologie* in dem Sinne aufzufassen, dass sie einen *empirischen Ring* aufweist.

¹⁹⁶⁷ Im mit Pkt. 4.1 erforderlichen Kontext *wissenschaftlicher Metaphysik* ist es wenig angezeigt, die *Mereotopologie im rein mathematischen Sinne* verstehen zu wollen. Das ist in der TLO-Debatte auch regelmäßig nicht der Fall. Bezogen auf ihren sachgerechten Typus sollte es sich vielmehr um eine *Mereotopologie im Whiteheadschen (1929a) Sinne* handeln.

¹⁹⁶⁸ Hier soll allein der Hinweis genügen, dass die *formale Ontologie* in Verbindung mit der *deskriptiven Ontologie* steht, vgl. Poli (2003a).

Without logic, ontology can only be analysed, represented, and discussed in vague generalities«. Entgegen landläufiger Auffassungen kann der Gedanke der Heavyweight-Ontologie somit nicht auf einen umfassenden Einsatz formaler Methoden resp. *formaler Logik* reduziert werden: Nicht nur ist *formale Ontologie* viel mehr als das;¹⁹⁶⁹ insbesondere benötigt dieser Gedanke gerade im AI-Kontext McCarthys (1995) "*general world view*", d.h. eine Position zu den fundamentalen Strukturen der Welt. Das heißt: er benötigt *zwingend Metaphysik*. Man muss vor diesem Hintergrund nicht so weit gehen wie Arp (2010) und *formale Ontologie* mit *Top-level Ontologie* gleichsetzen; genauso wenig wie es angezeigt sein sollte, *formale Ontologie* wie Ferrario (2006) in *Lightweight-Ontologien* einerseits, und – im Sinne der Heavyweight-Ontologie gemeinter – *Top-level Ontologie* andererseits zu unterteilen.¹⁹⁷⁰ Demgegenüber steht die Notwendigkeit der *TLO-Referenz, explikativer Heavyweight-Ontologien* außer Frage, was nicht immer evident zu sein scheint: So ist zuweilen im SWT-Kontext im Zeichen maximaler Ausdrucksstärke auch bei OWL als RDF-basierter Ontologiesprache von *Heavyweight-Ontologie* die Rede,¹⁹⁷¹ ohne dass dabei eine TLO-Referenz vollzogen wird. Das kann zwar im Sinne isoliert entwickelter Anwendungsontologien zulässig sein, ist jedoch in genereller Hinsicht gerade nicht wegweisend, was sich bereits an der oben in Pkt. 3.2.3 erwähnten OBO-OWL-Transformation illustrieren lässt. Denn diese weist mit der vergleichsweise weit fortgeschrittenen biomedizinischen Ontologie *in ihrer TLO-Bezogenheit* den Weg, der mit der *Heavyweight-Ontologie* insgesamt einzuschlagen ist. Vor diesem Hintergrund sollte von *Heavyweight-Ontologie* nur dann die Rede sein, wenn eine TLO-Referenz gegeben ist, indem die an sie gestellten Anforderungen ohne Rückgriff auf ein universales kategoriales Schema unerfüllbar sind.

Mit diesem kategorialen Schema geht es allerdings notwendig um mehr, indem zahlreiche *meta-ontologische Dispositionen* vorzunehmen sind. Ohne diese ist ein kategoriales Schema im explikativen Anwendungszusammenhang, in dem die *Top-level Ontologie* immer steht, nicht sachgerecht vollziehbar. Denn nicht nur mit dem kategorialen Schema an sich werden die Entitäten im metaphysischen Sinne strukturiert; sondern dazu sind eine Vielzahl von Vorbedingungen zu treffen: etwa bezüglich der Frage, ob Universalien existent sind, ob Objekte zwingend materieller Natur sind, ob Ereignisse, Prozesse oder Objekte eine zentrale Kategorie bilden bzw. überhaupt eigenständige Kategorien darstellen, ob es allein um aktuelle, oder auch um mögliche Welten geht usf. Es steht somit außer

¹⁹⁶⁹ Vgl. hierzu auch Poli (1995).

¹⁹⁷⁰ Tatsächlich besteht dabei das Problem darin, dass mit *formaler Ontologie* heute Verschiedenes gemeint ist; die *formale Ontologie* der Informatik kann deshalb nicht in Husserlscher Interpretation genutzt werden, weil hier tatsächlich der Gegensatz von *formaler vs. materialer Ontologie* mit Poli (1995) jenem von *universaler vs. regionaler Ontologie* entspricht. In der Tat verhält sich noch heute die *materiale Ontologie* zur *regionalen* kongruent; jedoch läuft im Kontext der Informatik *formale Ontologie* nicht notwendig auf *universale Ontologie* hinaus – allenfalls in letzter Konsequenz im transdisziplinären Sinne der Einheit der Erkenntnis. Der *universalen Ontologie* entspricht nämlich lediglich die *Top-level Ontologie*, während alle anderen oben differenzierten Ontologiearten ebenfalls im Zeichen *formaler Ontologie* stehen, jedoch nicht universaler, sondern regionaler Natur sind. Entsprechend korrespondiert Arps (2010) obige Position mit jener Husserls, aber nicht mit dem heutigen Verständnis der Informatik.

¹⁹⁷¹ Vgl. etwa Szeredi et al. (2014: 408); vgl. hierzu auch die Analyse bei Villazón-Terrazas (2012).

Frage, dass Ontologie ohne solche meta-ontologische Dispositionen genauso unmöglich ist wie ohne den spekulativen Entwurf des Kategorienschemas an sich. Entsprechend zeigt sich die Mächtigkeit der Axiomatik der Heavyweight-Ontologien durch nichts anderes als durch die ihnen jeweils zugrundeliegende *Top-level Ontologie* bestimmt, die sie wiederum erst durch das jeweilige revisionäre metaphysische System erfährt, auf dem sie selbst aufsetzt. Weil alle sachgerecht konzipierte Heavyweight-Ontologie eine TLO-Referenz bedingt, zeigt sich die Axiomatik also insgesamt durch die metaphysische Systematik bestimmt. Denn diese entscheidet etwa darüber, ob es sich um eine Objekt- resp. Substantz-ontologie oder um eine Prozessontologie handelt, sowie etwa um welchen Typ von Zeitontologie.¹⁹⁷² Analoges gilt mit Blick auf die Bezogenheit aller Objekte auf das kategoriale Schema für eine Reihe wesentlicher Integritätsbedingungen resp. Zuordnungsregeln.

Anders gewendet lässt sich sagen, dass sich *Lightweight-"Ontologien" als Anwendungsontologien* durch jeden Linguisten definieren lassen, während die Entwicklung explikativer, axiomatisierter *Heavyweight-Ontologien als Referenzontologien* ungleich aufwändiger ist und neben der erforderlichen linguistischen Expertise etwa im Hinblick auf die methodologischen Voraussetzungen objektiven Wissens, die Kategorialanalyse oder etwa die Mereologie neben der generell notwendigen Informatik-Expertise ein sehr profundes philosophisches wie logico-mathematisches Rüstzeug für die *Ontology Engineers* voraussetzt. In diesem Sinne stellt die Entwicklung von *Heavyweight-Ontologien als Referenzontologien* i.d.R. ein interdisziplinäres Unterfangen dar. Im Zeichen der nicht-machbaren Erweiterung von Lightweight-Ontologien lassen sich also Heavyweight-Ontologien nicht aus diesen entwickeln. Demgegenüber gilt umgekehrt, dass sich Lightweight-Ontologien aus Heavyweight-Ontologien ableiten lassen, wie es etwa im Falle der DOLCE-TLO geschieht, indem die DOLCE+DnS Ultralight (DUL) Lightweight-Ontologie mit Blick auf spezifische Runtime-Implementierungen von ihr abgeleitet ist. Im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, etwa mit Blick auf den Einsatz von Ontologien im Produktionsbereich und entsprechende Interoperabilitätsaspekte bei kritischen Prozessen in offenen und evolvierenden Umgebungen steht außer Frage,¹⁹⁷³ dass in prinzipieller Hinsicht lediglich TLO-referenzierende *explikative Heavyweight-Ontologien* in Frage kommen.¹⁹⁷⁴

¹⁹⁷² Vgl. zur Zeitontologie Fernández-López/Gómez-Pérez (2004).

¹⁹⁷³ Als *kritisch* sind solche Prozesse nicht nur dahingehend einzustufen, dass sie eine signifikante Auswirkung auf die gesamte industrielle Wertschöpfung besitzen, sondern auch, weil sie mit zahlreichen anderen Prozessen an verteilten Standorten und ggf. organisationsübergreifend wechselwirken. Insofern muss es gelten, *ontologisch bedingte Fehlschlüsse* systematisch zu vermeiden. Dies gilt insbesondere auch mit Blick auf *de facto sicherheitskritische Prozesse*, die für die meisten PLM-relevanten Industrien kennzeichnend sind, etwa im Hinblick auf *ontologisch bedingte Fehlschlüsse in Produktionsprozessen* in der petrochemischen Prozessindustrie, der Biotechnologie oder der Lebensmittelindustrie, oder aber etwa mit Blick auf *ontologisch bedingte Konstruktionsfehler* in Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, Automotive oder der Medizintechnik.

¹⁹⁷⁴ Vgl. etwa Young/Gunendran et al. (2007a); Chungoora et al. (2010) weisen darauf hin, dass das *Ontology Engineering von Heavyweight-Ontologien* nicht unproblematisch ist, wobei sich die Probleme jedoch im Zuge der *TLO-Referenz* beheben lassen, die *plattformunabhängige Ontologiemodelle* sichert.

3.3.2 Zum Widerstreit linguistischer vs. realistischer OE-Ansatzpunkte

»As we become even more tolerant about objects and relations, we find some that present serious difficulties. Units and intervals of time; actions, events and processes; provability and truth; knowledge, beliefs, goals, and intentions; sentences and propositions – all these require "special handling."«

— Michael R. Genesereth/Nils J. Nilsson (1987: 207)

Mit Blick auf die Frage des *Ontology Engineering* (OE) lassen sich Ontologien in zwei grundsätzliche Gruppen einteilen, nämlich, ob sie nach dem Ansatzpunkt *linguistischer* oder *realistischer* Ontologien entwickelt werden.^{1975, 1976, 1977} Der Widerstreit zwischen diesen beiden OE-Ansatzpunkten zeigt sich dabei elementar durch die *Top-level Ontologie* bestimmt.¹⁹⁷⁸ Genauso steht er in direktem Zusammenhang mit der in Pkt. 4.1 behandelten Frage der Metaphysik. Konkret ist die OE-Frage unmittelbar mit Strawsons (1959) in Pkt. 6.2.2 behandelte Differenzierung zwischen *deskriptiver* und *revisionärer* Metaphysik verbunden, worauf wir weiter unten noch näher zurückkommen. Der *linguistische* Ansatzpunkt und mit ihm linguistisch verfasste Ontologien kommen bisher vor allem (i) im Zeichen der Gruberschen (1993, 1995) Ontologiekonzeption in der *AI-Sphäre* nach klassisch epistemologischem AI-Verständnis von *Überzeugungssystemen* (Belief Systems), (ii) mit Guarinos (1998) linguistischer DOLCE-TLO sowie weiteren linguistischen TLO-Ansätzen im ODIS-Kontext, sowie (iii) im Semantic Web zum Einsatz. Demgegenüber wird der *realistische* Ansatzpunkt und mit ihm realistische Ontologien insbesondere vertreten (i) etwa mit der BWW-TLO im Rahmen der *CM-Sphäre* konzeptueller Modellierung, (ii) etwa mit der BFO-TLO bei *Scientific Ontologies* im Kontext wissenschaftlichen Wissens (bspw. OBO-Foundry),¹⁹⁷⁹ und schließlich (iii) im Zuge technologischer Ontologien bei CPS bzw. autonomer Robotik. Damit ist dieser Widerstreit im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* notwendig aufzulösen, weil nicht nur alle sechs genannten Bereiche für sie konstituierend sind, sondern dabei im Sinne *vollumfänglicher semantischer Systemintegration* allesamt integrierbar sein müssen. Mit anderen Worten haben sie auf *ein und demselben*

¹⁹⁷⁵ Vgl. zu diesem Widerstreit etwa B. Smith (2004, 2008b) sowie McCusker (2011).

¹⁹⁷⁶ Kless et al. (2011: 61) differenzieren demgegenüber zwischen *reality representation ontologies* einerseits und *data modelling ontologies* andererseits; wobei erste den realistischen Ontologien, letztere den linguistischen Ontologien entsprechen. Hier wird bereits der Widerspruch in diesem Widerstreit offensichtlich, weil es bei der Datenmodellierung im Allgemeinen um Realitätsrepräsentation geht, indem sich Daten im Allgemeinen – wenn auch nicht ausschließlich – auf *reale* Sachverhalte beziehen.

¹⁹⁷⁷ Bisher war die Frage offen, welche der beiden in grundsätzlicher Weise konträren Positionen auf längere Sicht reüssieren kann: Jenseits der *realistischen* Grundpositionen etwa von B. Smith (1997, 1998b, 2003a) sowie der *linguistischen* Grundposition von Guarino (1998) gibt es in jüngerer Zeit sowohl Fürsprecher, die in Kritik der linguistischen Position für einen Wandel des Ontologiekonzepts in Richtung *realistischer Ontologie* plädieren, vgl. etwa Fonseca/Martin (2007) oder Palomäki (2009), als auch solche, die sich umgekehrt in Kritik der realistischen Position für einen Wandel des Ontologiekonzepts in Richtung *linguistischer Ontologie* aussprechen, vgl. Recker (2005); allerdings macht diese Kritik dabei einseitig an etwaigen Defiziten der BWW-Ontologie fest.

¹⁹⁷⁸ Realistische TLO-Theorieanwarter sind etwa BFO, BWW, GOL/GFO, Sowa, Chisholm (Milton), die 4D-Ontologie oder OCHRE. Linguistische TLO-Theorieanwarter werden demgegenüber etwa durch DOLCE oder SUMO verkörpert, und sind in der Unterzahl.

¹⁹⁷⁹ Damit ist der Aspekt der *Realitätsrepräsentation* von Smithens *Scientific Ontologies* gemeint; es ist hier unerheblich, dass sich diese weder mit dem metaphysischen Realismus noch mit der methodologischen Position Poppers decken, und somit auch nicht sein *objektives (präzises) Wissen* zum Gegenstand haben.

Ontologieverständnis zu basieren und nicht auf miteinander grundsätzlich inkompatiblen Verständnissen. Denn ansonsten ist der eigentliche Anspruch der *Smart Enterprise Integration* (SEI) von vornherein nicht einzulösen. Nicht immer scheint klar, dass sich die Semantik und Ontologie nicht nur auf den KR-Aspekt beschränkt. Vielmehr ist Ontologie im Sinne fundamentaler Aspekte jedem Weltmodell inhärent, während die Semantik an sich dem Grundstoff der Informatik, der Information, anhaftet. So steht für McCarthy (1963c) entsprechend außer Frage, dass jede Programmiersprache hinsichtlich ihrer syntaktischen wie semantischen Aspekte zu beschreiben ist.¹⁹⁸⁰ Die semantische Beschreibung muss dabei den Bedeutungsaspekt des Programms klären.¹⁹⁸¹ Natürlich geht es um umfassende meta-ontologische Aspekte, wenn gängige Programmiersprachen wie Java auf Basis des objektorientierten Paradigmas stehen, während die Informatik im Zeichen der Cyber-Physik an sich eine ereigniszentrische 4D-Grundlegung erforderlich macht. Objekte muss es geben, jedoch sind diese in Whiteheads 4D-ereigniszentrischen Sinne zu konzipieren, was indes heute im Allgemeinen nicht der Fall ist.

Mit den jeweils unter Pkt. (i) angeführten Bereichen und unter Verweis auf Pkt. 3.2.2 sowie Pkt. 3.2.3 wird deutlich, dass hinter diesem Widerstreit linguistischer vs. realistischer Ontologien teils die bisher isoliert verfolgten Ontologiekonzepte der AI-Wissensrepräsentation (AI-Ontologien) einerseits, und der konzeptuellen Modellierung (CM-Ontologien) andererseits stehen. Wie in Pkt. 3.2.3 dargelegt, ist jedoch im Sinne der oben erwähnten semantischen Systemintegration eine Konvergenz der Ontologien zu fordern. Mit unseren Ausführungen muss erstens der implizit bestehende *Widerstreit von CM- und AI-Ontologien* beseitigt werden. Diese Notwendigkeit besteht nicht nur konzeptionell, sondern bereits seit längerem auch faktisch mit Verweis auf *Enterprise Ontologies*, die im Sinne der *Enterprise Integration* gleichzeitig explizit eine CM- und eine AI-Dimension in sich verkörpern. Weil dies mit Verweis auf Pkt. 3.3 gleichzeitig impliziert, dass die bisher durch die AI-Disziplin verfolgte Trennung zwischen dem philosophischen Ontologiebegriff und dem linguistischen AI-Ontologiebegriff im Sinne des postklassischen AI-Verständnisses überwunden werden muss, ist zweitens der de facto bestehende *Widerstreit von philosophischer und linguistischer Ontologie* aufzuheben. Damit ist schließlich drittens auch der faktisch bestehende *Widerstreit von realistischer und linguistischer Ontologie* zu eliminieren, weil es mit Blick auf eine vollumfängliche semantische Interoperabilität und die semantische Systemintegration nur *ein universales Ontologieverständnis* geben kann. Auf Basis völlig unterschiedlicher Verständnisse von dem, was "Ontologie" bedeutet, muss eine semantische Systemintegration notwendig in weite Ferne rücken. Dieses grundlegende Problem wird heute im Allgemeinen nicht deutlich genug gesehen, genauso wie seine Ursache, das fundamentale TLO-Inkommensurabilitätsproblem bisher kaum registriert

¹⁹⁸⁰ Das wird selten reflektiert, bzgl. Lisp etwa durch B.C. Smith (1984).

¹⁹⁸¹ Nach McCarthy (1963c) besteht der Bedeutungsgehalt eines Programms in seiner Auswirkung auf den Zustandsvektor bei maschinenunabhängiger Sprache, und in seiner Auswirkung auf den Inhalt des Speichers im Fall eines Programms in Maschinensprache.

wird. Davon sind jedoch die eigentlichen Grundlagen jeder vollumfänglichen semantischen Interoperabilität unmittelbar berührt, und das auch bereits jenseits superintelligenter Systeme. Neben der Vielzahl disparater Ontologieansätze resp. TLO-Theorieanwärter mitsamt ihres metaphysischen, epistemologischen und wissenschaftstheoretischen Unterbaus sind es bislang insbesondere diese drei elementaren Widerstreite, die die Konfusion in der Ontologiediskussion der Informatik bedingen.

Somit kann unter sachlichen SEI-Gesichtspunkten nur *ein* OE-Ansatzpunkt richtig sein, nämlich entweder der realistische oder der linguistische. Vor dem Hintergrund, dass Ontologie prinzipiell im Sinne der *Heavyweight-Ontologie* zu verstehen ist, schließen sich beide Ansatzpunkte bei genauer Analyse kategorisch aus. Es geht also weder um beliebig wählbare Alternativen noch um etwas Komplementäres, sondern um zwei konkurrierende, sich einander ausschließende Ansatzpunkte wie damit verbundene Vorgehensweisen des *Ontology Engineering*. Mit Verweis auf Strawsons (1959) in Pkt. 6.2.2 behandelte Differenzierung von *deskriptiver* und *revisionärer* Metaphysik werden nämlich mit diesen beiden Ansatzpunkten vollkommen konträre metaphysische, epistemologische und methodologische Standpunkte vertreten, wie sie in Pkt. 6.2 ff. anhand der divergenten meta-ontologischen Kriterien diskutiert werden. Die Debatte um diese Differenzierung und mit ihr der Widerstreit linguistischer vs. realistischer Ontologie ist für die Evaluierung und Selektion IoX-adäquater TLO-Theorieanwärter von grundsätzlicher Relevanz. Denn das Spektrum der TLO-Theorieanwärter ist gerade auch in diesen Grundsatzfragen tief gespalten, indem bedeutende Top-level Ontologien einmal explizit Strawsons (1959) *deskriptiver* Richtung und einmal der dazu als OE-Ansatzpunkt völlig konträren *revisionären* Richtung folgen. Indem es sich bei der deskriptiven und der revisionären Metaphysik um zwei in ihren Grundpositionen konträre Metaphysiken handelt, wird das TLO-Inkommensurabilitätsproblem durch sie am grundsätzlichsten bedingt. Die deskriptive Richtung und alle damit automatisch verbundenen Grundsatzpositionen nimmt etwa die linguistische DOLCE-TLO ein, indem Guarino/Guizzardi (2006: 121 ff.) explizit der *deskriptiven* Metaphysik Strawsons (1959) folgen, der im Sinne Kants (1781) konstatiert: »Descriptive metaphysics is content to describe the actual structure of our *thought* about the world«. ¹⁹⁸² Genauso sind Commonsense-Ansätze wie die *Commonsense Metaphysics* von Hobbs et al. (1987) zu ihr zu zählen. ¹⁹⁸³ Es geht somit nicht um das Sein als solches, also nicht um Ontologie im klassischen Sinne, als vielmehr um das *Denken über das Sein*, ergo: um eine direkte Vorstufe zur Epistemologie, die im Sinne einer *ontologischen Erschließung von Denkwelten* und damit – auch hier – von *Weltmodellen* zu verstehen ist.

Demgegenüber verkörpert etwa die BWW-TLO, die mit ihrer Vorherrschaft in der CM-Sphäre ähnlich bedeutend ist wie DOLCE im ODIS-Bereich, mit ihrer expliziten Verfasstheit als *revisionäre* Metaphysik einen damit inkommensurablen wie inkompatiblen An-

¹⁹⁸² Vgl. Strawson (1959: 9), Hvh. des Verf.

¹⁹⁸³ Diese Einschätzung teilt auch Guarino (1995: 630).

satzpunkt. Guarino räumt offen ein, dass seine deskriptive Position mit der revisionären von Wand/Webers BWV-TLO konfligiert,¹⁹⁸⁴ was mit Verweis auf Pkt. 6.2.2 auch noch für eine ganze Reihe anderer TLO-Theorieanwörter gilt. Clancey (1993: 34) gibt der *revisionär-realistischen* Position auch im AI-Kontext recht, wenn er feststellt: »The primary concern of knowledge engineering is modeling systems in the world, not replicating how people think (a matter for psychology)«. – Wie muss also eine sachgerechte Ontologiekonzeption beschaffen sein? Muss sie sich an dem ontischen oder an dem epistemischen Ansatzpunkt orientieren? – Die Antwort lautet: Weder noch; denn auch in diesem Fall gilt, dass eine "Entweder-oder-Entscheidung" nicht weiterführt, sondern vielmehr ein systematisch ineinandergreifendes "Sowohl-als-auch" erforderlich wird. Es ist also einmal mehr Feyerabends (1975) "anything goes" zu fordern, das geradewegs auf die in Pkt. 3.5 entwickelte integrierte Ontologiekonzeption hinführt. Sowohl die Ontologieposition Guarinos (1998) als auch jene Clanceys (1993) birgt jeweils wichtige Aspekte in sich, ist jedoch für sich genommen nicht haltbar. Denn CPS benötigen beide Positionen, und zwar kombiniert; sie erfordern als physische Systeme die *klassische Ontologie* im metaphysischen Sinne wie im Zeichen objektiver *Scientific Ontologies*, während sie nach der *epistemologischen Ontologie* in ihrer Eigenschaft als subjektive Komponente von Agentensystemen bzw. MAS verlangen, wie sie für sich genommen den klassischen Überzeugungssystemen (Belief Systems) entspricht. Noch Guarino (1995) hatte auf die Bedeutung ihrer Interaktion abgestellt, wie sie hier geteilt wird:

»As the content of a knowledge base refers to an objective reality instead of an agent's 'mind', it seems clear that – according to the modelling view – knowledge is much more related to the classical notion of truth intended as correspondence to the real world, and less dependent on the particular way an intelligent agent pursues its goals.«¹⁹⁸⁵

Entsprechend ist bei Guarino (1995) mit "Ontologie" noch etwas ganz anderes gemeint als später bei Guarino (1998), worauf wir weiter unten zurückkommen. Auch ist hervorzuheben, dass Guarino (1994) selbst im Anschluss an Brachmans (1979) *Epistemological Level* den – im Sinne der klassischen Ontologie verstandenen – *Ontological Level* in die AI/KR-Systematik einbringt, womit Guarino (1995) entsprechend *Ontologie und Epistemologie* als komplementär erachtet. Nur ist es ein Trugschluss, diese Komplementarität auf Basis der *deskriptiven Metaphysik* errichten zu wollen. Denn die Ontologie gibt als *Prima Philosophia* mit ihren Kategorien die Richtung vor, womit diese Komplementarität im Sinne des in Pkt. 4.1 erörterten *Ratio-Empirismus* allein auf der Grundlage *revisionärer Metaphysik* begründet werden kann.

Die Auffassung der Komplementarität beider Positionen korrespondiert insofern mit Newells (1982) *Knowledge Level*, als für diesen das *Rationalitätskriterium* essentiell ist, auf das wir in Pkt. 3.5 ebenfalls zurückkommen. Dieses Rationalitätskriterium ist wiederum mit dem jeweils für einen individuellen Agenten verfügbaren Wissen verbunden, womit es ein subjektives ist: »Knowledge is intimately linked with rationality. Systems of

¹⁹⁸⁴ Vgl. Guarino/Guizzardi (2006: 122 f.).

¹⁹⁸⁵ Guarino (1995: 625 f.).

which rationality can be posited can be said to have knowledge«. ¹⁹⁸⁶ Mit H.A. Simon (1976b, 1985, 1987b) gilt, dass an die Stelle der substantiellen oder objektiven Rationalität die prozedurale oder begrenzte Rationalität tritt. Aber auch wenn jeder Agent im Zeichen begrenzter Rationalität steht, heißt das nicht, dass er nicht auf objektives Wissen zurückgreifen kann oder müsste. Vielmehr sollte jeder Agent regelmäßig genau das tun, etwa wenn es um *Problem-Solving Agents* (PSA) geht, ¹⁹⁸⁷ die in komplexen Kontexten im Sinne McCarthys (1995) darüber hinaus mit einem "*general world view*" ausgestattet sein sollten, der wiederum eine TLO-Referenz bedingt. Für sie gilt mit Bunge (1974b: 186): »real cognition is as personal as ignorance«, wenn man diese Position universalisiert. Somit wird deutlich, dass es eine Kombination von subjektivem und objektivem Wissen geben muss, die mit Verweis auf Pkt. 3.5 eine bidirektionale ist. Analog dazu geht es um die Verknüpfung von wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien. Wenn Clancey (1993) also das subjektive Moment und Guarino (1998) das objektive Moment in der Ontologiekonzeption außen vor lassen, erweisen sich beide Ansätze insgesamt für komplexe Cyber-physische Systeme (CPS) als fehlkonzipiert.

Indem CPS eine integrierte Ontologiekonzeption einfordern, die u.a. auch die CM- und AI-Sphäre systematisch miteinander verknüpft, wird analog dazu deutlich, dass auch die DOLCE-TLO und die BWW-TLO in metaphysischer, epistemologischer und methodologischer Hinsicht – und damit insgesamt nicht richtig konzipiert sein können. Der Umstand, dass *beide* völlig disparaten TLO-Ansätze nicht richtig liegen können und sich damit schlussendlich nicht als allgemeingültige ontologische Referenzbasis der Informatik eignen, wird im Folgenden wie auch im fünften und sechsten Teil noch deutlicher werden. An dieser Stelle genügt die Einsicht, dass mit dem Widerstreit der TLO-Theorieanwörter eine *metaphysische Grundsatzdebatte* im Raume steht, die die Informatik *zwingend* zu führen und ebenso notwendig zu klären hat, weil eine semantische Systemintegration nicht ohne TLO-Basis realisierbar ist. Das scheint jedoch heute genauso wenig allgemein begriffen zu sein wie der Umstand, dass dabei eine gewisse Dringlichkeit geboten ist, wenn kostspielige Fehlentwicklungen in praxi vermieden werden sollen.

Es steht außer Frage, dass metaphysische Paradigmen für eine *semantische Systemintegration* komplexer Systeme im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" unabdingbar sind, wie es auch schon anhand der durch McCarthy/Hayes (1969) geforderten *metaphysisch adäquaten Repräsentationen* deutlich wird. Genauso steht jedoch außer Frage, dass konkurrierende metaphysische Paradigmen einer semantischen Systemintegration komplexer verteilter Systeme, wie sie in allen Industrien schlagartig an Bedeutung gewinnen, grundsätzlich entgegenstehen. Denn Ontologien, die explizit oder implizit auf konkurrierenden metaphysischen Paradigmen gründen, sind schlichtweg inkommensurabel und letztlich inkompatibel. Sie bedingen darüber hinaus die große Konfusion um Ontolo-

¹⁹⁸⁶ Vgl. Newell (1982: 100).

¹⁹⁸⁷ Vgl. etwa Benjamins (1993).

giebegriffe und Ontologiekonzepte, die sich kaum mit dem natürlichen Integrationsanspruch der Informatik vereinbaren lässt. Für die Informatik ist jedwede Art von *Interoperabilität* immer opportun und vorderstes Gebot technologischer Systemgestaltung. Eine gewisse Dringlichkeit besteht hier nicht zuletzt auch mit Verweis auf die folgenschweren Konsequenzen, die sich bei typischerweise organisationsübergreifend vollzogenen Prozessen keineswegs ausschließen lassen, wenn hochautomatisierte Systeme auf gänzlich disparaten Ontologieverständnissen aufbauen. Mit der *Smart Factory* wird der Einsatz von Ontologien in ähnlich dynamischer Weise voranschreiten wie insgesamt die Automatisierung, Selbststeuerung und Autonomie der Systeme.^{1988, 1989, 1990} Die eigentliche Problematik besteht vor diesem Hintergrund nicht zuletzt darin, dass die Wirkungszusammenhänge inkommensurabler Ontologien in komplexen verteilten Systemen weder ohne Weiteres zu identifizieren noch im Ergebnis zu prognostizieren sind. Aus dem Umstand, dass die *metaphysische Grundsatzdebatte*, deren Dimension erst mit dem vierten und fünften Teil richtig abschätzbar wird, mit dem natürlichen Integrationsanspruch der Informatik *zwingend zu entscheiden* ist, kann die Disziplin zu einem neuen, grundlegenden Einheitsparadigma gelangen, das dem in Pkt. 1.2 erwähnten Kuhnschen (1962) Status der Normalwissenschaft entspricht.¹⁹⁹¹ Wenn gegenwärtig – bis auf Ausnahmen – wenig Bereitschaft zur Führung solcher Kontroversen erkennbar ist, wird die Informatik diesen Status allerdings kaum kurz- bis mittelfristig erreichen können.

Ohne Zweifel lässt sich leicht klären, welcher der beiden OE-Ansatzpunkte der tatsächlich sachlich richtige ist. Denn diese Frage hat lediglich an zwei elementaren Kriterien anzusetzen, nämlich zum einen an jenem der *Allgemeingültigkeit* in Bezug auf sämtliche Ontologietypen und -arten wie für jedwede Anwendungsszenarien und Systemtypen. Zum anderen handelt es sich damit verbunden um den natürlichen *Integrationsanspruch* der Disziplin. Das Kriterium der *Allgemeingültigkeit* ist dabei am einfachsten anhand des komplexesten Anwendungsszenarios zu evaluieren, nämlich anhand komplexer U-PLM-Systeme, die nicht zuletzt die CPS-Problematik entscheidend berücksichtigen. Demgegen-

¹⁹⁸⁸ Vgl. hierzu Lin/Harding/Shahbaz (2004), Leitão/Restivo (2006), Lohse et al. (2006), Lopez Orozco/Martinez Lastra (2006), Martinez Lastra/Delamer (2006, 2009), Borgo/Leitão (2007), Lin/Harding (2007), Neaga et al. (2007), Young/Gunendran et al. (2007a, 2007b, 2010), Dassisti et al. (2008), Leitão (2009a), Samaras et al. (2009), Alsafi/Vyatkin (2010), Usman et al. (2010, 2011), Young/Chungoora et al. (2010), Lamparter/Legat et al. (2011), Loskyll et al. (2012), Abele/Legat et al. (2013), Cecil (2013), Chungoora et al. (2013a, 2013b), D'Auria/D'Ippolito (2013), D'Auria/Sanseverino et al. (2013), Fantana et al. (2013), Feldmann et al. (2013), Legat/Lamparter/Vogel-Heuser (2013), Feldmann/Kernschmidt/Vogel-Heuser (2014), Legat/Schütz/Vogel-Heuser (2014), Legat/Seitz et al. (2014), El Kadiri et al. (2015) sowie Sanfilippo (2015).

¹⁹⁸⁹ Mit Mizoguchi/Kozaki et al. (2000), Stell/West (2004) oder Batres et al. (2007), die sich allesamt auf die *petrochemische Prozessindustrie* beziehen, wird deutlich, dass *Ontologien* nicht nur in der *Smart Factory* i.e.S. zum Einsatz gelangen, sondern genauso bei *kontinuierlicher Fließproduktion* Anwendung finden.

¹⁹⁹⁰ Die Automatisierung der *Smart Factory* auf IoX-Basis weist gewisse methodische resp. technologische Parallelen auf zu anderen Automatisierungsszenarien, bspw. zu *Building Automation Systems* (BAS), vgl. zu letzteren bspw. Dibowski et al. (2010) sowie Runde/Fay (2011).

¹⁹⁹¹ Dies ist in dem Sinne gemeint, dass in dieser Sache in den Reihen der Informatik eine aktive Auseinandersetzung zu führen ist, nämlich im Sinne eines *sachlichen kritischen Diskurses* von Kritik und Gegenkritik, wie sie die eigentliche Natur der *Informatik als Wissenschaft* notwendig ausmachen muss.

über lässt sich anhand des *Integrationsanspruchs* der Informatik der richtige OE-Ansatzpunkt insofern feststellen, als dieser eine vollumfängliche IS-Interoperabilität wie KS-Transdisziplinarität zulassen muss. Dabei handelt es sich um genauso elementare Forderungen, die an die Informatik zu stellen sind. Schließlich lassen sich beide Kriterien zusammenfassen, indem die Identifikation des sachgerechten OE-Ansatzpunkts dahingehend entscheidbar ist, inwiefern es ihm jeweils gelingt, das *ontologische Inkommensurabilitätsproblem*, speziell das der *Top-level Ontologien*, zu eliminieren. Insgesamt wird mehr und mehr deutlich, dass das in Pkt. 1.2 erörterte Kernproblem der TLO-Inkommensurabilität mit seiner fundamentalen wie kombinierenden Bedeutung der CM- und AI-Sphäre letztlich eines der größten Kernprobleme der Disziplin in sich verkörpert. Mit Blick auf das Wissen als ihrem Kulminationspunkt und dem Wettlauf um hochintelligente Systeme ist es das wesentlichste; für viele Bereiche auch das eigentlich maßgebliche. Zweifellos lässt sich ihre ontologische Revolution erst dann abschließen, wenn es gelungen ist, dieses Kernproblem zu überwinden.

Die Auflösung des Widerstreits linguistischer vs. realistischer Ontologien erfordert ein tieferes Verständnis der Thematik: Zunächst sei dazu auf die *Sapir-Whorf Hypothese* eingegangen. Anschließend erfolgt ein kurzer Rekurs auf Wittgensteins (1921) *Tractatus*; schließlich wird Quine (1980, 1992a, 1992b) bemüht. Auf Wittgenstein, der für die linguistische Tradition außerordentlich wegweisend ist, kommen wir nochmals im Detail in Pkt. 5.5 zurück; Quine, auf dem mit Mealy (1967) und McCarthy (2000) maßgeblich die Ontologiediskussion der Informatik aufsetzt, wird in Pkt. 5.1 in allen Einzelheiten reflektiert. Beginnen wir mit der *Sapir-Whorf Hypothese*, die auf den Linguisten E. Sapir (1929) und seinem Schüler, den US-amerikanischen Sprachwissenschaftler B.L. Whorf (1956) zurückgeht.¹⁹⁹² Nach der *Sapir-Whorf Hypothese* können Überzeugungen in Form normal-sprachlich gefasster Gedanken eines Agenten nicht unmittelbar durch andere Agenten verstanden werden, die auf Basis einer anderen Alltagssprache denken bzw. operieren. Die Hypothese besagt demnach, dass die Art und Weise, wie Agenten denken, wesentlich von ihren nativen Sprachen abhängig ist. Neben dem Problem der sprachlichen Relativität betrifft der *Whorfianism* auch den epistemologischen Aspekt, indem menschliche Erkenntnis durch die jeweilige native Sprache bedingt (starke Variante der *Sapir-Whorf Hypothese*) oder zumindest maßgeblich beeinflusst ist (schwache Variante).¹⁹⁹³ Diese zunächst umstrit-

¹⁹⁹² Vgl. dazu auch Kay/Kempton (1984) sowie Pelletier (2011).

¹⁹⁹³ Es gibt eine starke und eine schwache Variante der *Sapir-Whorf Hypothese*; erste besagt, dass Sprache das Denken bestimmt und dass sprachliche Kategorien kognitive Kategorien begrenzen und determinieren, während die schwache Variante lediglich der Sprache einen wesentlichen Einfluss auf das Denken zuschreibt. Sowohl Sapir als auch Whorf kann kein sprachlicher Determinismus unterstellt werden; zudem ist darauf hinzuweisen, dass die *Sapir-Whorf Hypothese* nie durch die Autoren selbst, sondern auf Grundlage ihrer Werke durch Dritte formuliert worden ist. Dennoch lässt sich jenseits davon für die Informatik feststellen, dass in Bezug auf die für sie relevanten Aspekte, etwa *Objektzentrismus vs. Ereigniszentrismus* und die damit zusammenhängenden metaphysischen Positionen der *Substanz- vs. Prozessmetaphysik* bzw. mit Blick auf *Materie vs. Information* in der Urstoffdebatte durchaus von der Gültigkeit der starken Variante auszugehen ist.

tene These gilt inzwischen als allgemein akzeptiert,¹⁹⁹⁴ nachdem der Psychologe J. Davidoff den experimentellen Nachweis ihrer Gültigkeit erbracht hat.¹⁹⁹⁵ Anhand umfassender Studien zur Farbwahrnehmung wird dabei dargelegt, dass die native Sprache die perzeptiven Kategorien entscheidend beeinflusst. Indem die jeweilige native Sprache die Kognition menschlicher Agenten maßgeblich bestimmt, ist sie für die Epistemologie wie für die *Knowledge Ontology* genauso entscheidend.¹⁹⁹⁶ Die *Sapir-Whorf Hypothese* impliziert in ihrer starken wie schwachen Variante ein prinzipielles Unübersetzbarkeits- bzw. Inkommensurabilitätsproblem;¹⁹⁹⁷ ein überparadigmatisch vollumfänglich akzeptierter "*general world view*" ist somit auf Basis von Alltagssprache unrealisierbar.

Kommen wir damit zu Wittgenstein (1921) und dessen Aphorismus, wonach die »*Grenzen meiner Sprache* [...] die Grenzen meiner Welt« bedeuten.¹⁹⁹⁸ Mit ihm wird deutlich, dass nicht nur Sprache an sich *subjektgebunden* ist, sondern auch die Welt, in der mit Sprache hantiert wird: diese Welt ist keine *primär* revisionär-metaphysische,¹⁹⁹⁹ sondern eine subjektbezogene *Denkwelt*, eine kognitionsbestimmte Erkenntniswelt. Denn mit Wittgensteins Diktum ist evident, dass die *Grenzen der Sprache* die *Grenzen allen Denkens* bestimmen und somit zugleich die *Grenzen der subjektiven Welt* bedeuten. Erliegt man dem Irrtum, die Ontologie auf Sprache zu begründen, mündet das in Heideggers (1977: 310) zweifelhaftem Postulat: »Die Sprache ist das Haus des Seins«. Damit sollte klarer sein, was mit der oben erwähnten *ontologischen Erschließung von Denkwelten* gemeint ist, wenn beim linguistischen OE-Ansatzpunkt Ontologien rein sprachliche Konstrukte bilden. – Es geht somit offensichtlich um *subjektivistische Ontologien*, die jedoch bereits bei Wittgenstein (1921) im Spiegel naturwissenschaftlicher Theorien zu prüfen sind. In ihnen bestand zu jener Zeit in Nachwirkung des Methodenstreits das einzig unanfechtbare objektive, präzise *empirische Wissen*. Im Zeichen der für sie erforderlichen universalen Epistemologie ist es für die Informatik angezeigt, die durch Wittgenstein (1921) aufgezeigten Grenzen auf *alles* Denken, somit auch auf *künstliches* Denken bzw. auf *Künstliche Intelligenz* (AI) und damit im Sinne J. von Neumanns (1951) auf sämtliche Klassen intelligenter Automaten zu beziehen. Ohne Frage besitzt Wittgensteins (1921) *Tractatus* auch für die AI-Disziplin Gültigkeit, wenngleich diese zu jener Zeit noch in weiter Ferne lag. Das gilt insbesondere deshalb, weil das klassische AI-Verständnis im KR-Bereich in den 1950er und 1960er Jahren zunächst im Zeichen des linguistischen OE-Ansatzpunkts steht. Es baut auf den subjektivistischen Ontologien auf, wie sie für die vergleichsweise simplen *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) dieser als AI-Frühzeit zu erachtenden Epoche charakteristisch sind. Mit Guarino (1995: 625) gilt in dieser Sache:

¹⁹⁹⁴ Zunächst wurde sie durch Rosch/Olivier (1972) infrage gestellt, vgl. dazu ferner Rosch (1973).

¹⁹⁹⁵ Vgl. Davidoff et al. (1999) sowie Davidoff (2001).

¹⁹⁹⁶ Spezifische native Sprachen beeinflussen wesentlich die Wahrnehmung von Ereignissen, vgl. Papafragou et al. (2008) sowie Stutterheim et al. (2012).

¹⁹⁹⁷ Vgl. hierzu auch Deutscher (2011).

¹⁹⁹⁸ Vgl. Wittgenstein (1921: § 5.6), Hvh. im Orig.

¹⁹⁹⁹ Das gilt deshalb nur *primär*, weil es sich mit Diamond (1991) wiederum relativiert, vgl. Pkt. 5.5.

»AI researchers seem to have been much more interested in the nature of reasoning rather than in the nature of the real world«. Indessen stoßen sie im Zeitalter Cyber-physischer Systeme (CPS) bzw. autonomer Robotik sehr deutlich an ihre Grenzen. Denn das, was unter "Ontologie" zu verstehen ist, geht in CPS-Welten notwendig über diesen subjektivistischen Standpunkt hinaus. Das heißt allerdings nicht, dass *subjektivistische* Ontologien nicht mehr erforderlich wären. Entgegen der bei Clancey (1993: 34) implizit gegebenen Lesart benötigt die Informatik nach wie vor solche *epistemologischen* Ontologien. Man könnte gar sagen, sie benötigt diese im Zeichen heute gängiger Agentensysteme bzw. MAS mehr denn je. Sie stellen also einen unverzichtbaren Ontologietypus dar; aber mit Verweis auf Pkt. 3.5 lediglich einen – von insgesamt vieren einer in sich geschlossenen Systematik.

Genauso wenig lassen sich epistemologische Ontologien als primärer Ontologietypus verstehen. Indem der linguistische OE-Ansatzpunkt jedoch auf diesem subjektivistischen Ontologietypus aufbaut und dieser ihn durch und durch bestimmt, ist die These, wonach in ihm nicht der primäre, leitende Ontologietypus bestehen kann, näher zu begründen. Hierzu lassen sich zwei elementare Aspekte anführen: Erstens ist Guarino uneingeschränkt darin zuzustimmen, dass das Moment *kognitiver Verzerrung* (cognitive bias) gegeben ist. Allerdings zieht er daraus die falschen Schlüsse, wenn er sein Ontologiekonzept gerade maßgeblich auf *diesem Defekt* begründen will. Zweitens ist die Ontologie damit verbunden immer auf *intersubjektive Wissensteilung* ausgelegt und insofern – in welcher Form auch immer – zu objektivieren. Der Defekt kognitiver Verzerrung ist also zu beheben, weil kognitiv verzerrte Ontologien nicht der Maßstab sein können, auf dem CPS, ODIS, kognitive Robotik usf. verlässlich operieren können. Somit bedarf es eines Korrektivs, und das kann nicht wie bei Carnap (1931b) in der logischen Analyse der Sprache bestehen. Genauso wenig kann dieses Korrektiv allein empirischer Natur sein; vielmehr erfordert es ebenso eine rationalistische wie logische Verfasstheit. Es geht um Kants Funktion der Metaphysik als "Zensoramt". Damit ist der Gedanke einer fundamentalen Ontologie genauso gemeint wie jener der prüfenden bzw. den Standpunkt erweiternden Verkopplung mit verschiedensten weiteren Referenzontologien. Insgesamt ist die Lösung des Problems kognitiver Verzerrung also vor allem in objektiven resp. objektivierten Referenzontologien zu suchen; sie muss somit auf einer Wissenssystematik gründen.²⁰⁰⁰ Dabei spricht vieles dafür, dazu die Poppersche zu verwenden,²⁰⁰¹ wie es mit Pkt. 3.5 vollzogen wird. Auf einer solchen Wissenssystematik verschiedenster Referenzontologien kann das subjektive Weltmodell aufbauen bzw. gegen sie lässt es sich im Korrektur- resp. Objektivierungsprozess spiegeln.

Offensichtlich bestimmen also zum einen das objektive Wissen bzw. Referenzontologien eine tragfähige Ontologiekonzeption; zum anderen damit verbunden der in Pkt. 4.1 erörterte *Ratio-Empirismus* techno-wissenschaftlicher Metaphysik. Dass dieser den notwendigen Orientierungspunkt darstellt, hat Wartofsky (1967) in dessen Interpretation als

²⁰⁰⁰ Vgl. hierzu auch Abbott (1997, 1999, 2004).

²⁰⁰¹ Vgl. *ibid.*

Heuristik, Agassi (1976) in dessen Verständnis als *regulative Idee*, oder Walsh (1967) erkannt, indem er diesen als *externen Stimulus* auslegt. Entscheidend ist also nicht das Moment *kognitiver Verzerrung* (cognitive bias), sondern vielmehr sein *Korrekturmoment*, das Moment der *Objektivierung* und das damit verbundene Moment der in Pkt. 6.2.8 diskutierten *Wahrmacher* (Truthmakers). Es sind diese Momente, die für die Ontologie konstituierend sind, aber in der gegenwärtigen Ontologiediskussion so gut wie keine Rolle spielen. Indessen besitzen sie diese zentrale Korrekturfunktion, und das gilt nicht nur in Bezug auf *wissenschaftlich-öffentliche Ontologien*, also für *offene Referenzontologien* (OS-Referenzontologien), für die es unmittelbar einsichtig sein sollte. Indem sich *technologische Ontologien* davon unmittelbar ableiten, hat dies vielmehr auch für diese Gültigkeit. Und natürlich trifft dies genauso auf alle *praktisch-privaten* Ontologien zu, die gleichermaßen den Status *proprietärer* Referenzontologien für sich beanspruchen und somit ebenfalls – wenn auch anders geartete – Objektivierungsprozesse erfordern.²⁰⁰² Es sei mit Verweis auf Pkt. 3.3.1 in Erinnerung gerufen, dass das charakteristische Moment der Ontologie im Gedanken der *Referenzontologien* besteht, die jedoch sowohl in wissenschaftlicher als auch in technologischer Form wie in praktisch-proprietären Varianten existieren.

Der Umstand, dass das klassische AI-Ontologiekonzept diese Grundsätze nicht beherrscht, indiziert sein Fundamentalproblem, das mit dem linguistischen OE-Ansatzpunkt unmittelbar verkoppelt ist: Eine linguistische Basis kann keine geeignete Grundlage bilden, um die Defekte des Moments *kognitiver Verzerrung* (cognitive bias) zu beheben.²⁰⁰³ Das kann nicht einmal für Carnaps (1931a, 1931b) Ideal der physikalischen Sprache gelten, um die es beim heutigen linguistischen OE-Ansatzpunkt gar nicht mehr geht. Vielmehr muss man sich heute mit *natürlicher Sprache* bzw. *Common Sense* begnügen, deren fundamentale Probleme nicht nur im Zusammenhang mit *Scientific Ontologies* bzw. unmittelbar wie maßgeblich darauf aufbauenden *technologischen Ontologien* offensichtlich werden. Anders gewendet ist jede Ontologiekonzeption, die sich einseitig an epistemologischen bzw. subjektivistischen Standpunkten orientiert, grundsätzlich defekt. Die Herausbildung des damit verbundenen linguistischen OE-Ansatzpunkts liegt in den experimentellen Zwecken der AI-Frühzeit begründet; in CPS-Kontexten hochautomatisierter komplexer Systeme erweist er sich hingegen als antiquiert. An seine Stelle muss eine andere, eine zeitgemäße Basis treten, die auf das postklassische AI-Verständnis ausgelegt ist. Es markiert ein grundlegendes Missverständnis, wenn man etwa bei der REA-EO versucht, die *metaphysisch und epistemologisch* adäquaten Repräsentationen bei McCarthy/Hayes (1969) allein auf den letzten Aspekt, also lediglich auf *epistemologisch adäquate Repräsentationen* zu reduzieren.^{2004, 2005} Das gilt gerade dann, wenn es bei der REA-EO explizit wie ausschließ-

²⁰⁰² Ontologien, die im industriellen Kontext Einsatz finden, sind in der Regel *proprietär*, vgl. auch Leitão (2009a: 988), besitzen jedoch im Sinne der Mehrfach- bzw. Wiederverwendung dennoch die Funktion von *Referenzontologien*.

²⁰⁰³ Das gilt umso mehr, als Bateman (2004) *linguistische* Mängel von DOLCE konstatiert.

²⁰⁰⁴ Vgl. hierzu exemplarisch Geerts/W.E. McCarthy (1992).

lich um *realweltliche Objekte bzw. Ereignisse* komplexer Prozesse geht. Offenbar kann darin kein geeignetes Fundament einer Ontologiekonzeption bestehen, vor allem wenn diese auf die Belange von CPS-Welten wie auf die *Smart Enterprise Integration* abstellt.

In CPS-Kontexten werden die bisher lediglich verdeckten Defekte einseitig epistemologiefixierter Ontologien wie insgesamt die Unhaltbarkeit des linguistischen OE-Ansatzpunkts offenbar. Denn CPS operieren in *physisch-realen* Universen, deren Modellierung zwingend auf Existenzaussagen bezüglich real gegebener Objekte hinauslaufen muss. Somit steht die Notwendigkeit der Rückkehr zur klassischen Ontologie außer Frage. Allerdings kann dabei nur bedingt von "Rückkehr" gesprochen werden. Denn sie kann keinen Rückschritt in dem Sinne bedeuten, dass man die überaus wichtigen Einsichten, die das Kantische (1781) Werk hervorgebracht hat, in Frage stellen könnte. Entsprechend muss sich die Rückkehr zur klassischen Ontologie nicht als Rückschritt, sondern als Fortschritt gestalten: die Kopernikanische Wende Kants (1781) hin zur Epistemologie ist also keineswegs rückgängig zu machen. Denn gewiss gibt es für das erkennende Subjekt weder *per se* eine objektive Welt noch das, was zuweilen als "Gottesstandpunkt" bezeichnet wird. Vielmehr ist maßgebend, dass nicht nur das kognitive Vermögen an sich individuell begrenzt ist, sondern dass auch das Moment *kognitiver Verzerrung* (cognitive bias) besteht. Entsprechend gilt auch die weiter unten näher in den Blick genommene Prämisse *begrenzter Rationalität*. Es steht somit außer Frage, dass Subjekte in ihrer Perzeption Konstruktionsleistungen vollbringen; mit Verweis auf Pkt. 6.2.6 ist also gewiss nicht von einem *naiven Realismus* auszugehen. – Dennoch wird im Anschluss an Kant (1781) eine *zweite Kopernikanische Wende* erforderlich, die in kritischer Auseinandersetzung mit ihm durch Whitehead (1929a) vollzogen wird – und das aus gutem Grund: Denn alle ontologisch relevanten Klassen intelligenter Automaten bilden ereigniszentrierte Subjekte ihrer jeweils ereigniszentrierten Außenwelt. Bei Cyber-physischen Systemen (CPS) ist das die physische Außenwelt, die im Sinne einer metaphysischen Fundamentalhypothese für sie allein schon deshalb ontisch gegeben sein muss, weil sich ihre innere, subjektive Ontologie als Wissensontologie unmittelbar auf diese äußere Welt bezieht. Dabei lassen sich die als objektiv richtig zu erachtenden Sätze zur fundamentalen Beschaffenheit dieser Außenwelt ihrerseits als objektive universale Ontologie formulieren, genauso als objektive regionale Ontologie bezüglich spezifischer, etwa rein physikalischer Sachverhalte.

Schon damit zeichnet sich ab, dass die Whiteheadsche (1929a) Prozessontologie genau jenes Fundament liefert, das CPS-Welten einfordern. Sie benötigen im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" eine allgemeine Weltansicht, die physikalische wie virtuelle Welten gleichermaßen aus einem Guss zu adressieren versteht. Mit der *zweiten Koper-*

²⁰⁰⁵ Wenn Gailly/Poels (2010) behaupten, dass sämtliche REA-Konzepte Spezialisierungen von Konzepten der Sowa-TLO sind, ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den TLO-Kategorien Sowas um *metaphysische Kategorien im realistisch-revisionären Sinne* handelt. Insofern besitzt die Sowa-TLO mit den TLO-Kategorien auch einen vollkommen anderen OE-Ansatzpunkt als die Grubersche Ontologiekonzeption und ist in dieser und anderen Hinsichten mit ihr inkompatibel.

nikanischen Wende gilt wieder das Primat der klassischen Ontologie, allerdings ohne dabei an der Maßgeblichkeit Kants Zweifel aufkommen zu lassen. Denn bei Whitehead (1929a) ist Kants erkennendes Subjekt nunmehr *integrierter* Teil der Natur, wie es mit Blick auf das Interaktionsmoment aller Klassen intelligenter Automaten zwingend vorauszusetzen ist. Das Subjekt ist also weder außenstehender Betrachter noch nichtteilnehmender Beobachter, wie es die klassische Subjekt-Objekt-Dichotomie impliziert. Vielmehr ist es im Sinne von Whiteheads *Subjekt-Superjekt* endogenes Moment des jeweiligen Universums,²⁰⁰⁶ das in aktiver Interaktion mit seiner Außenwelt steht und diese zuweilen auch determiniert. Seine Reintegration in die Natur korrespondiert im Sinne ratio-empirischer Metaphysik nicht zuletzt mit den maßgeblichen physikalischen Theorien des zwanzigsten Jahrhunderts, in deren Diskurse Whitehead involviert ist.²⁰⁰⁷ Diese Bewegung setzt sich später in der Komplexitätsforschung mit speziellem Fokus auf menschliche Agenten fort, indem verschiedene Komplexitätsforscher in Kritik Monods (1972) dessen Schlüsse genau umkehren.^{2008, 2009} In technologischer Hinsicht entspricht diese Reintegration den Erfordernissen aller Klassen intelligenter Automaten, namentlich CPS und Agentensystemen. Vor ihrem Hintergrund ist mit Verweis auf Pkt. 3.2.2 allgemeiner von einer Reintegration des Subjekts in die Diskursuniversen (UoD) zu sprechen, die physischer oder virtueller Natur sind. Sie verlangen im jeweils differenten Zeichen wissenschaftlicher, technologischer oder pragmatischer Ontologie nach entsprechender konzeptueller Modellierung (CM), die diese prozessualen Momente im postklassischen CM-Zuschnitt zu berücksichtigen vermag.

Die Konfusion in der Ontologiedebatte von Philosophie und Informatik ist insofern nachvollziehbar, als mit ihr zahlreiche wie umfängliche Fragekomplexe verbunden sind: etwa ontische und epistemologische Gesichtspunkte zur Ontologie, Realismus und Konstruktivismus, Materialismus und Idealismus, Aktualismus und mögliche Welten, physische Objekte und Artefakte usw. Die Vielgestaltigkeit dieser Diskussion hat schnell dazu geführt, dass man all diese Gesichtspunkte nicht mehr in eine einheitliche Systematik zu

²⁰⁰⁶ Insofern steht der Cartesische metaphysische Schnitt im Wechselspiel mit dem Heisenbergschen Schnitt der Quantentheorie, vgl. hierzu Atmanspacher et al. (1995). Auch vor diesem Hintergrund bestätigt sich das Erfordernis der in Pkt. 3.5 umrissenen integrierten Ontologiekonzeption, da ontische und epistemische Aspekte nicht zuletzt in naturwissenschaftlichen Theorien zu differenzieren sind, vgl. hierzu auch Atmanspacher (2000).

²⁰⁰⁷ Vgl. etwa Whitehead (1922a, 1922b, 1922c, 1925, 1929a).

²⁰⁰⁸ Vgl. Eigen/Winkler (1975: 181 ff.), Jantsch (1979), Morowitz (1988), Prigogine (1993c) sowie Kauffman (1995a: 4 f.; 2008).

²⁰⁰⁹ Ausgehend vom Zufallsprinzip sieht der Biochemiker und Nobelpreisträger Monod (1972) den Menschen als »Zigeuner am Rande des Universums«, dessen Bezug zur Natur durch »radikale Fremdheit« bestimmt sei, vgl. Monod (1972: 211). Komplexitätsforscher hingegen sehen genau gegenteilig *menschliche Agenten* als *integrierte* Bestandteile der Natur. Diese Position korrespondiert mit Heisenberg (1955: 21), der feststellt: »Die Naturwissenschaft steht nicht mehr als Beschauer vor der Natur, sondern erkennt sich selbst als Teil dieses Wechselspiels zwischen Mensch und Natur. [...] Das naturwissenschaftliche Weltbild hört damit auf, ein eigentlich naturwissenschaftliches zu sein«. Das gilt gerade auch mit Blick auf *Scientific Ontologies*, wenn mit Schrödinger (1962: 62) das »Objektivieren der Welt« natürlich nicht darin bestehen kann, indem wir »unvermerkt das erkennende Subjekt aus ihr herausnehmen«. Ein Objektivieren der Welt ist vielmehr allein im Sinne des *Kritischen Rationalismus* möglich, indem subjektive Ontologien auf strenger methodologischer Basis in objektive Ontologien transformiert werden, vgl. Pkt. 3.5.

bringen vermochte. Vor allem aber hat man unter Einwirkung Wittgensteins, des Wiener Kreises und speziell Carnaps immer wieder versucht, metaphysische Diskurse *ohne Metaphysik* zu führen: an Stelle der Referenz auf spezifische, in sich konsistente kritikable metaphysische Systeme wird die metaphysische Diskussion wahlweise in die Epistemologie, in die Logik, die Semantik oder die Philosophie des Geistes verschoben. Geführt wird sie aber immer, weil sie unvermeidlich ist. Diese Verlagerungsstrategie ist indessen wenig hilfreich und damit wenig professionell, weil sich metaphysische Probleme letztlich nur in der Metaphysik selbst lösen lassen. Um Metaphysik kommt man nicht umhin, weil man nicht auf die transdisziplinäre Klärung der fundamentalen Strukturen realer oder möglicher Diskurswelten verzichten kann. Weil ihre grundlegenden Kategorien freizulegen sind, auf die alle ontologische Klassifizierung zu beziehen ist. Weil die meta-ontologischen Fragen zu klären sind, die metaphysische Natur besitzen. Und weil demnach eine universale Ontologiekonzeption ohne Metaphysik letztlich nicht möglich ist. Das wird in der Informatik bisher allerdings selten erkannt, etwa wenn Magee (2011c: 235) feststellt: »By establishing a core set of abstract concepts, use of an upper-level ontology [...] is at least some guarantee of a shared metaphysical orientation«. IoX-Kontexte fordern diese Orientierung ein.

Neben der Verlagerungsstrategie versucht man teilweise auch die gesamte Metaphysik im Sinne einer Vermeidungsstrategie vollständig auszublenden, indem man sie – wie im Fall Grubers (1993, 1995) – einfach ignoriert. In der Konsequenz führt dieser Schritt zu einem rein linguistischen OE-Ansatzpunkt. Allerdings tritt im Kontext komplexer U-PLM-Systeme und ihrer CPS-Welten genauso wie vor dem Hintergrund transdisziplinärer Wissensteilung die grundsätzliche Unhaltbarkeit auch dieser vermeintlichen Alternativstrategie schnell offen zutage. Geht es um die Frage einer universell einsetzbaren und somit CPSS-adäquaten AI-Ontologie, die kritischen Prozessen in komplexen Umgebungen standhält, kommt man zwangsläufig in der Informatik nicht um eine Auseinandersetzung mit der Metaphysik umhin. Hier ist ein grundsätzliches Umdenken erforderlich, denn es gilt: Je intelligenter und autonomer AI-basierte Systeme werden, desto weniger ist es möglich, ihr aus dem Wege zu gehen.²⁰¹⁰ Dabei ist speziell die Beschäftigung mit Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik unumgänglich; denn in ihr besteht jenes Ursprungssystem, auf dessen Basis die für die Informatik unabdingbare TLO-Synthese erst möglich wird. Wird bereits dieses Ursprungssystem in Ziel und Zweck nicht in erschöpfender Weise verstanden, fehlen die notwendigen Grundlagen der ganzen Debatte. Das gilt unabhängig von der Frage, welche Position zu dieser Prozessmetaphysik bezogen wird. Entsprechend liegt in Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik auch insofern der Schlüssel zur Überwindung des in Pkt. 1.2 dargelegten Inkommensurabilitätsproblems, als sie das *revisionäre, ratio-empirische Ausgangssystem* techno-wissenschaftlicher Metaphysik überhaupt stellt. Da in dieser die relevante Metaphysikvariante gegeben ist, sollte alle metaphysische Revision ihren Ausgang auch von dessen Basis nehmen. Denn zum einen gibt es kein vergleichbares Sys-

²⁰¹⁰ Vgl. hierzu auch die Ausführungen zur *Superintelligenz* der dritten AI-Generation in Pkt. 6.3.

tem, weil die Bungesche Alternative mit Verweis auf die Ausführungen in Pkt. 5.3 keine Alternative ist. Zum anderen stellt der Whiteheadsche Ansatz in seiner universalen Ereigniszentrierung das Ursprungssystem aller *techno-wissenschaftlichen Metaphysik*, die für die Informatik wie gesagt gerade die relevante ist. Dabei ist das Whiteheadsche System natürlich nicht als solches sakrosankt. In der Tat steht gerade für Whitehead (1933) selbst das Erfordernis stetiger Revision der Metaphysiksysteme außer Frage. Allerdings sollte eine solche Revision nicht ihrer inneren Konsistenz zuwiderlaufen; der systemische Charakter der Metaphysiksysteme ist vielmehr zu bewahren, da er für sie konstituierend ist.

Vor diesem Hintergrund ist Zelewski (2005: 146) zuzustimmen, dass »das moderne Ontologieverständnis von KI-Forschung und Wirtschaftsinformatik [...] eine Verquickung von ontologischer und epistemologischer Perspektive [präsupponiert]«. Es muss sich dabei nicht notwendig als problematisch erweisen, wenn es in Informatik und Philosophie Tradition geworden ist, beide Sphären im Zeichen von *Weltmodellen* als "Ontologie" zu bezeichnen. Zwar hat das wesentlich zur großen Konfusion in der Ontologiedebatte beigetragen, doch ist festzustellen, dass sich diese Praxis, obwohl gänzlich unbeabsichtigt, im Nachhinein als positive Fügung erweist. Denn damit lassen sich die eigentlich disparaten Sphären einheitlich als *formale Ontologie* handhaben und im Sinne *verkoppelter Weltmodelle* systematisch aufeinander beziehen. Intelligente Cyber-physische Systeme benötigen wie alle agentenbasierten AI-Systeme eine semantisch durchgängige *Mehrweltenontologie*, die disparate, jedoch systematisch aufeinander beziehbare Ontologiemodi eröffnet. Es geht also um eine Ontologiekonzeption, die eine semantische Interoperabilität, eine vollumfängliche Durchgängigkeit objektiver, subjektiver wie im Konsens objektivierter Welten ermöglicht. Darin besteht ein Grundgedanke der in Pkt. 3.5 entwickelten CYPO FOX als integrierter Ontologiekonzeption.

Während sich an dieser Stelle bereits abzeichnet, dass der linguistische OE-Ansatzpunkt für komplexe AI-basierte Systeme bei kritischen Prozessen in die Irre führt weil ihm die metaphysische Fundierung fehlt, steht die KR-Entwicklung der AI-Disziplin historisch gesehen mit Wittgensteins Konnex von Sprache und Denken gleichwohl durch und durch im Zeichen der Linguistik: Diese Entwicklung beginnt mit einfachen matrixbasierten Analysen von Wortassoziationen resp. assoziativen Strukturen,^{2011, 2012, 2013} geht über graphenbasierte Repräsentationen,²⁰¹⁴ und zeigt sich schließlich in Mastermans (1961) bzw. Quillians (1966, 1968) *semantischen Netzen*,²⁰¹⁵ die hier erstmals für Zwecke der Wissensrepräsentation Verwendung finden. Wie bereits in Pkt. 1.2 erwähnt, besteht für Computer-

²⁰¹¹ Vgl. etwa Deese (1962, 1966), Marshall/Cofer (1963) sowie Pollio (1963, 1966).

²⁰¹² Neben der *quantitativen Linguistik* spielen *Wortassoziationen* auch in der experimentellen *neuropsychologischen Gedächtnisforschung* eine wesentliche Rolle; hier sind sie im Rahmen der assoziativen *Freien Wiedergabe (free recall)* von Wortlisten von Relevanz, vgl. etwa Deese (1959).

²⁰¹³ Indem *Thesauri mit Wortassoziationen* im Zuge der Entwicklung etwa von WordNet eingesetzt werden, vgl. Sinopalnikova (2004), zeigt sich bereits hier die Nähe zu *linguistischen Ontologien*.

²⁰¹⁴ Vgl. etwa Kiss (1968, 1969a, 1969b).

²⁰¹⁵ Mit W.A. Woods (1975) sind bei diesen die Perspektiven von Philosophen und Linguisten heterogen.

linguisten wie Quillian (1962: 17) dabei das Ziel in der »representation of the meaning of natural language words«, bei dem explizit die Verbindung zur linguistischen Theorie gesucht wird.²⁰¹⁶ Für AI-Protagonisten wie Minsky (1968a: 5) ist vor diesem Hintergrund der Forschungsauftrag der AI-Disziplin mit entsprechendem Ziel gesetzt: »developing the machinery for managing the use of these linguistic conventions«. Das ist wiederum im Sinne der durch Minsky (1968b) als notwendig erachteten Einbindung komplexer linguistischer Prozesse in heuristische Programme zu sehen. All diese Entwicklungen der AI-Tradition laufen bezeichnenderweise noch nicht unter "Ontologie": vielmehr handelt es sich um an der Linguistik orientierte semantische Netze. Von "Ontologie" wird in den Anfängen der Informatik erst bei Mealy (1967) bzw. McCarthy/Hayes (1969) insbesondere im Kontext Quines (1948) gesprochen; McCarthy/Hayes (1969) gehen dabei mit Verweis auf die Zusammenhänge in Pkt. 5.1 noch einen Schritt weiter als dieser, indem sie die Unabdingbarkeit von "Metaphysik" deutlich werden lassen. Dabei steht die Debatte um Datenmodellierung einerseits und Wissensrepräsentation andererseits anfänglich noch in einem je spezifischen ontologischen Zusammenhang.²⁰¹⁷ Denn nur im letzten wird methodisch das vollzogen, was bei Wittgenstein (1921) bereits explizit betont wird: die Notwendigkeit des strikten Realitätsbezugs, wie sie durch eine Referenz auf naturwissenschaftliche Theorien, bei Quine (1981, 2000) in Form eines methodischen Naturalismus und strikten Empirismus, vollzogen wird.

Insofern kann mit Verweis auf die analytischen Vorläufer eine sachgerechte Auslegung eines primär linguistischen Ontologieverständnisses gerade nicht auf das hinauslaufen, was der linguistische Ontologietypus in weiten Teilen doch faktisch verkörpert: ein letztlich *idealistisches* Verständnis der Welt, wie man es konsequent in der Tradition Kants als ultimativem Orientierungspunkt deskriptiver Metaphysik vermutet. Dabei gehen Idealismus, Konstruktivismus und Konzeptualismus in der deskriptiven Metaphysik Hand in Hand. Entsprechend beziehen sich bereits Guarino/Carrara/Giaretta (1994a) nicht etwa auf reale bzw. hypothetische Situationen der aktuellen Welt »that has the same laws of nature of ours«, sondern in expliziter Anlehnung an Putnam (1981) vielmehr auf »states of affairs having an 'idealised rational acceptability'«. ²⁰¹⁸ Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist ein solch idealisierender Ontologieansatz inakzeptabel; für Engineering-Ontologien etwa in der Luft- und Raumfahrtindustrie sind – wie in anderen industriellen Bereichen – sehr wohl die physikalischen Gesetzmäßigkeiten genau der aktuellen Welt entscheidend; wie erwähnt bauen technologische Ontologien in diesen und anderen Zusammenhängen unmittelbar auf *Scientific Ontologies* auf. Doch dabei bleibt es nicht in Guarinos fehlgeleitetem Ontologieverständnis; es setzt sich mit Blick auf die Realismusdebatte fort und führt auch hier dazu, dass es für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wie als universale Ontologiekonzeption der Informatik inakzeptabel ist: Wenn Guarino/Welty (2000b) gene-

²⁰¹⁶ Vgl. Quillian (1968).

²⁰¹⁷ Mit Bertino et al. (2001) lässt sich ontologisch nicht mehr zwischen ihnen differenzieren.

²⁰¹⁸ Hvh. des Verf.

rell bzw. Masolo et al. (2003) speziell mit der DOLCE-TLO in deskriptiver Tradition einen *Realismus* für sich reklamieren oder Guarino/Giaretta (1995) die *Konzeptualisierung strikt auf die "Realität"* beziehen wollen, ist dabei zu berücksichtigen, dass solche im Zeichen der Mögliche-Welten-Semantik unternommene Schritte explizit im Zeichen des *Modalen Realismus (modal realism)* von Lewis (1983) erfolgen. Ob dabei wirklich sinnvoll von *Realismus* gesprochen werden kann, wenn bei dieser Spielart eines ontologischen Realismus *sämtliche mögliche Welten* als "real" erachtet werden, ist gewiss fraglich. In jedem Fall ist ein solches Vorgehen nicht weit entfernt vom Idealismus Berkeleys (1710) – bis auf die entscheidende, jedoch nicht nachprüfbare Behauptung, *alle* Welten seien ontologisch "real". Letztlich ist das Ganze deshalb als pseudowissenschaftlich einzustufen, weil kaum der Nachweis erbracht werden kann, dass es solche beliebig konzipierten Universen tatsächlich gibt. In dieser Reflexion dürfte kaum anzunehmen sein, dass sich solche Ontologiekonzeptionen, wie sie etwa Basis der DOLCE-TLO sind, tatsächlich dauerhaft in der Informatik durchsetzen können, wenngleich sie heute zu den führenden Ontologieansätzen in der Disziplin gehören. Denn es ist nicht ausgeschlossen, dass die ontologischen Grundlagen einzelner Ansätze in Zukunft in der Disziplin etwas eingehender untersucht werden, als es bisher wissenschaftliche Praxis ist. Entsprechend ist die Informatik als Wissenschaft wie als Technologie mit Verweis auf das Wesen der Referenzontologie gut beraten, um solche pseudowissenschaftlichen Ontologiekonzeptionen einen großen Bogen zu machen, da sie einer sachgerechten Behandlung von *Scientific Ontologies* entgegenstehen.

Mit dem Eintreten für den für wissenschaftliche Zwecke inakzeptablen *Modalen Realismus* überrascht es nicht, wenn Guarino zum einen nicht mit dem *metaphysischen Realismus* konform geht, wie er hier als fundamentalste aller wissenschaftlichen Hypothesen im Sinne Poppers als gut begründbare methodologische Grundannahme vertreten wird. Zum anderen ist fraglich, ob Guarino die handfesten Probleme im Blick hat, die sich im Hinblick auf *Scientific Ontologies* dadurch stellen, dass für sämtliche, auch für kontrafaktische Welten "Realität" beansprucht wird. Bunge (2012) hat auf diese schwerwiegenden Probleme, die aus dem *Modalen Realismus* für die Wissenschaftspraxis resultieren, bereits explizit hingewiesen. Aber *Scientific Ontologies* sind genauer besehen die Sache Guarinos nicht, indem in der deskriptiven Metaphysik der damit verbundene Gedanke objektiven Wissens nicht ohne weiteres geteilt wird.²⁰¹⁹ Das gilt selbst dann, wenn in *Scientific Ontologies* der letztliche Ursprung eines Großteils der PLM-relevanten Referenzontologien zu suchen ist, gerade solcher, die in PLM-zentrischen Produktentwicklungsprozessen (PEP) von Relevanz sind. Wenn jedoch *Scientific Ontologies* heute *de facto* in mittlerweile großer disziplinärer Breite und stetig zunehmender Zahl etwa im gängigen OWL-Format verfügbar sind, und faktischer Konsens besteht, dass es sich dabei um *wissenschaftliches*

²⁰¹⁹ Auch Floridi (2005: 367) bringt »a revision of the analysis of the standard definition of knowledge as justified and true belief« ins Spiel, die genauso an den relevanten wissenschaftlichen Gesichtspunkten vorbeigeht. Denn diese Definition solle in ein Neuverständnis überführt werden, das »information as well-formed, meaningful and truthful data« erachtet, vgl. dazu die Kritik unter Pkt. 8.3.

Wissen handelt,²⁰²⁰ sind Guarinos Zweifel daran weder gerechtfertigt noch in ontologischer Hinsicht angebracht. Vielmehr ist hervorzuheben, dass solche *Scientific Ontologies* mit Guarinos *Modalem Realismus* konfligieren, während kein Widerspruch zum *metaphysischen Realismus* besteht. Dieser wird heute kaum mehr in Frage gestellt, weil er als Fundamentalthypothese letztlich zwangsläufig aus der inneren Konsistenz des methodisch überprüfbar objektiven Wissens resultiert. Dass bereits durch Kant (1781) als ultimativem Orientierungspunkt deskriptiver Metaphysik selbst der Nachweis zur Existenz einer bewusstseinsunabhängigen Außenwelt erbracht wird, ist entsprechend nicht mehr als eine Randnotiz.

Indem die Wissenschaftspraxis in einer Reihe von Domänen in großen, stetigen Schritten zur KR-Praxis reift, stellt sich für die Informatik das Erfordernis einer *universalen Ontologiekonzeption*, die neben *Scientific Ontologies* auch auf die damit verbundenen technologischen Ontologien abzustellen hat. Entsprechend ist die Ontologiefrage durch die Informatik *allgemein* zu stellen und mit einer *universalen Ontologiekonzeption* zu beantworten, die transdisziplinäre Gültigkeit besitzt. Denn im Zuge der *ontologischen Revolution* transzendiert die Wissensontologie sämtliche wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Diskursuniversen (UoD). Allerdings wird heute weder die Ontologiefrage allgemein gestellt noch nach entsprechenden Antworten gesucht. Dabei ist das tradierte Ontologieverständnis der Informatik nicht nur in wissenschaftlicher Hinsicht, sondern mit dem Aufkommen autonomer Cyber-physischer Systeme (CPS) genauso in technologischer wie praktischer Hinsicht rigoros zu überdenken. Unter Hinweis auf das enge Zusammenspiel von Wissenschaft und Technologie ist dabei offensichtlich im Rahmen einer tragfähigen Ontologiekonzeption auch der ontologische Übergang zwischen wissenschaftlichen und technologischen Ontologien zu bewerkstelligen. Auch dieses Erfordernis läuft notwendig auf eine integrierte Ontologiekonzeption hinaus. Vor diesem Hintergrund ist ebenso evident, dass sich jeder Ontologieansatz unter dem Gesichtspunkt seiner allgemeinen Anwendbarkeit letztlich von vornherein disqualifiziert, wenn er auf dem *Modalen Realismus* Lewisscher (1983, 1986) Prägung aufbaut.

Demgegenüber wird mit Genesereth/Nilsson (1987) und später mit Gruber (1993, 1995) das vollzogen, was sich als ontologische Krux der Informatik bezeichnen lässt, nämlich die völlige Lossagung von jedem systematischen Realitätsbezug, der mit der großen Popularität dieser Ontologiekonzeptionen bis heute in weiten Teilen der Informatik *en vogue* ist. Indessen besteht in dieser Lossagung ein völliger Irrtum, und das nicht allein wie selbstredend mit Blick auf *Scientific Ontologies*, sondern gleichsam für ihr technologisches resp. rein praktisches Pendant. Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist eine solche Ontologiebasis in keiner Weise tragfähig, womit eine grundsätzliche Debatte um den funda-

²⁰²⁰ Das gilt insofern eingeschränkt, als es auf Smithens *veridikalem* Prinzip beruht, nicht auf Poppers *methodologischem* Prinzip; über diesen wissenschaftstheoretischen Defekt hinaus ist Smithens Rede von *Scientific Ontologies* aber selbst auf seiner phänomenologischen Basis insofern nur bedingt zutreffend, als Husserl (1917a) die *Phänomenologie* gerade den *objektiven Wissenschaften* gegenüberstellt.

mental defekten, heute jedoch in weiten Teilen favorisierten linguistischen OE-Ansatzpunkt unumgänglich wird. Dies gilt, zumal auch etwa die verbreitetste Enterprise Ontologie, die REA-EO, explizit auf der Gruberschen Ontologiekonzeption aufbaut. Und es sind die *Enterprise Ontologien*, um die sich die *Smart Enterprise Integration* (SEI) in ihrer Eigenart als TLO-referenzierende Kernontologien in fachlicher wie methodischer Hinsicht zentrieren muss.

Wenn sich heute die meisten Informatiker auf Grubers Ontologieverständnis berufen, verkennen sie gerade jene Teile der disziplinären Ontologiedebatte, die besonders entscheidend sind. Bezeichnenderweise beginnt für manch Fachvertreter die Ontologiekontroverse auch erst mit Gruber (1993), wenn sie irrtümlich meinen, er habe die Ontologie in die Informatik gebracht.²⁰²¹ Für den heute nach fast fünfzig Jahren im Sinne der großen Konfusion nicht unproblematischen Stand der Ontologiedebatte ist es symptomatisch, wenn einmal populäre Ontologiekonzepte kaum kritisch hinterfragt werden. Wenn der Kanon des vermeintlichen Informatik-Mainstreams bestimmend wird. Demgegenüber zeigt sich mit Quine, dass eine Differenzierung von Linguistik auf der einen, und Empirismus resp. Naturalismus auf der anderen Seite nur dann einen Gegensatz bedeuten kann, wenn beide jeweils gründlich missverstanden werden. Mit Quine, auf den sich viele Informatiker genauso berufen wie auf Gruber, wird klar, dass an der Gruberschen Ontologiekonzeption manches nicht stimmen kann. Was das genau ist, wird in der Kritik des Gruberschen Ontologieverständnisses im folgenden Pkt. 3.4 wie im Zuge der Kritik des Quineschen Naturalismus in Pkt. 5.1 deutlicher. Im Gegensatz zum Ontologieverständnis Grubers geht jenes Quines zumindest in Sachen Realismus in die richtige Richtung, indem er diesen *Realismus* explizit vertritt. Somit wird besser nachvollziehbar, wenn McCarthy (2000) in ihm die beste Orientierung für die AI-Disziplin gegeben sieht. Entgegen diesem realistischen Standpunkt handelt es sich bei der Gruberschen Konzeptualisierung um nichts weiter als um eine *mentale Repräsentation*. Auf dieser Basis sind bei Gruber im Sinne des in Pkt. 3.1 mit Rescher (1979) dargelegten *ontologischen Status des Möglichen* in seiner fundamental geistabhängigen Beschaffenheit *mögliche Welten* problemlos angelegt. Wyssuseks (2006b) *"fairy ontology"* ist in ihrem Rekurs auf die Grubersche Ontologie also richtig konzipiert; in ihrer Eigenart als *"fairy ontology"* offenbart sie jedoch ihre Unzulänglichkeiten, die sie in kritischen realen PLM-Kontexten aufweist. Gleichzeitig wird deutlich, dass es kaum angezeigt sein kann, sich wie Wyssusek parallel auf Quine und Gruber zu berufen:²⁰²² Das verkennt nicht nur die Natur des Quineschen Werks, sondern einmal mehr die Tatsache, dass es sich dabei um grundsätzlich disparate Ontologieverständnisse handelt. Das betrifft zahlreiche fundamentale Fragen,²⁰²³ womit deutlich wird, dass man die metaphysische On-

²⁰²¹ Vgl. hierzu die Verweise in Fn. 2223.

²⁰²² Vgl. Wyssusek/Klaus (2005b: 336); vgl. ähnlich Wyssusek (2004a: 4305).

²⁰²³ Bspw. ist Quines Ontologie eine *4D-Ontologie*, was für die Grubersche nicht gilt; es liegen unterschiedliche *Existenzbegriffe* vor, genauso wie andere *Wahrmacher* (Truthmaker) zum Einsatz kommen, usf.

tologie nicht aus philosophischen Systemen herausbrechen kann, dessen zentraler Kern sie als *Prima Philosophia* bildet.

Derweil greift auch die Quinesche Konzeption zu kurz; in diesem wesentlichen Punkt ist McCarthy (2000) deutlich zu widersprechen, wobei seine Position auch nicht mit seiner ursprünglichen konsistent ist: Denn bei McCarthy/Hayes (1969), der für unsere Begriffe grundlegendsten wie wegweisenden – wenn auch maßgeblich zu modifizierenden – AI/KR-Konzeption geht es um *metaphysisch adäquate Repräsentationen*. Und diese sind mit dem Quineschen *Naturalismus* nur dann zu vereinbaren, wenn man diesen Naturalismus im Sinne seines akademischen Lehrers versteht. Weil das bei Quine jedoch nicht der Fall ist, muss die Informatik im Sinne von McCarthy/Hayes (1969) und mit Verweis auf Pkt. 5.1 entsprechend zurück von Quine zu Whitehead. Im Zeichen der *metaphysisch adäquaten Repräsentationen* bei McCarthy/Hayes (1969) gilt es für die Informatik, die Metaphysik im Sinne Whiteheads (1929a) und Einsteins (1934) als *techno-wissenschaftliche Metaphysik* zu rehabilitieren. Dabei ist diese Rehabilitation auf Basis des in Pkt. 4.1 beschriebenen *Ratio-Empirismus* zu vollziehen. Wie im Einzelnen in Pkt. 5.1 gezeigt,²⁰²⁴ muss die Informatik von Quine zurück zu Whitehead, weil eine integrierte Ontologiekonzeption im Sinne der für sie erforderlichen *universalen, TLO-referenzierenden Ontologie* auf Basis des Quineschen Empirismus und Naturalismus nicht zu bewerkstelligen ist. Auch findet sich die an Kant (1781) anschließende zweite Kopernikanische Wende nur bei Whitehead, nicht bei Quine. Diese ist für eine CPSS-adäquate Ontologie nicht nur wegweisend, sondern genauso unabdingbar wie andere Aspekte von Feyerabends (1975) "*anything goes*", die sich erst mit der *universalen Ontologie* Whiteheads systemisch begründen lassen.²⁰²⁵

Der Logizismus Quines ist zwar im Einklang mit seinem Realitätsbezug für die Informatik an sich richtig, was auch für McCarthys (2000) Einschätzung spricht, nur gelangt man mit ihm nicht auf die für die Informatik gerade entscheidende transdisziplinäre Ebene, auf die Ebene *universaler Ontologie*. Man gelangt mit ihm nicht zu universalen Kategorien, und auch nicht zu einem konsistenten meta-ontologischen System. Man kann es also bei McCarthy/Hayes (1969) belassen, weil sich die metaphysische Adäquanz jeder Repräsentation tatsächlich erst im Kontext eines metaphysischen Systems feststellen lässt. Damit haben McCarthy/Hayes (1969) implizit bereits die Idee der *Top-level Ontologie* vorweggenommen, was mit Pkt. 4.1 noch deutlicher wird. Insofern führt der Weg von Quine notwendig zurück zu Whitehead, und genauso notwendig vom *analytischen Logizismus* Quines zum *metaphysischen Logizismus* Whiteheads. Dabei wird sich im Vorgriff auf den in Pkt. 6.1.2 diskutierten *Strukturalismus* mit Pkt. 5.1 zeigen, dass in diesem der bessere "analytische" Logizismus besteht. Wenn an die Stelle des Quineschen Empirismus und Naturalismus eine dem Moment der Transdisziplinarität wie dem Aspekt universaler Ontologie erst entsprechende *techno-wissenschaftliche Metaphysik* treten muss, ist damit kei-

²⁰²⁴ Vgl. hierzu insbes. Pkt. 4.1, Pkt. 5.1 sowie Pkt. 6.1.3.

²⁰²⁵ Dazu gehört etwa der Dualismus von aktualen und möglichen Welten, von objektiven und subjektiven Standpunkten, von materialistischen wie idealistischen Positionen usf.

neswegs ausgeschlossen, dass zwischen Metaphysik und Linguistik ein *komplementäres* Verhältnis besteht. Nur kann dies weder im sprachphilosophischen Sinne noch in jenem gedeutet werden, dass die Linguistik den primären OE-Ansatzpunkt bestimmt.

Mit der fundamentalen Bedeutung, die *linguistische Ontologien* im Sinne des OE-Ansatzpunkts für die Informatik besitzen, kann man es kaum mit einem bloßen Abriss der jeweils vertretenen Positionen bewenden lassen. Denn damit ließe sich kein stabiles Fundament für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* schaffen, wenn es dabei um *vollumfängliche semantische Interoperabilität* gehen soll. Dazu muss natürlich zunächst der Ontologiebegriff an sich mitsamt des OE-Ansatzpunkts geklärt sein. Denn erst darauf lässt sich eine *integrierte Ontologiekonzeption* gründen und die Frage einer adäquaten *Top-level Ontologie* klären, über die sich eine solch vollumfängliche semantische Interoperabilität für alle Zwecke der *Smart Enterprise Integration* realisieren lässt. Entsprechend muss es gelten, entlang der grundlegenden Linien von McCarthy/Hayes (1969) ihre grundsätzliche Problematik tiefer zu ergründen: Wie die Bezeichnung vermuten lässt, orientieren sich *linguistische Ontologien* ausschließlich an der Sprache, nämlich daran, wie über Entitäten des Diskursuniversums gesprochen wird. Quillians (1966, 1968) oben erwähnte *semantische Netze* stellen in diesem Sinne Begriffsnetze dar, auf deren Basis man versucht, Diskursuniversen rein durch Sprache zu beschreiben. Anders gewendet konstituiert sich das Diskursuniversum somit auch nur durch Sprache. Ontologie ist in diesem Fall also keine *Theorie der Objekte* in dem Sinne, dass diese Objekte in Realitätsstrukturen aktueller Welten oder in analogen metaphysischen Strukturen möglicher Welten stehen. Sprachliche Entitäten sind definatorischer Natur; entsprechend können Entitäten in einem solchen Ansatz zunächst einmal allein *definitorische* Existenz besitzen. Wie oben erwähnt, *existiert* im Sinne Grubers (1993: 199) all das, was sich repräsentieren lässt, und das schließt beliebige mögliche Welten wie auch beliebige kontrafaktische Aussagen mit ein. In diesem Ontologieverständnis kann entsprechend auch die Legitimationsbasis für Wyssuseks (2006b) fiktionale Welten bestehen, die keineswegs als solche problematisch sind, sondern allein mit Blick auf die unklare Trennung fiktionaler und nicht-fiktionaler Objekte bzw. Sachverhalte. Analog gilt dies für Grubers Ontologiekonzept insgesamt: Problematisch ist nicht, dass es sich für aktuelle und mögliche Welten heranziehen lässt. Vielmehr besteht die Problematik darin, dass es zwar mögliche Welten zulässt, es sich jedoch bei Gruber insofern um eine *Monoweltenontologie* handelt, als sich alles in einer einzigen linguistischen Welt abspielt. Wenn eine Ontologiekonzeption darauf abstellt, dass in ihr all das existiert, was sich repräsentieren lässt, wird ein solcher Ansatz sowohl für wissenschaftliche als auch gerade für industrielle Zwecke faktisch unbrauchbar. Denn sowohl in der wissenschaftlichen wie gerade auch in der industriellen Anwendung sind grundsätzliche Probleme mit folgenschweren Konsequenzen impliziert, wenn sich kontrafaktische Aussagen für bestimmte Welten nicht systematisch ausschließen lassen.

Eine analoge Problematik ergibt sich insgesamt für die Wahrmacher (Truthmakers), um die die Informatik bisher nicht viel Aufhebens macht: wie in Pkt. 3.2.3 ausgeführt, verkennt sie damit aber die *Natur des Wissens*, was kaum angezeigt sein kann, wenn es bei Ontologien um nichts anderes als um *Wissensrepräsentation* bzw. *formale Wissensstrukturen* geht.²⁰²⁶ Diese sind zudem nur dann als ontologisch hinreichend zu werten, wenn sie mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 *kategorial* sind, also auf einem System oberster Kategorien basieren bzw. auf dieses referenzieren. Denn alle *nicht-kategorialen* Ontologien entsprechen all jenen zentralen Aspekten nicht, die für die *Ontologie als Wissensontologie* gerade konstituierend sind: dem Gedanken der *Heavyweight-Ontologie*, dem Gedanken der inter- bzw. transdisziplinär weitreichend referenzierbaren *Referenzontologie* sowie dem damit verknüpften Gedanken der systematischen Bezogenheit auf eine *Top-level Ontologie als Ausgangspunkt des Ontology Engineering*. Hinzu kommt das Problem ontologischer Stabilität, als nicht-kategoriale Ontologien im Allgemeinen für Inferenzfehler weitaus anfälliger sind als Ontologien, die auf den etwa durch Sowa (1995) besonders herausgestellten *Top-level Kategorien* aufbauen. Da solche Kategoriensysteme in direktem Zusammenhang zu den fundamentalen Strukturen der Welt bzw. der jeweiligen Diskurswelten stehen, deren Offenlegung wiederum allein Sache der Metaphysik ist, muss der Ontologiebegriff offensichtlich generell, also gerade auch in der Informatik, immer als *metaphysische Ontologie* verstanden werden. In diesem kategorialen Sinne lässt sich die Ontologie nicht von der Metaphysik ablösen. Entsprechend verkörpern von solchen formalen Wissensstrukturen losgelöste einfachste Vokabulare, Glossare, Thesauri oder Topic Maps gerade *keine Ontologien*. Bei ihnen handelt es sich vielmehr um genau das, was ihre Begriffe landläufig für sich bezeichnen – und um nichts anderes.

Die in ihren äußerst nachteiligen Konsequenzen für den Wissenschaftsfortschritt der Informatik notwendig aufzuhebende Konfusion um die Ontologie als ihrer Schlüsselthematik verlangt, dass die oben genannten Begrifflichkeiten strikter bzw. exakter differenziert werden als es bisher gängige Praxis ist. Maßstab eines allgemein akzeptierbaren, transdisziplinären Ontologieverständnisses ist eine *universale Definition*, deren gemeinsamer Nenner die *Ontologie als semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* definiert. Somit wird nochmals deutlich: einfachste Vokabulare, Glossare, Thesauri oder Topic Maps sind deshalb nicht als *Ontologien* verstehbar, weil sie keine formal-strukturalistischen Weltmodelle repräsentieren bzw. nicht semantisch explizit spezifiziert sind, da beides allein auf kategorialer, mithin metaphysischer Basis möglich ist. Der gemeinsame Nenner in der Ontologiedefinition trifft also auf sie nicht zu. Somit ist der Fokus der Ontologiediskussion rigoros auf die für die *Wissensontologie* konstituierenden Momente zu richten, was nur

²⁰²⁶ Das allerdings wird mit Verweis auf den folgenden Pkt. 3.4 durch Gruber anders gesehen, womit er explizit eine andere Position vertritt als McCarthy/Hayes (1969). – Es ist zwar richtig, dass die *Funktionen von Ontologien* mit Verweis auf Pkt. 3.2.1 noch weitere sind; doch laufen diese entweder letztlich unmittelbar auf die *Wissensrepräsentation* hinaus, basieren auf dieser, oder stehen ansonsten in Zusammenhängen analoger *formaler Wissensstrukturen*, wie etwa bei der ontologiebasierten Datenmodellierung.

dann möglich ist, wenn für alle Beteiligten klar ist, was die *Natur des Wissens* eigentlich ausmacht, und dass sich ein universales Ontologieverständnis notwendig auf *alle Wissensarten* zu beziehen hat. Nur dann wird Einsicht bestehen können in den Umstand, dass mit Verweis auf Pkt. 6.2.8 die Repräsentation von Wissen durch die Informatik in einer Form zu gewährleisten ist, die es möglich macht, jeden der gängigen Wahrmacher (Truthmakers) zu bedienen. Davon aber sind linguistische Ontologien Gruberscher Provenienz weit entfernt; mehr noch: dem *wissenschaftlich relevanten Wahrmacher* können sie gerade nicht entsprechen, was in Pkt. 3.4 im Rahmen einer zusammengefassten Fundamentalkritik der Gruberschen Ontologiekonzeption weiter vertieft wird.

Vor allem aber kann man bei der Vielzahl koexistierender Ontologiekonzeptionen bei der Gruberschen sicher am wenigsten überhaupt von "Ontologie" sprechen, weil sie nicht systematisch auf die Momente *kategorialer Ontologie* abstellt. Die fundamentale Struktur der ontologisch repräsentierten Welten ist für Gruber nicht entscheidend, und das liegt an seinem defekten linguistischen Ontologieverständnis. Dabei ist dieses noch nicht einmal an formalen Wissensstrukturen resp. der Wissensrepräsentation orientiert, sondern beschränkt sich explizit einseitig wie unzulässig im Sinne linguistischer Vokabulare auf Kommunikationsprozesse. Neben der Struktur der Welt spielt entsprechend auch die *Natur des Wissens* für Gruber keine Rolle, was für die Grundlagen *Künstlicher Intelligenz* (AI) und damit für die durch Gruber eigentlich angestrebte *AI-Ontologie* schlechte, nämlich völlig unzureichende Voraussetzungen sind. Warum sich die Informatik auf breiter Front gerade ausge-rechnet an dieser defekten Ontologiekonzeption orientiert, lässt sich allein mit ihren fehlenden Fundamenten beantworten, die in ihrer mangelnden Spezifizierung für alle Beteiligten weitreichende, letztlich jedoch fatale Interpretationsspielräume in der Frage belassen, welche Anforderungen eine Ontologie erfüllen muss und wie ein sachgerechtes *Ontology Engineering* zu konzipieren ist. Tatsächlich besteht das eigentliche Problem darin, dass heute praktisch jeder Informatiker im Sinne Pisanellis et al. (2002: 125) mit *Ontologie* konfrontiert ist, die eigentlichen Grundlagen der Ontologie im Zeichen *semantisch explizit spezifizierter formaler Weltmodelle* heute jedoch wohl in den wenigsten Fällen wirklich sachgerecht verstanden werden. Denn sie liegen außerhalb der bisherigen Disziplingrenzen, was dann mitunter zu den oben genannten Verlagerungs- bzw. Vermeidungsstrategien und damit gleichermaßen konsequent wie unbeholfen zum linguistischen OE-Ansatzpunkt führt. Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, wenn breite Kreise der Disziplin für Grubers wenig spezifizierte Ontologiekonzeption empfänglich sind, während ihre fundamentalen Defekte jedem Ontologen mit etwas eingehenderem philosophischen Hintergrund direkt gewahr werden. Entsprechend wird die Informatik auf diesem Wege in der Ontologiesache nicht weit kommen; vor allem wird sie auf diese Weise ihre eigentlichen Zwecke nicht erreichen können und somit früher oder später von vorn beginnen müssen: Das wird mit realweltlichen AI-Ontologieanwendungen, die sich im Grunde typischerweise nicht zuletzt im Umfeld *kritischer Prozesse komplexer Systeme* bewegen, schnell deutlich werden.

Wie im vorangehenden Pkt. 3.3.1 im Zuge der Abgrenzung der Ontologiearten deutlich geworden ist und oben nochmals erwähnt wurde, geht es bei der Ontologie in erster Linie um *Referenzontologie*; erst nachgeordnet um Anwendungsontologie. Referenzontologien zielen allerdings natürlich weder darauf, nicht-teilbares rein Subjektives zu repräsentieren noch darauf, sich auf Kontrafaktisches zu beziehen. Nicht jede Ontologie ist Referenzontologie und das ist notwendig durch die Natur des gesamten Querschnitts an "Weltmodellen" bestimmt; jedoch ist es die *Referenzontologie*, die für die Frage nach der Ausgestaltung der Ontologiekonzeption von eigentlichem Belang ist, da sie die Kernidee der Wissensteilung und -wiederverwendung unmittelbar verkörpert. Entsprechend zielen Ontologien mit Fensel (2004) nicht auf irgendeine, sondern regelmäßig auf eine *realweltliche* Semantik; es geht zunächst einmal um *realweltliche* Bedeutung, die mit *realweltlichen* Aktionen und Sachverhalten, die sie repräsentieren, zu korrespondieren haben. Anders gewendet geht es im Sinne von McCarthy/Hayes (1969) um *metaphysisch adäquate Repräsentationen*, wobei Metaphysik in ihrem primären Modus allein als *techno-wissenschaftliche Metaphysik* verstanden werden kann. Diese steht mit ihrem *Ratio-Empirismus* nicht nur bei wissenschaftlichen Ontologien im strikten erfahrungswissenschaftlichen Wechselspiel; auch bei technologischen Ontologien lässt sich im *aktualen Weltmodus* nur das repräsentieren, was im klassisch ontologischen Sinne einschließlich von Artefakten existiert. Was sich also empirisch in dem Sinne nachprüfen lässt, als ontologische Aussagen empirisch fallibel sind.

Hinsichtlich technologischer Ontologien im *aktualen Weltmodus* gilt, dass ihre Instanzen realfaktisch gegeben sind und ggf. durch alle Beteiligten auch nachvollzogen werden können.²⁰²⁷ So muss für PLM-Ontologien der Produktionsphase in diesem Modus sichergestellt sein, dass bspw. die Maschine am Maschinenplatz 23 in Halle 56 auch tatsächlich physisch existent ist, und nicht nur im Sinne eines möglichen Objekts etwa bloß in Planung befindlich. – Das schließt keinesfalls aus, dass es auch *mögliche Weltmodi* gibt; und eine integrierte Ontologiekonzeption kann nur dann überzeugen, wenn sie diese auch tatsächlich berücksichtigt. Das ist etwa bei der wissenschaftlichen BFO-Ontologiekonzeption Smithens, die streng auf aktuelle Welten fixiert ist, gerade bewusst nicht der Fall. Bei der nicht minder populären BWW-TLO auch nicht. Mögliche Welten sind dabei nicht nur mit Blick auf die fiktionalen Ontologien bei Wyssusek (2006b) erforderlich, die ungeachtet ihres Ausnahmecharakters für spezielle Anwendungen der Informatik gewiss auch ihre Daseinsberechtigung besitzen. Vielmehr sind *mögliche Weltmodi* im Hinblick auf industrielle wie wissenschaftliche Forschungs- und Entwicklungsprozesse (R&D) und insgesamt für Innovationsprozesse notwendig zu berücksichtigen. Diese Feststellung ist gerade auch für U-PLM-Systeme von Relevanz, als sich die Produktentwicklung radikal neuartiger hochkomplexer Güter naturgemäß in *möglichen Welten* bewegt, nicht in der aktuellen Welt, von der auf diese nicht einmal ansatzweise zu schließen sein muss: Auf solche – oftmals

²⁰²⁷ Diese realfaktische Existenz beruht auf einem *weiten Realitätsverständnis*, das in Pkt. 3.5 umrissen wird.

mehrjährigen – Produktentwicklungsprozesse komplexer Güter muss die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* samt alternativen technologischen Entwurfswelten gerade abstellen, womit *mögliche Welten* für sie offenbar ebenso elementar sind.

In Gruberschen Ontologien lässt sich aber weder die aktuelle Welt im Sinne präzisen Wissens repräsentieren, noch lassen sich aktuelle Welt und mögliche Welten systematisch differenzieren oder systematisch aufeinander beziehen. Denn das ist allein auf der Grundlage einer universalen TLO-Basis möglich, die dem Gruberschen Ontologiekonzept fehlt. Wenn Grubersche Ontologien gleichsam keinen zwingenden Realitätsbezug vorsehen, wird dieser Defekt nochmals dadurch gesteigert, dass der Wahrmacher nicht einmal im eigentlich grundlegendsten aller Wahrmacher bestehen muss, nämlich in der logischen Widerspruchsfreiheit. Vielmehr ist das "wahr", was eine paradigmatische Gemeinschaft als "wahr" erachtet, was sie mit Gruber (2004) also im Zuge eines "*treaty*" bzw. "*social agreement*" zur "Wahrheit" erklärt. Wyssusek (2006b: 143) setzt also mit seiner "*fairy ontology*" auf den richtigen Ansatz, wenn er sich auf die Grubersche Ontologiekonzeption bezieht; denn auch eine "*fairy ontology*" verlangt lediglich den Konsens der Beteiligten. Kontrafaktischem und logisch Widersprüchlichem ist bei Gruber somit Tür und Tor geöffnet: auf Basis Gruberscher Ontologien können sich Objekte auch im schnelleren oder wahlweise langsameren Fall als nach Normalschwereformel mit $9,81 \text{ m/s}^2$ befinden, ihr Zeitpfeil lässt sich prinzipiell umkehren, die Zeit zurückdrehen. Genauso können sich Objekte gleichzeitig im Schaltzustand "ein" und "aus" befinden oder sie drehen sich gleichzeitig nach links und rechts. Tatsächlich muss es einen Ontologietypus geben, der solche Fiktionen ermöglicht, weil es die Informatik in bestimmten Nischen auch mit solchen Systemen zu tun hat, die ebenfalls zunehmend auf Ontologien aufbauen. Indem sich solche fiktionalen Produkte prinzipiell ebenfalls auf der Grundlage von PLM-Systemen entwickeln lassen, muss sie die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* berücksichtigen, wenn diese allgemeingültig sein soll. Allerdings handelt es sich dabei um einen entsprechend speziellen Typus, nicht etwa um den grundlegenden, worauf wir mit der in Pkt. 3.5 entwickelten integrierten Ontologiekonzeption zurückkommen.

Indessen haben all diese Beispiele mit *Referenzontologie* wenig zu tun, während der eigentliche Ontologiedanke gerade primär in ihrem Zeichen, und nicht in jenem der erst nachgeordneten Anwendungsontologien steht. Wenn Grubers (1993, 1995) Ontologiekonzeption gerade explizit auf die Portabilität von Ontologien und auf allgemeine Wissensteilung zielt, steht sie letztlich entweder unter einem naiven oder unter einem pejorativen Stern: Als universale Konzeption, als sie in der Disziplin gemeinhin gesehen wird und als die sie in ihrer flexiblen Repräsentationsidee angelegt ist, muss sie natürlich auch den Anforderungen der *Teilung wissenschaftlichen Wissens* genügen. Das gilt auch dann, wenn Gruber (1993, 1995) diesen Anspruch selbst gar nicht explizit stellt.²⁰²⁸ Davon ausgehend

²⁰²⁸ Vgl. exemplarisch die REA-Ontologie, die auf der Gruberschen Ontologiekonzeption aufbaut und wissenschaftsbasierte Sachverhalte zum Gegenstand hat, vgl. hierzu Geerts/McCarthy (1999, 2000, 2002).

berücksichtigt sie im ersten Fall die über Jahrzehnte geführten wissenschaftstheoretischen Debatten nicht; im zweiten diskreditiert oder negiert sie diese.²⁰²⁹ Denn die Natur des für Referenzontologien gerade ausschlaggebenden *präzisen objektiven Wissens* ist notwendig mit methodologischen Prinzipien verknüpft. Ansonsten müsste man die Möglichkeit präzisen objektiven Wissens insgesamt negieren, was in einigen Ontologiekonzeptionen auch mindestens implizit der Fall ist, wie oben bereits mit Guarino bzw. der DOLCE-TLO erwähnt. Dann aber stellt sich die Frage, warum bspw. die bereits erwähnte, auf der BFO-TLO basierende OBO-Foundry möglich ist, in deren Rahmen eine Vielzahl von Wissenschaftlern im Sinne "*objektiven*" *Wissens* wissenschaftliches Wissen mit großem Fortschritt auf Basis von *Scientific Ontologies* in einem verteilten, internationalen Kontext teilt?²⁰³⁰ Ähnliche Entwicklungen gibt es in einer Reihe anderer Domänen. Linguistische OE-Ansätze stellen gemeinhin insofern nicht auf diese Entwicklungen ab, als sie gerade nicht in zwingender Weise der Idee *objektiven Wissens* verpflichtet sind. Sie bauen gerade nicht systematisch auf der Idee der öffentlichen, disziplinären wie insbesondere transdisziplinären Wissensteilung auf und adressieren genauso wenig systematisch die Zwecke der *Scientific Ontologies* wie entsprechender Referenzontologien.

Diese Entwicklungen sind deshalb so wesentlich und erfordern eine eingehendere Berücksichtigung, weil analog zu dem etwa durch Agassi (1966) oder Bunge (1966b, 1985b) herausgestellten Verhältnis von Wissenschaft und Technologie entsprechend *technologische Ontologien* in einem systematischen Bezug zu diesen *Scientific Ontologies* stehen. Mit den *technologischen Ontologien* besitzen letztere also nicht etwa eine vernachlässigbare Sonderstellung, sondern bilden vielmehr den direkten Referenzpunkt. Wenn der Referenzpunkt praktischer Ontologien wiederum zweifelsohne wesentlich in *technologischen Ontologien* besteht, wird die exorbitante Rolle von *Scientific Ontologies* deutlich: sie bilden nicht weniger als den Kern bzw. Ausgangspunkt des gesamten Referenzgedankens, der den Referenzontologien zu eigen ist. Sie stehen also gewissermaßen an der Spitze eines Systems von Referenzontologien, was eine *universal* anwendbare Ontologiekonzeption in ihrem Ontologieverständnis entsprechend zu berücksichtigen hat. Diesen Kern kann der

²⁰²⁹ Zum Teil erklären sich diese Unklarheiten mit Pkt. 3.4 dadurch, dass Gruber (1995) gar nicht auf *Wissensrepräsentation*, sondern allein auf *Wissensteilung* im Sinne von *Kommunikationsakten* abstellen will. Insofern könnte man einwenden, dass die hier vollzogene Kritik an der Gruberschen Ontologiekonzeption vollkommen vorbeigeht. Allerdings besteht mit Verweis auf Pkt. 3.2.1 allgemeine Einigkeit darin, dass Ontologiekonzepte nicht allein auf Kommunikationsakte fixiert sind. Auch lässt sich kaum sinnvoll Wissensteilung jenseits der Wissensrepräsentation praktizieren. Wie weiter unten dargestellt, wird bei Gruber *Ontologie* im linguistischen Sinne auf ein *Vokabular* und entsprechende linguistische Definitionen reduziert, wie es für *Lightweight-Ontologien*, nicht aber für *Heavyweight-Ontologien* kennzeichnend ist. Sowohl für Zwecke der Superintelligenz als auch bereits für heutige Zwecke der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist ein solch auf reine Kommunikationsakte abstellendes Ontologieverständnis unbrauchbar. Es bleibt unklar, warum Grubers Ontologiekonzept als *AI-Ontologieverständnis* deklariert wird, wenn es gerade an Grundgedanken Artifizierlicher Intelligenz in entscheidender Weise vorbeiläuft; vgl. hierzu im Einzelnen die Kritik in Pkt. 3.4.

²⁰³⁰ Die OBO-Foundry (<http://www.obofoundry.org>) »is a collaborative experiment involving developers of *science-based ontologies* who are establishing a set of principles for ontology development with the goal of creating a suite of orthogonal *interoperable reference ontologies* in the biomedical domain«, vgl. Sulivan (2012: 614), Hvh. des Verf.

linguistische OE-Ansatzpunkt offensichtlich nicht sachgerecht adressieren, weil er nicht am Gedanken objektiven Wissens orientiert ist – resp. in einer mittlerweile vollständig überholten Wissenschaftssicht die Möglichkeit objektiven Wissens überhaupt angezweifelt wird. Es steht außer Frage, dass die Ontologiedebatte der Informatik über ihre gesamten fünf Jahrzehnte an diesen eigentlich entscheidenden Fragen mehr oder weniger vollständig vorbeigeführt wurde.

Zweifellos stehen solche *Scientific Ontologies* in einem umfassenden Kontext wissenschaftstheoretischer, insbesondere methodologischer Fragestellungen. Diese erfahren nicht nur erst dadurch Relevanz, dass auf AI-Basis im Zuge von *Scientific Ontologies* neues Wissen generiert oder altes in Frage gestellt wird, indem es etwa als logisch widersprüchlich identifiziert wird. Da eine AI-basierte Wissenschaftspraxis gerade auch auf die Falsifikation wissenschaftlicher Hypothesen angelegt sein sollte, laufen wissenschaftlich fundierte Referenzontologien notwendig auf eine objektive Wissenschaftspraxis hinaus. Diese kommt gewiss nicht an zentralen wissenschaftstheoretischen Beiträgen wie etwa jenen von Hempel (1942), Hempel/Oppenheim (1948) oder Popper (1963a) wie an der unendlichen Zahl darauf aufbauender Diskussionen vorbei. Für den linguistischen OE-Ansatzpunkt sind diese jedoch qua Fixierung auf die logische Analyse rein sprachlicher Konstrukte letztlich mehr oder weniger gegenstandslos. Das gilt darüber hinaus auch insofern, als sich solche Analysen kaum noch im Sinne Carnaps (1931a, 1931b) an der wissenschaftlichen Sprache orientieren, sondern zunehmend an problematischer Alltagssprache bzw. Common Sense.

Wird jedoch umgekehrt die Möglichkeit *objektiven Wissens* eingeräumt, resultiert daraus notwendig die Unzweckmäßigkeit wie methodologische Unzulänglichkeit des Gruberschen Ontologieverständnisses – wie auch jener adaptierten Konzepte, die in dieser Tradition vorgelegt wurden. Vor diesem Hintergrund besteht das Problem der Informatik mit Verweis auf Pkt. 3.2.3 darin, dass sie jenseits der TLO-Ansätze nach fünf Jahrzehnten in weiten Teilen nicht über den Stand der primitiven *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) der AI-Frühzeit hinausgekommen ist. Dabei bezieht sich die hier vollzogene Kritik nicht nur auf Genesereth/Nilsson (1987) oder Gruber (1993, 1995) selbst. Denn es steht außer Frage, dass der wissenschaftliche Prozess von der Vielfalt eingebrachter Ideen lebt. Andererseits ist dieser wissenschaftliche Prozess aber genauso wesentlich auf deren aktive Selektion im Zuge rigoroser Kritik angewiesen. Daher richtet sich die Kritik an die gesamte wissenschaftliche Gemeinschaft, denn sie ist es, die mit unzähligen Beiträgen solche Ontologiekonzeptionen in wenig bis gar nicht reflektierter Weise übernimmt und weiter verbreitet. Das kann über kurz oder lang im Ergebnis dazu führen, dass nachrückende Fachvertreter meinen, dass es sich dabei um eine methodologisch wie technisch belastbare Grundlegung der Informatik handelt, da sie offenbar allseits akzeptiert wird. In Wirklichkeit ist aber genau das Gegenteil der Fall: tatsächlich sind sämtliche der bisher vorgebrachten Ontologiekonzeptionen methodologisch wie technisch kaum belastbar. Entweder

sind sie einseitig an speziellen Zwecken wie *Scientific Ontologies* orientiert,²⁰³¹ die sie für andere, etwa technologische Zwecke disqualifizieren, oder aber sie besitzen – wie am Fall Grubers in Pkt. 3.4 im Einzelnen erörtert – schwere methodologische wie technische Mängel. Diese sind von direkter Praxisrelevanz, da sie in praxi bei hochautomatisierten komplexen Systemen wie der *Smart Factory* folgenschwere Konsequenzen bedingen können.

Tatsächlich zeigen sich die meisten der vielzähligen Ontologiekonzepte der Informatik unter ontologischen, epistemologischen und methodologischen Gesichtspunkten nicht minder schwach fundiert wie jene von Genesereth/Nilsson (1987) oder Gruber (1993, 1995). Zumeist gibt es diese Fundamente – wie bei Gruber – gar nicht, oder aber es fehlt die Argumentation, warum genau das jeweilige Fundament im Sinne einer *universalen Ontologiekonzeption* für die Informatik tatsächlich zweckmäßig sein soll. Genauer besehen wurde diese Frage bisher eigentlich nie gestellt, während sie mittlerweile in den Mittelpunkt der Disziplin gehört. Denn dieser Mittelpunkt ist im Zuge ihrer ontologischen Revolution für die Ontologie in ihrer elementaren Relevanz für Daten, Informationen und Wissen insgesamt zu reklamieren. – Selbst dann, wenn im Fall von Smithens BFO-TLO eine eingehendere Diskussion vollzogen wird, bleiben regelmäßig wesentliche Zwecke der Informatik unberücksichtigt, weil sie nicht dem Fokus der jeweiligen Ontologiekonzeption entsprechen.²⁰³² Für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) auf Grundlage der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* kann darin offensichtlich keine Grundlage bestehen: es gibt für sie bislang keine tragfähige Ontologiekonzeption.

Während sich Mealys (1967) Ontologie auf die Datenmodellierung, nicht auf die AI-Wissensrepräsentation bezieht, kommt "Ontologie" in der AI-Disziplin das erste Mal mit McCarthy/Hayes (1969) ins Spiel. Wie oben erwähnt, sprechen sie allerdings nicht von dieser, sondern unmissverständlicher von "Metaphysik", wobei das Streben nach striktem Realitätsbezug indiziert ist, wenn es heißt: »A representation is called *metaphysically adequate* if the world could have that form *without contradicting the facts* of the aspect of *reality* that interests us«. ²⁰³³ Die AI-Disziplin wäre gut beraten, sich an dieser erstmaligen Konzeption metaphysischer AI-Ontologie zu orientieren und McCarthy/Hayes (1969) als jene Grundlage zu verstehen, durch die die AI-Tradition erst als echte Disziplin begründet wird. Unter dem letztlich ausschlaggebenden Gesichtspunkt der *Superintelligenz* besteht darin die einzig konsequente Schlussfolgerung, weil nur unter ihrem Blickwinkel McCartys (1995) "*general world view*" sachgerecht konzipiert ist.²⁰³⁴ Analog dazu macht die *Na-*

²⁰³¹ Natürlich bedeutet Ontologie für die Informatik weit mehr als den Gedanken von Smithens *Scientific Ontologies*; es bedarf einer Systematik, die diese mit technologischen und praktischen Ontologien in einem einheitlichen Schema zusammenbringt.

²⁰³² Das gilt bei Smithens BFO-TLO etwa für ontologiebasierte Innovationsprozesse insofern, als sie zum einen keine möglichen Welten kennt, zum anderen den Ontologiegedanken von vornherein auf wissenschaftlich-öffentliche Zwecke auslegt, während sich Innovationsprozesse auf Basis entsprechender Produktontologien im Bereich privater Verfügungsrechte und ebensolcher Ontologiekonzeptionen bewegen.

²⁰³³ Vgl. McCarthy/Hayes (1969: 469), Hvh. des Verf.

²⁰³⁴ Die Frage lautet also: welchem Ontologieverständnis und welcher konkreten Ontologiekonzeption bedarf es, um die Entwicklung in Richtung *Superintelligenz* nicht von vornherein zu versperren; vgl. hierzu

tur des Wissens, die letztlich aller AI-Wissensrepräsentation zugrundeliegt, diese Sichtweise genauso unanfechtbar. Denn auf rein linguistischer Basis lässt sich der Natur des Wissens nicht entsprechen, womit sich mit dem zentralen KR-Stellenwert auch keine AI-Disziplin sachgerecht fundieren lässt. Diese Linie wird durch McCarthy (1995, 2000, 2002), dem wohl maßgeblichsten Begründer der AI-Programmatur, auf den auch der Begriff *Artificial Intelligence* zurückgeht, entsprechend konsequent vertreten.

Der Beitrag von McCarthy/Hayes (1969) besitzt deshalb eine Schlüsselstellung für die gesamte AI-Programmatur, weil seine Akzeptanz impliziert, dass der heute in der AI-Disziplin vertretene linguistische OE-Ansatzpunkt nicht richtig sein kann. Denn er widerspricht insofern dem metaphysischen Realismus, als dieser ein anderes Vorgehen als eine bloße Fixierung auf sprachliche Konstrukte verlangt. Anders gewendet ist mit dem metaphysischen Realismus impliziert, dass es eine von uns unabhängige erfahrbare Außenwelt gibt, was für extreme Idealisten und radikale Konstruktivisten genauso schwer akzeptierbar ist wie damit verbunden für viele Vertreter des linguistischen OE-Ansatzpunkts. Allerdings berücksichtigen sie dabei nicht, dass darin zugleich die zentralste aller wissenschaftlichen Hypothesen besteht. Denn ohne sie wäre letztlich alle erfahrungswissenschaftliche Forschung in ihren Zusammenhängen *ad absurdum* geführt. Insofern ist es nicht überraschend, wenn es genau *diese* These ist, die durch McCarthy/Hayes (1969: 466) als *erste*, d.h. als grundlegendste ihrer acht AI-Fundamentalthesen präsupponiert wird: »The physical world exists and already contains some intelligent machines called people«. Und solange sie nicht falsifiziert wird, gilt sie. Dabei konfligiert diese erste Fundamentalthese keineswegs mit den tradierten *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) der AI-Frühzeit, solange diese auf einer geeigneten metaphysischen Grundlegung aufbauen.

Ein geeignetes Metaphysiksystem besteht in Whiteheads (1929a) durch die mathematische Logik geprägte Prozessmetaphysik. Sie bringt beides zusammen, indem Whitehead (1929a) im Anschluss an Kants (1781: 12) "Kopernikanische Wende" eine *zweite Kopernikanische Wende* vollzieht. Sie revidiert Kant (1781) insofern, als sie das Primat der metaphysischen Ontologie vor der Epistemologie im Sinne von McCarthy/Hayes (1969) wieder herstellt, ohne dabei jedoch vom konstruktivistischen epistemologischen Aspekt Kants (1781) zu abstrahieren, der für die *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) seit der AI-Frühzeit für die AI-Tradition bis hin zu Gruber (1993, 1995), Guarino (1998) und andere charakteristisch ist. Das erkennende Subjekt ist als Whiteheadsches (1929a) *Subjekt-Superjekt* im Sinne von McCarthy/Hayes (1969) Teil der Natur bzw. Teil der jeweiligen Diskurswelt, und unterliegt dabei im oben erörterten Sinne von Newells (1982) *Knowledge Level* und H.A. Simons (1976b, 1985, 1987b) Rationalitätskriterium naturgemäß wissensbedingter *begrenzter Rationalität*. Mit Whiteheads (1929a) universalen "*sense-data*" eignet sich das *Subjekt-Superjekt* universal für alle Klassen intelligenter Automaten, gerade auch

Pkt. 6.3. Dieser Gesichtspunkt ist für eine dauerhaft stabile Ontologiekonzeption unerlässlich. Allerdings wird die Frage heute so nicht gestellt, womit erhebliche Fehlinvestitionen nicht auszuschließen sind, wenn umfangreiche Ontologiebibliotheken auf einer letztlich instabilen Grundlegung aufbauen.

für CPS-Agentensysteme oder kognitive Robotik. Es bezieht sich auf alle kognitionsbefähigten Organismen, ob sie nun physisch-materieller, als AI- bzw. AL-Organismen rein informatorischer oder aber cyber-physischer Natur sind. Es adressiert also sämtliche Klassen intelligenter Automaten in Leibnizens Automatenuniversum, das auch bei Whitehead ein intelligibles Universum ist, wobei dieses genauso wie alle Organismen als *komplexe Systeme* zu verstehen sind. – Es ist kein Widerspruch, wenn das erkennende Subjekt im Sinne Kantischer Kategorien sich die "Welt" selbst erbaut, es aber eine von diesem unabhängige erfahrbare Außenwelt gibt, die auch ohne erkennende Subjekte fortbesteht. Somit steht außer Frage, dass Seins-Kategorien und Denk-Kategorien komplementärer Natur sind, womit zwischen verschiedenen ontologischen Welten im Sinne von Weltmodellen zu differenzieren ist.

Die Befürworter linguistischer Ontologien auf Grundlage deskriptiver Metaphysik sind nicht nur bei Kant (1781) als ihrem ultimativen Ausgangspunkt stehengeblieben, sondern haben Kant (1781) offensichtlich nicht richtig verstanden.²⁰³⁵ Wenn die Informatik, speziell die Wirtschaftsinformatik, im Zeichen des in ihren Reihen weit verbreiteten Konstruktivismus implizit wie teils explizit etwa mit einem linguistischen Interpretativismus auf die deskriptive Metaphysik setzt, ist diese Fehlinterpretation Kants gerade mit Blick auf die *Top-level Ontologie* als ihrer obersten Ontologieebene von letztlich entscheidender Relevanz.²⁰³⁶ Denn Strawson (1959) bezieht die deskriptive Richtung insbesondere auf Kant,²⁰³⁷ und Kant geht es keineswegs um einen Bruch mit der Metaphysik, sondern allein um ihre Neubegründung: weg von der *reinen* oder *exakten* Metaphysik als rein rationalistischem Unterfangen, an das die Informatik mit ihrer Modalmetaphysik heute wieder erinnert;²⁰³⁸

²⁰³⁵ Kant vertritt zwar in der Tat einen metaphysischen Idealismus, doch ist dieser in keiner Weise mit dem extremen Idealismus Berkeleys (1710) vergleichbar, sondern vollkommen anders geartet. In der Tradition des ersten Grundsatzes der Cartesischen Philosophie mit dem Descartes (1644a: I, 7) entlehnten "*ego cogito, ergo sum*" erbringt Kant (1781: B 275 f.) selbst den Beweis für die Existenz der Außenwelt. Wenn für Kant zudem mit Verweis auf Pkt. 4.1 die Notwendigkeit der Metaphysik als solcher außer Frage steht, entpuppt sich die gesamte Debatte um den *metaphysischen Realismus*, wie sie unter expliziter Bezugnahme auf Kant durch die Verfechter der deskriptiven Metaphysik geführt wird, offensichtlich als Scheindebatte. Was Kant (1781) in seiner *Kritik der reinen Vernunft* im Zeichen des metaphysischen Realismus kritisiert, ist etwas ganz anderes, nämlich die Einnahme eines "Gottesstandpunkts" bezüglich der Außenwelt, wie es zu Kants Zeiten zuweilen praktiziert wird. Kants (1781) *Kritik* ist gewiss konsequent in ihrer Zeit zu sehen. Im Sinne der durch ihn bemühten Devise "*sapere aude!*" ist mit Kant (1784) darauf hinzuweisen, dass es nicht zuletzt um geistige Selbstbefreiung jener Aufklärung geht, als deren letzter großer Vorkämpfer Kant selbst zu erachten ist; vgl. hierzu im Einzelnen Fn. 2581.

²⁰³⁶ Wenn Becker/Niehaves/Pfeiffer (2008) ihre Argumentationen mit der BWW-TLO gleichzeitig auf Bunges *Wissenschaftlichen Realismus* und dem *Methodischen Konstruktivismus* resp. *linguistischen Interpretativismus* Kamlah/Lorenzens (1984) gründen lassen, ist damit offensichtlich keine in sich konsistente Argumentationsbasis gegeben. Denn zweifelsohne sind immer die *gesamten* philosophischen Systeme zu veranlassen, und somit handelt es sich um vollkommen disparate und vor allem inkompatible Positionen.

²⁰³⁷ Vgl. hierzu auch Strawsons (1981) Kommentar zu Kants *Kritik der reinen Vernunft*.

²⁰³⁸ Im Vorgriff auf Pkt. 4.1 sei festgestellt, dass sich die Informatik mit ihrer Orientierung an der *analytischen Metaphysik* auf eine Metaphysikvariante bezieht, der Van Fraassen (2002) in seiner Fundamentalkritik zu Recht bescheinigt, dass sie einen Rückfall in einen Metaphysikstil bedeute, wie er im siebzehnten Jahrhundert praktiziert worden ist; vgl. zur Replik Van Inwagen (2007a). Tatsächlich geht diese mit Verweis auf Pkt. 4.1 in Richtung der *reinen* oder *exakten* Metaphysik; auf gleicher Linie wie Van Fraassen (2002) kritisieren auch Maclaurin/Dyke (2012) jenen Teil der analytischen Metaphysik, der *nicht-naturalistisch* ist. Dabei ist jedoch auch *ihre naturalistische analytische Metaphysik* der in Pkt. 4.1 dis-

hin zu einer *ratio-empirischen* Variante, wie sie demgegenüber für die *Technoscientific Metaphysics* kennzeichnend ist. Um diese kommt die Informatik im SEI-Szenario umfänglich semantischer Interoperabilität auf Basis eines CPSS-adäquaten Ontologieverständnis letztlich nicht umhin. Einstein (1934) hat die Kantische Kritik richtig gedeutet, während Whitehead (1929a) bereits die zu ihrer Auflösung notwendige Wende zur komplexitätsorientierten *Technoscientific Metaphysics* vollzieht, worauf wir in Pkt. 4.1 zurückkommen.

Während sich bei Maur (2009) die Probleme einer konstruktivistischen Wirtschaftsinformatik bereits andeuten, zeigen sie sich vor allem dann, wenn sich die Ontologiefrage immer für die Informatik insgesamt stellt – und vor allem auch ihre Lösungen für die Informatik insgesamt zu suchen sind. Und dann ist evident, dass es dabei nicht lediglich um gestaltungsorientierte Technologie geht. Tatsächlich wird mit dem Gedanken der Referenzontologie wie damit verbunden mit den *Scientific Ontologies* offensichtlich, dass es zu kurz greift, epistemologische und methodologische Fragen auf den technologischen Standpunkt einschränken zu wollen. Vielmehr sind diese im Sinne Agassis oder Bunges parallel in den Kontext von Wissenschaft, Technologie und Praxisvollzug zu stellen. – Entsprechend ist eine ontologische Gesamtlösung zu suchen, die insbesondere mit Verweis auf das Inkommensurabilitätsproblem gewiss nicht zum Methodischen Konstruktivismus führt. In der Tat gewinnen jene methodologischen Aspekte, die insbesondere Popper im Zuge des Kritischen Rationalismus herausgestellt hat, umso mehr an Relevanz, je mehr autonome AI-Systeme auf *Scientific Ontologies* zurückgreifen. Mit steigender Intelligenz wird dies in zunehmender Weise der Fall sein. Entsprechend muss es gelten, das eigentliche AI-Fundament in wissenschaftstheoretischer, epistemologischer und insgesamt metaphysischer Hinsicht anhand dieser Leitlinie zu entwickeln.

Mit dem *Subjekt-Superjekt* gelingt es Whitehead (1929a), Objektivismus und Subjektivismus zu versöhnen. In der Prozessmetaphysik ist der metaphysische Realismus entsprechend genauso gesetzt wie das, was H.A. Simon (1976b, 1985, 1987b) und Prigogine (1993a) später im Kontext komplexer Systeme wie im Zeichen begrenzten Wissens als *begrenzte Rationalität* herausstellen. Denn diese gilt insbesondere auch für Whiteheads *Subjekt-Superjekt*. In diesem Sinne ist Whiteheads (1929a) *zweite Kopernikanische Wende* letztlich gar als konsequente Fortentwicklung des Kantischen Werks verstehbar. Das gilt auch insofern, als die *Natur der Außenwelt* bereits durch Kant (1790) im Zeichen jenes *Selbstorganisationsprinzips* ausgelegt wird, das später durch Schelling (1797, 1799) näher erörtert wird und schließlich für das Whiteheadsche (1929a) Werk gänzlich bestimmend ist.²⁰³⁹ In Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik besteht neben all ihren anderen Synthesen und ihrem Ratio-Empirismus aber auch deshalb der größte aller metaphysischen Ent-

kutierten *wissenschaftlichen bzw. techno-wissenschaftlichen Metaphysik* in grundsätzlicher Hinsicht insofern unterlegen, als erste nicht von transdisziplinärer Gestalt ist; vgl. zur Kritik ihrer Unterscheidung der *naturalistischen vs. nicht-naturalistischen analytischen Metaphysik* McLeod/Parsons (2013), vgl. zur Replik Dyke/Maclaurin (2013) sowie hierzu ergänzend J. Ritchie (2010).

²⁰³⁹ Whitehead (1929a) spricht nicht von Selbstorganisation, sondern von Selbsterschaffung ("self-creation") oder Selbstverursachung ("self-causation"), was jeweils treffender erscheint.

würfe, weil es ihm darüber hinaus gelingt, den metaphysischen Realismus und Idealismus auszusöhnen. Sie bilden hier keine echten Gegensätze mehr, indem subjektivistische und objektivistische Gesichtspunkte vereint sind. Das wird im Hinblick auf die Wissensontologie durch das Poppersche Werk komplettiert, dessen Charakteristik in verschiedener Hinsicht mit der Whiteheadschen (1929a) Prozessmetaphysik – auch explizit – korrespondiert.

Darüber hinaus werden durch die Befürworter linguistischer Ontologien jene maßgeblichen Entwicklungen verkannt, die sich in der Analytischen Philosophie als ihrer zentralen Bezugsbasis mit ihrer Hinwendung zur *analytischen Metaphysik* vollzogen haben.²⁰⁴⁰ Wie erwähnt, muss es fraglich erscheinen, ob sie Kant (1781) wirklich verstanden haben, wenn sich Verfechter der linguistischen Ontologie wie Guarino/Guizzardi (2006: 121 ff.) als Konstruktivisten und Proponenten von Strawsons (1959) deskriptiver Metaphysik gerade auf ihn als ultimativen Bezugspunkt beziehen. Denn das, was die Vertreter der linguistischen Position "Ontologie" nennen, ist für Kant gar nicht Ontologie; vielmehr folgt Kant in dieser Sache der klassischen Systematik Wolffs (1730), auch wenn er ihr – im strikten Gegensatz zu Wolff (1730) – lediglich propädeutischen Charakter zumisst. Das, was linguistische Ontologen wie Gruber als "Ontologie" verstehen, ist für Kant (1781) vielmehr *konzeptuelles Schema*; Ontologie bleibt für Kant demgegenüber Ontologie im klassisch-metaphysischen Sinne.²⁰⁴¹ Zuweilen wird diesem Umstand in der AI-Disziplin auch Rechnung getragen, wenn offen und explizit eingeräumt wird, dass es sich bei den linguistischen *AI-Ontologien* in Wahrheit um *konzeptuelle Schemata* im Sinne Kants (1781) handelt.²⁰⁴² Genauso wird in der AI-Disziplin zugegeben, dass der Begriff "Schema" eigentlich jenem der "Ontologie" in sachlicher Hinsicht vorzuziehen wäre.²⁰⁴³ Allerdings hält dies Guarino (1998) nicht davon ab, die Begriffe "Schema" und "Ontologie" genau umgekehrt zu verwenden, wobei diese Position auch noch mit Guarinos (1995) bisheriger Ontologiekonzeption inkonsistent ist. – Insgesamt wird offensichtlich, dass Seins-Kategorien nicht nur nicht notwendig den Denk-Kategorien Kantischer konzeptueller Schemata widersprechen, sondern vielmehr, dass beides zusammengehört. Dass diese Kategorien aufeinander zu beziehen sind, wird indessen erst vor dem Hintergrund der durch Whitehead (1929a) vollzogenen zweiten Kopernikanischen Wende richtig nachvollziehbar. Denn erst mit ihr gelingt es, das subjektivistische Moment der Analytischen Philosophie mit dem objektivistischen Moment der analytischen Metaphysik in einer Synthese zu vereinen. Das gilt unabhängig von der Tatsache, dass sich Whitehead (1929a) nicht im eigentlichen Sinne diesen Strö-

²⁰⁴⁰ Vgl. exemplarisch Ashenhurst (1996) oder W. Hesse (2002).

²⁰⁴¹ Analog zum *a priori* Bezug des konzeptuellen Schemas im Kantischen kritischen Idealismus fungiert es *a posteriori* in Reschers (1994) pragmatischen Idealismus. Auch Rescher differenziert entsprechend strikt zwischen dem im Erkenntniszusammenhang stehenden konzeptuellen Schema und Ontologie, die bei ihm Prozessmetaphysik ist. Vgl. zum *konzeptionellen Schema* Rescher (1980); zur *Ontologie* Rescher (1962, 1996, 2000a, 2000b).

²⁰⁴² Vgl. etwa F. Lehmann (1996: 29) sowie Kayed/Colomb (2005).

²⁰⁴³ Vgl. Wielinga et al. (1993: 23): »We prefer to use the term 'schema' rather than 'ontology' to stress the fact that the domain theory is the product of knowledge engineering and thus does not necessarily describe an inherent structure in the domain (as the word 'ontology' would suggest)«.

mungen zurechnen lässt, während wesentliche Aspekte ihres idealsprachlichen Teils wie der analytischen Metaphysik – auch über Whitehead-Schüler wie Quine, Davidson oder Goodman – nicht zuletzt auf seinem Gesamtwerk basieren.

Kommen wir nach der notwendig ausführlicher zu führenden Diskussion der ersten AI-Fundamentalthese von McCarthy/Hayes (1969: 466) auf ihre weiteren Thesen zu sprechen. Dabei zeigt sich, dass ihre zweite These ähnlich grundlegend ist, indem sie als explizite AI-These die heutigen Entwicklungen um intelligente CPS und kognitive Robotik vorwegnimmt, wenn sie konstatieren: »Information about this world is obtainable through the senses and is expressible internally«. ²⁰⁴⁴ Mit ihrer dritten These stellen sie schließlich auf die Natur des Wissens wie auf verschiedene relevante Wissensarten ab, wenn sie zwischen Alltagswissen und wissenschaftlichem Wissen differenzieren. Im Kontext der beiden vorgenannten Thesen wird hier festgestellt: »Our common-sense view of the world is approximately correct and so is our scientific view«. Ihre vierte und fünfte These zielt schließlich auf ein *umfassendes philosophisches System*, auf dem die AI-Disziplin aufzubauen hat; mit ihrer vierten These haben sie dabei offenbar nicht weniger als ein in sich geschlossenes metaphysisches wie epistemologisches System im Sinn. Da es zu dieser Zeit noch keine *Top-level Ontologie* gibt, deren Entwicklung erst knapp zwanzig Jahre später mit Wand/Webers (1988, 1989b) BWW-TLO einsetzt, lässt sich diese vierte und fünfte These von McCarthy/Hayes (1969) *ex post* in Korrespondenz mit ihren bereits oben erwähnten *metaphysisch adäquaten Repräsentationen* so verstehen, dass die AI-Disziplin resp. die AI-Ontologie notwendig auf eine *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik zu referenzieren hat. Während es bei These sechs und sieben um hier nicht zwingend relevante metaphysische Sachverhalte geht, hat es These acht genauso in sich; mit ihr wird klar, dass der *Common Sense View* der Diskurswelt allein improvisatorischen Charakters ist; in seiner Definition ist nur deshalb eine Aufgabe zu sehen, um überhaupt einen ersten Zugang zur Wissensrepräsentation spezifischer Welten zu finden. Und bereits dies sei, so konstatieren McCarthy/Hayes (1969: 467) »a very difficult task in itself«. Indem sie in ihrem wegweisenden Beitrag auch auf wissenschaftliche Schlüsseltheorien wie die Quantenmechanik abstellen, steht jedoch außer Frage, dass sie dies lediglich als ersten, provisorischen Schritt verstanden wissen wollen. Das liegt auf einer Linie mit McCarthy's (2000: 45) Votum für die Ontologiekonzeption Quines, der ein strikter Naturalismus und Empirismus zugrundeliegt. ²⁰⁴⁵ In entsprechender Weise sollte die später durch Hayes (1979, 1985a, 1985b) entwickelte *Naïve Physics* aufgefasst werden, nämlich allenfalls als Propädeutik, wenn es um die Frage des Ontologieverständnisses, des Ontologiebegriffs und der Ontologiekonzeption an sich geht. Dabei ist die eigentliche Motivation ihrer Einführung in Erinnerung zu rufen: Hayes (1979) bemüht die *Naïve Physics* genau aus dem Grunde, um endlich mit "*nontoy worlds*" experimentieren zu können; die Motiva-

²⁰⁴⁴ McCarthy/Hayes (1969: 466).

²⁰⁴⁵ Vgl. hierzu Pkt. 5.1.

tion des *Common Sense View* ist also wesentlich darin zu sehen, dass mit der klassischen AI-Tradition, die für Hayes (1979: 242) »full of 'toy problems'« ist, gebrochen werden soll. Dabei ist schon Hayes (1985c: 16) klar, dass selbst die *Naïve Physics* nicht ohne Metaphysik auskommt. Insofern sind linguistische *Common Sense-Ontologien* als nicht mehr und nicht weniger als eine notwendige Evolutionsstufe der AI-Tradition zu sehen, die zur Realisierung tatsächlich intelligenter Systeme heute notwendig in eine nächste überzugehen hat: in jene realweltlicher, ratio-empirischer techno-wissenschaftlicher Metaphysik. Die *metaphysisch adäquaten Repräsentationen* bei McCarthy/Hayes (1969) sind adäquat im Sinne dieses Metaphysiktypus zu verstehen. Agentenbasierte AI-Systeme *universaler Intelligenz* erfordern entsprechend nicht nur die Ontologie im *epistemischen* AI-Sinne (z.B. DOLCE), sondern genauso die Ontologie im *ontischen* AI-Sinne (z.B. BFO).^{2046, 2047} Vor allem aber benötigen agentenbasierte AI-Systeme *universaler Intelligenz* diese und andere heterogenen Ontologietypen auf Basis eines universalen Fundaments *integriert*, worauf erst CYPO FOX als integrierte Ontologiekonzeption in Pkt. 3.5 abstellt.

Die fundamentalen Fehlentwicklungen der AI-Disziplin setzen damit ein, dass die Bedeutung der *Naïve Physics* insofern überschätzt wird, als man meint, auf ihr bzw. dem *Common Sense* insgesamt das AI-Ontologieverständnis begründen zu können. Weitaus problematischer gestaltet sich indessen eine zweite Entwicklung, nämlich eine primär auf Logik abstellende AI-Programmatur, wie sie durch Genesereth/Nilsson (1987) vertreten wird. Auch wenn sie noch auf McCarthy/Hayes (1969) rekurrieren, wird mit ihrer Programmatur, die am gleichen *Computer Science Department* der Stanford University entwickelt wird, in fundamentaler Weise gebrochen. Dieser Bruch zeigt sich dadurch, dass an Stelle des *metaphysischen Logizismus* bei McCarthy/Hayes (1969) ein rein *analytischer Logizismus* bei Genesereth/Nilsson (1987) tritt. Diese Substitution geht bei Genesereth/Nilsson (1987) mit der ausdrücklichen Aufgabe des metaphysischen Realismus einher, der die Programmatur von McCarthy/Hayes (1969) noch als erste ihrer acht AI-Fundamentalthesen durch und durch bestimmt. Mehr noch: sie geben den Realismus insgesamt auf, genauso wie den Nominalismus. Denn fortan spielen weder der Universalienstreit noch die für die klassische Ontologie wesentlichen Universalien überhaupt eine Rolle:

»[N]o attention has been paid to the question of whether the objects in one's conceptualization of the world really exist. We have adopted neither the standpoint of *realism*, which posits that the objects in one's conceptualization really exist, nor that of *nominalism*, which holds that one's concepts have no necessary external existence. Conceptualizations are our inventions, and their justification is based solely on their utility. This lack of commitment indicates the essential ontological promiscuity of AI: Any conceptualization of the world is accommodated, and we seek those that are useful for our purposes.«²⁰⁴⁸

Mit Genesereth/Nilsson (1987) kommt es in der AI-Ontologie zu einer entscheidenden Wende, indem vollständig mit der klassischen Ontologie gebrochen wird. Diese *linguistische Wende* (linguistic turn), die nach der Philosophie nunmehr mit ihnen auch in der In-

²⁰⁴⁶ Vgl. hierzu auch Abdoullaev (1997).

²⁰⁴⁷ Das ontische Moment gründet bei der BFO auf einem *immanenten Realismus*.

²⁰⁴⁸ Genesereth/Nilsson (1987: 13).

formatik vollzogen wird, entpuppt sich jedoch als fataler Irrtum: Denn mit diesem kapitalen Fehlschritt wird der Weg zu einer sachgerecht konzipierten Top-level Ontologie einerseits, wie zu einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption andererseits systematisch verbaut; vielmehr kehrt man mit dieser AI-Programmierung gewissermaßen zu den durch Hayes (1979) kritisierten "toy worlds" der AI-Frühzeit zurück. Wie mit Pkt. 4.4 deutlich werden wird, kommt die Ontologiediskussion der Informatik weder an Universalien noch an einer Position im Universalienstreit vorbei. Denn dieser ist fundamental, weil er darüber entscheidet, *was wie* zu repräsentieren ist. Die Konfusion um die Ontologie der Informatik ist nicht zuletzt auch dadurch bestimmt, dass dieser Universalienstreit seit Mealy (1967) mit samt allen Positionen in der Informatik in seiner ganzen Breite existent ist.²⁰⁴⁹ Auch liegen die Unterschiede zwischen gängigen TLO-Ansätzen wie BFO und DOLCE nicht zuletzt wesentlich in der Universalienfrage begründet, wenn BFO strikt auf der Basis des *aristotelischen immanenten Realismus* steht, während es sich bei DOLCE um einen *platonistischen Realismus* handelt. Demgegenüber verkörpert die Sowa-TLO beide Positionen, indem sie in dieser Sache auf Whitehead (1929a) aufbaut. Tatsächlich kann auch in der Universalienfrage die Lösung nur in Whiteheads Synthese bestehen.

Mit Genesereth/Nilssons (1987) *linguistischer Wende* (linguistic turn) der Informatik, die in der Philosophie bereits seit langem mit dem Wiedererstarken der klassischen Metaphysik korrigiert worden ist, geht es bei linguistischen AI-Ontologien fortan nicht mehr um Universalien, nicht mehr um Metaphysik, sondern um *rein sprachliche Konzepte bzw. Konzeptualisierungen* und damit um eine ganz neue Art von "Ontologie". Es stehen jene rein epistemologischen Weltmodelle im Fokus, wie sie sich ähnlich in Form der apriorischen Denk-Kategorien bereits bei Kant (1781) finden. Wenn bei Genesereth/Nilsson (1987) an die Stelle metaphysischer Universalien linguistische *Konzepte* und entsprechende *Konzeptualisierungen* treten, ist das für die AI-Disziplin von folgenreicher Konsequenz, denn damit avanciert sie unversehens zur rein linguistischen Tradition. Dem Umstand, dass Ontologie nicht mehr im philosophisch-metaphysischen Sinne, sondern in einem davon unabhängigen rein linguistischen Sinne verstanden wird, tragen Neches/Fikes/Finin/Gruber et al. (1991: 40) entsprechend auch definitorisch Rechnung, wenn nunmehr gilt: »An ontology defines the basic terms and relations comprising the vocabulary of a topic area as well as the rules for combining terms and relations to define extensions to the vocabulary«. Dabei wird dieses Ontologiekonzept durch verschiedene AI-Arbeitsgruppen an der Stanford University geteilt, etwa durch die *Interlingua Working Group*, die zu dieser Zeit durch Fikes und Genesereth geführt wird, oder durch die *Shared, Reusable Knowledge Bases Group*, die Gruber und Tenenbaum zur gleichen Zeit leiten.²⁰⁵⁰

Wenn im Zeichen der Ontologiekonzeption Genesereth/Nilssons (1987) fortan die *linguistische* Ontologie im Fokus der Informatik steht, bedeutet das nicht nur an sich einen

²⁰⁴⁹ Vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 4.4.

²⁰⁵⁰ Vgl. hierzu auch Swartout et al. (1993).

Rückschritt. Vielmehr stellt sich dieser in gleich fünffacher Hinsicht als fataler Irrtum für die Disziplin dar. Gerade auch mit Blick auf die Zwecke der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* handelt es sich um eine grundsätzliche Fehlentwicklung, weil sich auf ihr in diesen fünf im Folgenden erörterten Hinsichten nicht aufbauen lässt:

- i. In universaler Hinsicht gilt, dass mit einer solch linguistischen Ontologie jeder systematische Rekurs auf eine *universale*, d.h. *metaphysische* Top-level Ontologie verwehrt ist, der jedoch durch Steimann/Nejdl (1999) und andere für die AI-Wissensrepräsentation zu Recht als notwendig erachtet wird. Allenfalls besteht hier die Möglichkeit auf *linguistische* Top-level Ontologien Bezug zu nehmen, wie sie etwa in bewusster Abgrenzung zur "*linguistic ontology*" (LO) zuweilen als "*conceptual ontology*" (CO) konzipiert werden.²⁰⁵¹ Solche linguistischen TLO-Ansätze sind aber letztlich für sich genommen nicht tragfähig, wie es etwa auch Hirst (2009) bemerkt hat. Denn erstens sind sie nicht imstande, ihre regelmäßig unvollständigen Klassen und Kategorien zu begründen, weil sie nicht über ein geschlossenes, in sich konsistentes und erprobtes metaphysisches Kategoriensystem verfügen. Zum anderen wird die Vielzahl an meta-ontologischen Kriterien nicht expliziert, auch wenn diese in jeder Ontologie immer implizit gegeben sind. Somit ist eine solche "*conceptual ontology*" nicht richtiggehend kritikabel und damit schon aus methodologischen Erwägungen abzulehnen.
- ii. In technologischer Hinsicht spielen reale physische Welten eine zentrale Rolle, wenn Systeme des Pervasive resp. Ubiquitous Computing, CPS bzw. CPPS der Smart Factory oder die kognitive Robotik etwa über Multisensorsysteme bzw. Aktoren unmittelbar wie intensivst mit ihren realen Umwelten interagieren. Die Informationsfusion und Prozessintelligenz solcher AI-Systeme bezieht sich somit auf reale Welten, nämlich auf *physische Universen*, die auf die Ontologie im klassischen Sinne angewiesen sind: sei es als regionale, etwa physikalische Ontologie, oder aber als universale Ontologie. Dabei steht außer Frage, dass Entwicklungen in Richtung Superintelligenz hier automatisch so lange verwehrt sind, wie diese autonom in physischen Welten operierenden Systeme nicht über das verfügen, was McCarthy (1995) als "*general world view*" für sie eingefordert hat. Demgegenüber beziehen bereits Fikes/Nilsson (1971) ihre *Weltmodelle* auf die *realweltliche* Robotik, ohne sich dabei jedoch mit der *evolvierenden Realität* als solcher auseinanderzusetzen; offensichtlich kommt man aber ohne den notwendigen realweltlichen Bezug dabei nicht weit. Entsprechend greift die heutige autonome Robotik im Allgemeinen auch auf andere, nämlich realistische bzw. metaphysische Ontologiekonzepte zurück. Dabei fordert die evolvierende Realität zwangsläufig ein *universales cyber-physisches Evolutionsparadigma* ein, das für sämtliche wissenschaftlichen, technologischen und praktischen

²⁰⁵¹ Vgl. hierzu Gatus/Rodriguez (1999), Pierra (2004) sowie Jean et al. (2006).

Zwecke genauso universal zu konzipieren ist wie das Ontologieverständnis an sich. Jede eingehendere Reflexion offenbart, dass dies mit Verweis auf Pkt. 4.1 nur auf Basis eines einheitlich vorausgesetzten techno-wissenschaftlichen Metaphysiksystems gelingen kann, zumal ein Evolutionsparadigma immer Komplexitätsaspekte bedingt, denen ontologisch im Sinne komplexer Entitäten zu entsprechen ist.

- iii. In wissenschaftlicher Hinsicht handelt es sich um eine ebenso folgenschwere Fehlentwicklung, wenn die AI-Wissensrepräsentation Einzug in die Realwissenschaften hält und dabei insgesamt auf eine *transdisziplinäre* Konzeption hinauslaufen muss. Denn im Sinne des Ratio-Empirismus techno-wissenschaftlicher Metaphysik zeigt sich diese durch *universale metaphysische* Kategorien geprägt, während sich auf der Grundlage linguistischer Ontologien das Inkommensurabilitätsproblem nicht nur nicht überwinden lässt, sondern es vielmehr noch entscheidend verschärft wird.
- iv. Wenn Cutkosky/Engelmore/Fikes/Genesereth/Gruber et al. (1993) mit der Systemintegration im *Concurrent Engineering* (CE) experimentieren, es also mit dem *Simultaneous Engineering* nicht nur um den Einsatz alternativer Konstruktionstechniken (DFX) geht, sondern gerade auch die umfassende Kombination wissenschaftlichen und technologischen Wissens eine zentrale Rolle für die AI-Ontologie spielt, kommt die bereits genannte Kritik in Bezug auf die *Scientific Ontologies* zum Tragen. Tatsächlich werden die gerade entscheidenden Aspekte durch die genannten Autoren erst gar nicht vertieft.
- v. Indem Cutkosky/Engelmore/Fikes/Genesereth/Gruber et al. (1993) zu der Erkenntnis gelangen, dass mit der Systemintegration im *Concurrent Engineering* (CE) umfassende Belange der *Enterprise Integration* (EI) bzw. *Enterprise Architecture* (EA) berührt sind, kommt ein weiteres Problem für sie ins Spiel. Denn für solche EA- bzw. EI-Aspekte ist wiederum die *konzeptuelle Modellierung* mitsamt ihrer TLO-basierten ontologischen Evaluierung und Fundierung maßgeblich. Dabei kommen jedoch in aller Regel *realistische* TLO-Ansätze zum Einsatz, weil sich die konzeptuelle Modellierung im Fall der *Enterprise Integration* (EI) immer auf *Realwelten* bezieht. Entsprechend verstellt die bewusste Loslösung von der Realität durch Genesereth/Nilsson (1987), Gruber (1993) und Nachfolger die damit notwendige sachgerechte Kopplung zwischen realen Prozesssystemen und AI-Wissenssystemen. Anhand von U-PLM-Systemen als *kombinierte Prozess- und Wissenssysteme* wird deutlich, dass beide Sphären zwingend auf Grundlage eines einheitlichen ontologischen Ansatzes zu erschließen sind. Realistische TLO-Ansätze der CM-Sphäre mitsamt ihrer philosophischen Ontologiekonzeption stehen somit linguistischen AI-Ontologien in letztlich inkommensurabler Weise gegenüber. De facto wird also mit der *lingu-*

istischen Wende (linguistic turn), die mit Genesereth/Nilsson (1987) und Gruber (1993) in der AI-Ontologie vollends Einzug hält, die in Pkt. 3.2.4 gerade als unabdingbar herausgestellte Kopplung zwischen CM- und AI-Ontologie in entscheidender Weise konterkariert. Bleibt man hingegen bei der *metaphysischen AI-Ontologiekonzeption* von McCarthy/Hayes (1969), die im Zuge von CPS bzw. CPPS zwangsläufig ihre Rehabilitierung erfahren muss, treten diese Fundamentalprobleme nicht auf. Denn ihr *metaphysischer* AI-Ontologieansatz lässt sich grundsätzlich mit adäquaten *metaphysischen* TLO-Ansätzen der CM-Sphäre koppeln, *prinzipiell* etwa auch mit dem in der CM-Sphäre immer schon populärsten TLO-Ansatz, nämlich der BWW-TLO Wand/Webers (1988, 1990a, 1990b).²⁰⁵² Wie oben erwähnt, ist diese Kopplung von CM- und AI-Sphäre unverzichtbar; bereits seit einigen Jahren verkörpern Ansätze wie die REA-EO gerade im hier relevanten Kontext der *Enterprise Integration* (EI) gleichzeitig explizit eine CM- und eine AI-Dimension in sich. – Indem Cutkosky/Engelmore/Fikes/Genesereth/Gruber et al. (1993) die zentrale Relevanz der *Enterprise Integration* (EI) erkennen, führen sie ihren linguistischen OE-Ansatz schließlich auch insgesamt *ad acta*. Denn gemäß eines zeitgemäßen integrierten CM/AI-Verständnisses muss es um eine *Smart Enterprise Architecture* (SEA) gehen, bei der ODIS dem Ziel der *Smart Enterprise Integration* (SEI) verpflichtet sind. Diese setzt allerdings eine CPSS-Adäquanz der Ontologiekonzeption genauso wie eine revisionäre TLO-Referenz im Sinne der Heavyweight-Ontologie zwingend voraus, woran der linguistische OE-Ansatzpunkt indes prinzipiell scheitert.

Linguistische Ontologien lassen sich mit Verweis auf den in Pkt. 6.2.6 behandelten Konstruktivismus, in dessen Zusammenhang sie in der Informatik zumeist stehen, auch als *konstruktive Ontologien* bezeichnen, weil sie prinzipiell auf ein gestaltendes und kreatives Erschaffen von Artefakten und entsprechend auf eine Veränderung der Umwelt abzielen. Für Ontologien sind Kategorien elementar; diese können aber nicht im Sinne der Kantischen "Kopernikanischen Wende" vollends auf epistemologische Konstruktionsakte reduziert werden. Kant lässt die Welt als Vorstellung dem Subjekt entspringen, was bekanntlich den deutschen Idealismus begründen sollte. Bei ihm bildet nicht mehr die klassische Ontologie, sondern die Erkenntnistheorie den zentralen Ansatzpunkt, was jedoch gerade nicht heißt, dass es erste nicht mehr gibt. Auch Gruber (1993) steht implizit in der Tradition Kants; im Zeichen seiner Konzeptualisierung entspringt auch bei ihm die Welt dem Subjekt, und sie ist letztlich genauso spekulativ. Allerdings entfällt hier im fundamentalen Unterschied zu Kant (1781) sowohl das Bekenntnis zur Existenz der Außenwelt als damit zusammenhängend auch die klassische Ontologie. Vielmehr wird hier Kants *konzeptuelles Schema* unvermittelt zur *Ontologie*, was letztlich einen radikalen Bruch markiert und völlig andere Akzente setzt. Das alles geschieht hier implizit, d.h. ohne Bezug auf Kant; jedoch

²⁰⁵² Allerdings widerspricht die BWW-TLO mit Blick auf die *Modalmetaphysik* McCarthy/Hayes (1969).

wird das, was bei Gruber damit eigentlich verbunden wird, mit dieser Referenz auf Kant am deutlichsten. Im expliziten Rekurs auf Genesereth/Nilsson (1987) – jedoch ganz anders als Kant (1781) – definiert nun Gruber *Konzeptualisierung* und *Ontologie*, wobei beides auf linguistischer Basis eng aufeinander bezogen ist:

»A body of formally represented knowledge is based on a *conceptualization*: the objects, concepts, and other entities that are presumed to exist in some area of interest and the relationships that hold among them [...]. A conceptualization is an abstract, simplified view of the world that we wish to represent for some purpose. Every knowledge base, knowledge-based system, or knowledge-level agent is committed to some conceptualization, explicitly or implicitly. An *ontology* is an explicit specification of a conceptualization. The term is borrowed from philosophy, where an ontology is a systematic account of Existence. For knowledge-based systems, what ‘exists’ is exactly that which can be represented.«²⁰⁵³

Indessen besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen der Gruberschen und der in Pkt. 3.2.4 umrissenen integrierten Ontologiekonzeption, die auf dem IMKO *OCF* gründet. Denn bei Grubers Konzeptualisierungen geht es um *linguistische Begriffsnetze* und nicht um eine im Kontext der Top-level Ontologie stehende realitätsbezogene konzeptuelle Modellierung, die sich auf Basis entsprechender Modellierungssprachen vollzieht. Bei Gruber wird Ontologie im linguistischen Sinne auf ein Vokabular und entsprechende linguistische Definitionen reduziert, wie es für *Lightweight-Ontologien*, nicht aber für *Heavyweight-Ontologien* kennzeichnend ist, womit Gruber ebenfalls falsch liegt.²⁰⁵⁴ »A specification of a representational vocabulary for a shared domain of discourse – definitions of classes, relations, functions, and other objects – is called an ontology«.²⁰⁵⁵ Dabei gilt: »[A]n ontology defines a set of representational primitives with which to model a domain of knowledge or discourse«.²⁰⁵⁶ Unter solchen *begrifflichen Grundformen* (representational primitives) versteht Gruber (2009: 1963) typischerweise Klassen (oder Mengen), Attribute (oder Eigenschaften), sowie Beziehungen (oder Beziehungen unter Klassenmitgliedern). Ihre Definition enthält Informationen über ihre Bedeutung und Einschränkungen zur logisch konsistenten Anwendung. Allerdings abstrahiert das Grubersche (1993, 1995, 2009) Ontologiekonzept dabei gerade von den fundamentalen TLO-Aspekten, und das nicht ohne Grund, weil diese nicht linguistischer, sondern vielmehr *metaphysischer* Natur sind. Solche linguistischen Ontologiekonzeptionen sind typisch für das klassische AI-Verständnis; dieses findet sich auch noch bei Poole/Mackworth (2010), die konstatieren: »An ontology is a specification of the meaning of the symbols used in an information system. It specifies what is being modeled and the vocabulary used in the system«.²⁰⁵⁷ Das umreißen sie an anderer Stelle noch etwas genauer:

»Designers should document the meanings of the symbols so that they can make their representations understandable to other people, so that they remember what each symbol means, and so that

²⁰⁵³ Gruber (1993: 199).

²⁰⁵⁴ Tatsächlich fallen unter *Lightweight-Ontologien* auch etwa einfache Thesauri oder Topic Maps, die jedoch an dem eigentlichen Wesen der *Ontologie* als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* offenbar ganz entscheidend vorbeigehen. Das gilt zumindest, solange sie nicht in einem Bezug zur explikativen *Heavyweight-Ontologie* stehen.

²⁰⁵⁵ Vgl. Gruber (1993: 199).

²⁰⁵⁶ Vgl. Gruber (2009: 1963).

²⁰⁵⁷ Poole/Mackworth (2010: 61), ohne Hvh. des Orig.

they can check the truth of the given propositions. A specification of meaning of the symbols is called an ontology. Ontologies can be informally specified in comments, but they are increasingly specified in formal languages to enable semantic interoperability – the ability to use symbols from different knowledge bases together so the same symbol means the same thing.«²⁰⁵⁸

Mit Alexander/Freiling et al. (1986) geht es bei Ontologien speziell im Rahmen von Problemlösungsprozessen AI-basierter Expertensysteme in Anlehnung an Newell (1982) um das *Engineering der Wissensebene* (Knowledge Level Engineering), bei dem die *Wissensstrukturen* im Vordergrund stehen:

»We use the term [ontology] to emphasize that a knowledge-based system is best designed by careful attention to the step-by-step composition of knowledge structures. An ontology is a collection of abstract objects, relationships and transformations that represent the physical and cognitive entities necessary for accomplishing some task.«²⁰⁵⁹

Gemäß Grubers (1993: 199) bereits oben zitiertes Ontologiekonzeption gilt: »An *ontology* is an explicit specification of a conceptualization«, wobei es sich um eine explizite, formalsprachliche Spezifikation einer *Konzeptualisierung* von Phänomenen handelt. Dabei geht es bei einer solchen *Konzeptualisierung* um »an abstract, simplified view of the world that we wish to represent for some purpose«. Mit Blick auf die Wissensrepräsentation ist damit jedoch nichts gesagt; die Frage der *Natur des Wissens* verlangt jedoch genauso nach einer eingehenderen Fundierung wie die Ontologie, denn diese bildet nach allgemeiner Auffassung eine *Theorie der Objekte* – bzw. eine *Theorie der Prozesse*. Tatsächlich ist eine Wissensrepräsentation in Bezug auf Objekte nicht sachgerecht möglich, wenn weder die *Natur der repräsentierten Objekte* noch die *Natur des repräsentierten Wissens* an sich geklärt ist. Insofern wird offensichtlich, dass jede sachgerechte Ontologiekonzeption einen metaphysischen, epistemologischen wie methodologischen Unterbau erfordert. – Wie in Pkt. 3.4 gezeigt, liegen die eigentlichen Probleme bei der Gruberschen (1995) Ontologiekonzeption jedoch viel tiefer; denn bei ihr soll es sich um eine AI-Ontologiekonzeption handeln, die gar nicht auf die *Repräsentation von Wissen*, sondern auf die *Kommunikation von Wissen* abstellt. Jenseits der hierzu in Pkt. 3.4 erörterten Kritik sind Ontologiekonzeptionen, die nicht im Einzelnen eingehend konzeptionell begründet werden, für die Zwecke der Informatik letztlich vollkommen inakzeptabel: Wie in Pkt. 3.2.3 dargelegt, besteht im *Wissen* der eigentliche Kulminationspunkt der Disziplin, weil diese im AI-Sinne konsequent auf *intelligente Systeme* und damit auf den Wissensaspekt hinausläuft.

So gesehen handelt es sich bei der *Ontologie* um ihr letztlich wichtigstes Konstrukt – mit entsprechend zentraler Rolle der *Top-level Ontologie*, die diese nicht nur für superintelligente Systeme, sondern mit Pisanelli et al. (2002: 125) letztlich für alle modernen computergestützten Systeme besitzt. Wie erwähnt, verweist Gruber (1993, 1995) zur Grundlegung auf das Werk Genesereth/Nilssons (1987). Doch auch hier findet sich mit Ausnahme der Ausführungen zur Konzeptualisierung keine Grundsatzdebatte, was nicht zuletzt daran liegt, dass es hier nicht um *ontologische*, sondern um *logische* AI-Grundlagen geht. Das ist für die Ontologiedebatte der Informatik freilich eine schlechte Basis. Zumin-

²⁰⁵⁸ Poole/Mackworth (2010: 161 f.), ohne Hvh. des Orig.

²⁰⁵⁹ Alexander/Freiling et al. (1986: 963).

dest führen Genesereth/Nilsson (1987) in dieser Sache aus, dass eine solche Konzeptualisierung *nicht zwingend* auf die Realität referenziert; vielmehr inkludiert sie auch solche Objekte, die nur mutmaßlich existieren resp. rein hypothetischer Natur sind.²⁰⁶⁰ Welche Schwierigkeiten daraus für den industriellen oder wissenschaftlichen Einsatz resultieren können, bleibt dabei allerdings unerwähnt. Objekte sind nach Genesereth/Nilsson (1987) konkreter oder abstrakter Natur; sie können aber auch rein fiktiver Gestalt sein.²⁰⁶¹ Eine solche Spezifizierung kann sich also prinzipiell völlig beliebig vollziehen, analog etwa zum Umgang mit den Entitäten der spekulativen *Mögliche-Welten-Metaphysik*, die aus gutem Grund für Wissenschaft wie Praxis gleichermaßen wenig bedeutend ist. Insgesamt gilt für Genesereth/Nilsson (1987: 9): »an object can be anything about which we want to say something«. Nach wissenschaftstheoretischer Maßgabe sind somit nicht nur die Ausführungen Grubers (1993, 1995), sondern auch jene Genesereth/Nilssons (1987) als eindeutig unterspezifiziert zu werten. Sie stehen in keinerlei Verbindung zur *Theorie der Objekte*, noch zur *Theorie des Wissens* – und damit zu dem, worum es eigentlich geht.

Während metaphysisch-realistische Ansätze ihren theoretischen Kern in einem spezifischen Kategoriensystem und spezifischen meta-ontologischen Dispositionen besitzen, ist zu fragen, worin eigentlich der theoretische Kern linguistischer Ansätze besteht? Im Wesentlichen wird man die Antwort auf diese Frage in Verbindung mit dem auf Ogden/Richards (1923) zurückgehenden *semiotischen Dreieck* der Linguistik suchen müssen, das im Zuge der Ontologiediskussion der Informatik eine zentrale Rolle spielt.²⁰⁶² Tatsächlich ist es das *semiotische Dreieck*, in dessen Kontext sich ein Verständnis linguistischer Ontologien vermutlich am ehesten entwickeln lässt. Mehr noch: Im *semiotischen Dreieck* liegt gerade ein zentraler Schlüssel zur Auflösung der Debatte um die linguistische vs. realistische Ontologie, weil an ihm Kernprobleme linguistischer Ansätze offensichtlich werden, die in direkter Verbindung zu Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft*, aber auch zu der oben bereits thematisierten Bejahung der Existenz der Außenwelt Kants bzw. seiner – jenseits seines konzeptuellen Schemas – vollzogenen Akzeptanz der klassischen Ontologie stehen. Dabei ist zunächst herauszustellen, dass das Werk von Ogden/Richards (1923) zwar neben dem Einfluss der *Sprache auf das Denken*, wie ihn bereits Wittgenstein (1921) hervorhebt, auch auf die *Korrespondenz zwischen Wörtern und Fakten* abstellt. Allerdings geht es ihnen dabei allein um Linguistik, nicht um Metaphysik; ihre Untersuchungen sind also vollkommen anders akzentuiert als jene Kants. Dass jedoch die Verbindungen zwischen Linguistik und Metaphysik viel enger sind als vor diesem Hintergrund zunächst anzunehmen ist, wird insbesondere mit Carnap (1950, 1956) deutlich. Dabei handelt es sich durchaus um ein ambivalentes Verhältnis. Das wird daran deutlich, dass Carnap elementare metaphysische Fragestellungen aufwirft und ihnen teils auch nachgeht – sie aber dann nach Maßgabe des Logischen Empirismus qua ihrer *metaphysischen* Natur verwirft: zu

²⁰⁶⁰ Vgl. Genesereth/Nilsson (1987: 9).

²⁰⁶¹ Ibid.

²⁰⁶² Vgl. etwa Mädche et al. (2001).

Unrecht, wie es insbesondere noch in Pkt. 4.1 deutlich wird. Carnap aber meint vor diesem Hintergrund im linguistischen Ansatzpunkt ein geeignetes Substitut für den metaphysischen gefunden zu haben. Insofern kommt dem Werk Carnaps in der Ontologiediskussion, speziell mit Blick auf die beiden OE-Ansatzpunkte, eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung zu, zumal sich Vertreter der linguistischen Ontologie – wie etwa Guarino – in spezifischen Fragen direkt auf Carnap beziehen. Zu den durch Carnap (1950) aufgeworfenen Aspekten gehört seine Unterscheidung von *zwei Arten von Existenzfragen*, die in direktem Bezug zu der in Pkt. 3.5 differenzierten *raumzeitlichen* und *epistemischen* Welt stehen:

»[W]e must distinguish two kinds of questions of existence: first, questions of the existence of certain entities of the new kind *within the [linguistic] framework*; we call them *internal questions*; and second, questions concerning the existence or reality *of the framework itself*, called *external questions*. Internal questions and possible answers to them are formulated with the help of the new forms of expressions. The answers may be found either by purely logical methods or by empirical methods, depending upon whether the framework is a logical or a factual one. An external question is of a problematic character which is in need of closer examination. [...] The concept of reality occurring in these internal questions is an empirical, scientific, non-metaphysical concept. To recognize something as a real thing or event means to succeed in incorporating it into the framework of things at a particular space-time position so that it fits together with the other things recognized as real, according to the rules of the framework.«²⁰⁶³

Wie mit Pkt. 3.2.4 dargelegt, konnten der erste *Widerstreit von CM- und AI-Ontologien* wie auch mit den Ausführungen in Pkt. 3.3 der zweite *Widerstreit von philosophischer und linguistischer Ontologie* bereits aufgelöst werden. Damit bleibt dieser ebenso wesentliche dritte *Widerstreit von realistischer und linguistischer Ontologie*, ohne dessen Auflösung unklar bleiben muss, wie die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* für Zwecke der *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu konzipieren ist. Denn dazu muss zunächst eine tragfähige Basis hinsichtlich dem Ontologiekonzept als solchem erzielt werden. Es muss entschieden sein, ob der adäquate OE-Ansatzpunkt ein linguistischer *oder* ein realistischer ist. Wenn in der Informatik auf ein und denselben Gebieten beides nebeneinander praktiziert wird, ist evident, dass dies mit dem Ziel einer durchgängigen *Smart Enterprise Integration* (SEI) konfligiert. In dieser Grundsatzfrage ist Feyerabends (1975) *"anything goes"* offenbar keine Option, weil Ontologien in ihren Fundamenten nicht im grundsätzlichen Widerspruch stehen können, wenn es diese zu integrieren gilt.

Auch bei diesem dritten Widerstreit liegt die eigentliche Problematik darin, dass die Informatik zu seiner Auflösung in eine gewisse Tiefe gehen muss. Dass dazu bisher selten Bereitschaft besteht, liegt zum einen an der großen Interdisziplinarität der Sachverhalte, zum anderen damit verbunden daran, dass die gewohnten engen Grenzen der Informatik überschritten werden müssen. Allerdings werden in komplexen Integrationsszenarien wie dem SEI-Kontext diese Schritte unvermeidbar. In der Tat muss die Informatik im Zuge ihrer ontologischen Revolution in die Vergangenheit zurück, wenn es gilt, ihre Ontologie auf ein tragfähiges Fundament zu stellen. Geht es um die für sie überaus zentrale Frage des sachgerechten OE-Ansatzpunkts, ist in der Ontologiedebatte mindestens auf den Logischen Positivismus bzw. Logischen Empirismus zurückzugehen; das gilt gerade dann, wenn au-

²⁰⁶³ Carnap (1950: 21 f.), Hvh. im Orig.

ber Frage steht, dass diese heute insbesondere mit ihrem Verifikationsgedanken überholt sind. Doch zeigen sich die Ontologien der Informatik immer noch sehr deutlich durch sie geprägt. Wesentlich für die Ontologiedebatte ist dabei nicht zuletzt der Umstand, dass bereits der *Wiener Kreis* unter Führung von Schlick (1934a, 1934b) die These von der Existenz einer externen Realität zurückgewiesen hat, auf dessen Relevanz Carnap (1950: 32 f.) zu Recht kritisch hinweist. Bekanntlich sind diese Zusammenhänge aufs engste verbunden mit den Überlegungen Wittgensteins (1921), der die Positionen des Wiener Kreises maßgeblich inspiriert hat. Sie reichen indessen noch tiefer in die Vergangenheit, etwa zu Comtes (1844) *Positivismus*; letztlich aber führen alle Wege immer wieder zurück zu Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft*.

Wie gesagt wird Kant jedoch dabei regelmäßig fundamental fehlinterpretiert; gerade auch bezüglich der Frage der Existenz der Außenwelt – sowie zu Funktion und Status der Metaphysik. Vor diesem Hintergrund ist der Umstand entscheidend, dass Carnaps (1928b, 1931b, 1934b, 1934c) Überwindungsversuch der Metaphysik unvermittelt in der *logischen Analyse der Sprache* mündet. Letztlich ist es insbesondere Carnap, der nicht nur das Tor zur linguistischen Ontologie der Informatik aufstößt, sondern auch ihren epochemachenden Kampf gegen die realistische Ontologie maßgeblich mitverantwortet. Hinterfragt man, worauf die erwähnte AI-Ontologieposition Genesereth/Nilssons (1987) sachlich implizit gründet, ist nicht etwa Quine ins Feld zu führen, sondern Carnap. In der Tat ist es Carnap (1928b), der die Frage nach der Existenz der Außenwelt zum philosophischen Scheinproblem degradiert. Allerdings gründet dies auf Carnaps irriger Annahme, dass sein methodologisches Verifikationsprinzip metaphysische Grundsatzdebatten entscheiden kann. Damit ist konkret der Widerstreit zwischen dem Cartesischen Realismus und Berkeleys Idealismus gemeint: Carnap (1928b) verweist darauf, dass sich ihre Thesen nicht nur weder empirisch bestätigen noch widerlegen ließen, sondern auch jeglicher Bedeutung entbehrten. Entsprechend sei die Frage nach der Existenz der Außenwelt für die Methoden und Ergebnisse der Wissenschaft als irrelevant einzustufen. – Im Zeitalter Cyber-physischer Systeme (CPS) lässt sich dieser Widerstreit jedoch nicht mehr zum Scheinproblem degradieren.

Wohl niemand stellt heute in Frage, dass die eigentlichen Anfänge der Ontologie der Informatik maßgeblich nicht durch Carnap, sondern durch Whiteheads Schüler Quine bestimmt sind; besonders bei Mealy (1967), aber auch bei McCarthy/Hayes (1969). Man kann sagen, dass die linguistische Richtung mindestens implizit speziell auf Carnap rekurriert, während die realistische Richtung – bis zum Aufkommen der TLO-Ansätze – Quine favorisiert. Denn mit dem Aufkommen der TLO-Ansätze wird deutlich, dass es eine grobe Fehlannahme Quines (1981) ist, dass der *Naturalismus* die *Erste Philosophie* ersetzen kann. Es entbehrt nicht einer gewissen Ironie, dass sich diese Erkenntnis erst richtiggehend vor dem Hintergrund der Diskussion der *Top-level Ontologien* der Informatik gewinnen lässt, womit die Ontologiediskussion der Informatik gewissermaßen erneut speziell mit Quine wieder auf jene der Philosophie zurückwirkt. Wenn McCarthy (2000: 45) gute drei-

Big Jahre später sich noch immer – diesmal explizit – für Quine ausspricht, ist dies als genauso problematisch zu werten wie die Tatsache, dass McCarthy (1995) es nicht versteht, seinen "*general world view*" in Verbindung zu den *Top-level Ontologien* zu bringen, die zu dieser Zeit bereits mit ersten TLO-Ansätzen wie BWW oder der Cyc-TLO existent sind.²⁰⁶⁴ Nimmt man nämlich den ganzen Quine, ist mit dessen Realismus nicht nur von der Existenz der Außenwelt auszugehen, was für eine CPSS-adäquate AI-Programmierung sicher wegweisend ist. Vielmehr ist damit auch impliziert, dass die AI-Ontologie methodologisch nicht nur auf einen *konsequenten Empirismus*, sondern speziell auch auf einen *methodologischen Naturalismus* hinauslaufen muss. Grundsätzlich problematisch ist beides, sowohl etwa im Hinblick auf mögliche Welten als auch im Hinblick auf eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation. Letztere lässt sich nicht einseitig auf naturwissenschaftlichen Theorien resp. regionalen Ontologien begründen, sondern allein auf Basis einer *universalen Ontologie*, mithin der Metaphysik. Damit kann in der Quineschen Ontologiekonzeption keine universelle AI-Grundlegung bestehen. Insofern kommen offenbar beide Positionen nicht für die universalen Zwecke der AI-Ontologie in Betracht: Weder Quine, noch Carnap, der ersteren – ungeachtet abweichender Positionen – nicht unwesentlich beeinflusst hat.²⁰⁶⁵

Nicht nur die zahlreichen Implikationen dieser beiden divergenten Positionen scheinen in der Ontologiedebatte der Informatik unklar zu sein. Genauer besehen finden sich unzählige zueinander widersprüchliche Ontologiekonzeptionen in der Disziplin. Im Grunde ist nach wie vor unklar, was "Ontologie" eigentlich repräsentiert. Dass dem so ist, zeigt der Umstand, dass die meisten Fachvertreter sich heute gewiss auf Grubers Ontologiedefinition berufen; sie ist die populärste, allerdings nur trügerisch die beste. Gemessen an den Erfordernissen, die sich heute für die AI-Ontologie bei kritischen Prozessen stellen, ist sie in Wirklichkeit vielmehr die schlechteste von allen. Ohne Zweifel kann in ihr gerade nicht die *universale Ontologiekonzeption* bestehen, die die Informatik mit Blick auf den Gedanken vollumfänglicher semantischer Interoperabilität anstreben sollte. Dass das Grubersche Ontologieverständnis für die meisten heutigen AI-Zwecke vollkommen ungeeignet ist, wird im Zuge seiner Generalkritik in Pkt. 3.4 deutlicher. Vor ihrem Hintergrund ist es genauso wenig angezeigt, die Grubersche Ontologie in einem Atemzug mit der Quineschen zu nennen, wie es verschiedentlich geschieht. Ihre Diskrepanz ist weitaus größer als jene, die zwischen dem Ontologiedenken Carnaps und Quines besteht. Genauer besehen sind sie vollends inkommensurabel, zumal die Quinesche im Zeichen des Empirismus und Naturalismus auf die wissenschaftliche Ontologie zielt, was für Gruber gerade nicht gilt. Quine leugnet auch nicht die Existenz einer externen Realität. Quine ist Realist; Gruber Konzeptualist. Insofern findet sich bei Quine zwar eine Kombination linguistischer und realistischer Aspekte, doch vertritt er letztlich einen *realistischen* OE-Ansatzpunkt, indem sich dieser um erfahrungswissenschaftliche, genauer um naturalistische Theorien zentriert.

²⁰⁶⁴ Allerdings wird die große Mehrzahl der TLO-Ansätze erst Anfang des 21. Jahrhunderts entwickelt.

²⁰⁶⁵ Vgl. hierzu Quine (1951a, 1951b, 1960b, 1984); vgl. ergänzend Soames (2009).

Wenn auch Quines Positionen im Gegensatz zu jenen Grubers zu einem guten Teil in die richtige Richtung führen, wäre McCarthy (2000) gut beraten gewesen, nicht die Quinesche Ontologie zu favorisieren, sondern sich an seiner eigenen ursprünglichen Konzeption zu orientieren. Denn den "*general world view*", den McCarthy (1995) für AI-Systeme zu Recht einfordert, kann weder eine empiristische noch eine naturalistische Ontologiekonzeption leisten. Das wird deutlich, wenn man sich von der *physischen* Dimension Cyberphysischer Systeme (CPS) abwendet und sich ihrer *virtuellen* Dimension zuwendet. Bei dieser virtuellen Dimension geht es um Echtzeitverarbeitung, womit CPS in der *Smart Enterprise Integration* (SEI) auf die Vision des *Real-Time Enterprise* (RTE) hinauslaufen. Aber nicht nur das: sie ist darüber hinaus auf die Interaktion mit der physischen Welt auszulegen, die selbstverständlich alle Arten chemisch-biologischer Prozesse resp. Systeme mit einzubeziehen hat. Denn der Einsatz von PLM-Systemen hat in solch unterschiedlichen Industrien wie der Luft- und Raumfahrtindustrie, der chemischen resp. petrochemischen Prozessindustrie, der Biotechnologie oder der Medizintechnik sowohl bei produktbezogenen Engineeringprozessen als insbesondere auch im Zuge der eigentlichen Produktionsprozesse auf physikalische, chemische oder biologische Prozesse bzw. deren Kombination abzustellen. Somit sind U-PLM-Systeme in dieser Hinsicht systematisch auf das auszurichten, was Popper "Welt 1" nennt. Damit ist klar, dass sich McCarthys (1995) "*general world view*" in CPS- resp. PLM-Kontexten in systematischer wie rigoroser Weise allen voran auf diese "Welt 1" beziehen können muss. Entsprechend verlangt die intelligente Kombination von beidem nach einem adäquaten *metaphysischen* System, womit eine *metaphysische AI-Ontologiekonzeption* in Frage steht, wie sie durch McCarthy/Hayes (1969) *in der AI-Tradition* bereits selbst umrissen wurde. Diese geht über Quines Empirismus insofern hinaus, als sie sich insbesondere um *metaphysisch adäquate, wie auch epistemologisch adäquate Repräsentationen* zentriert. Damit korrespondiert sie genau mit jener wissenschaftlichen Metaphysik, die in Pkt. 4.1 näher erörtert wird. Wir halten also fest: sowohl bei McCarthy als auch bei Quine handelt es sich um *realistische* Ansatzpunkte, wobei erster ein metaphysischer, zweiter ein empiristischer ist.

Kommen wir damit wieder auf den linguistischen OE-Ansatzpunkt und seiner Kernproblematik zurück: diese dreht sich letztlich um Carnap, indem sich dieser unmittelbar auf das *semiotische Dreieck* der Linguistik bezieht. Dass sich Carnap als Philosoph sehr eingehend mit ihm auseinandersetzt, braucht deshalb nicht zu verwundern, weil sein eigentlicher *inhaltlicher* Ursprung nicht in der Linguistik, sondern in der Philosophie liegt,²⁰⁶⁶ nämlich insbesondere bei den Stoikern. Diese praktizieren bereits die relationale Dreiteilung zwischen Sachverhalt, Bezeichnetem und semiotischer Zeichenebene. Analoges findet sich in klaren Umrissen schon in der griechischen Antike, gerade auch in Kombination mit der Metaphysik. Zwar finden sich bei Ogden/Richards (1923: 14) andere Bezeichnungen als

²⁰⁶⁶ Bei Peirce und anderen ist die *Semiotik* philosophisches Teilgebiet; bei ihm wie in anderen Fällen ist sie Teil der Erkenntnistheorie, vgl. hierzu Peirce (1906), insbes. p. 523; für die Sprachphilosophie ist sie natürlich genauso wesentlich.

3. Diskurs genuiner Grundfragen der Ontologie komplexer IoX-Systeme

bei den Stoikern, aber dem Grunde nach handelt es sich um die gleichen Inhalte. Bei ihnen wird die relationale Dreiteilung der Stoiker grafisch zum *semiotischen Dreieck* stilisiert:

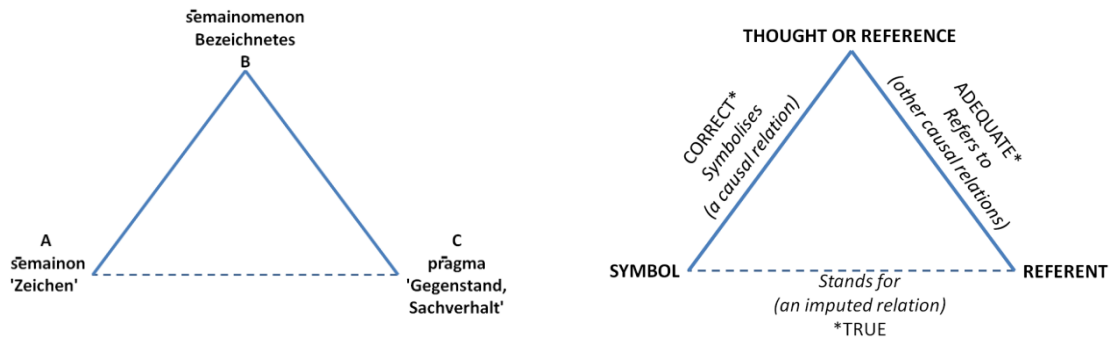


Abb. 04:²⁰⁶⁷ Semiotisches Dreieck bei den Stoikern sowie bei Ogden/Richards

In der Sprachphilosophie und Linguistik, zwischenzeitlich auch in der linguistischen Ontologie der Informatik, haben sich zahlreiche Autoren mit dieser Dreiecksbeziehung zwischen Referent, Referenz (Signifikat) und symbolischer Ebene (Signifikant) auseinandergesetzt. In der Folge sind im Laufe der Jahrzehnte, über die sich diese Diskussion mittlerweile erstreckt, eine Reihe synonym genutzter Bezeichnungen entstanden:

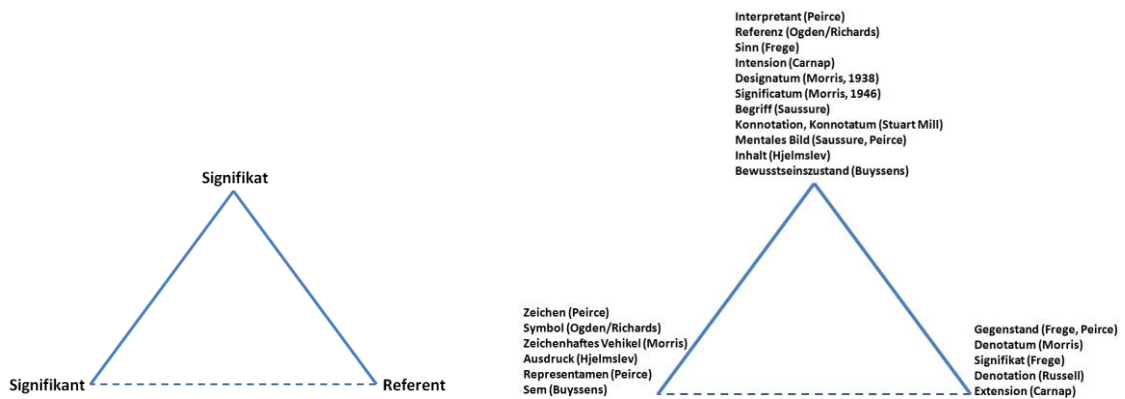


Abb. 05:²⁰⁶⁸ Semiotisches Dreieck in der Sprachphilosophie und Linguistik

Aus den verschiedenen der genutzten Terme ragen zwei heraus, die heute die entsprechende Diskussion im Kontext der Ontologie der Informatik bestimmen, wobei es sich – vor dem gesamten Hintergrund wenig überraschend – um jene Carnaps handelt. Es ist nicht übertrieben wenn festzustellen ist, dass sich im Grunde das gesamte Verständnis des linguistischen OE-Ansatzpunkts um das Wesen und die Beziehung dieser zwei zentralen Terme Carnaps dreht. Diese bestehen in der *Intension* und *Extension*, wobei strikt zu beachten ist, dass es dabei um *Linguistik*, explizit nicht um *Metaphysik* geht. Denn letzterer misst Carnap – allerdings auf Basis eines veralteten Metaphysikverständnisses und Fehlinterpretation des Kantischen Werks – keine Existenzberechtigung zu. Mithin geht es bei Carnap allein um die *Analyse der Sprache*, nicht etwa um eine *Theorie der Objekte* im klassisch ontologischen Sinne. Diese Feststellungen sind aus zwei Gründen bedeutsam: Erstens, weil die antimetaphysische Position Carnaps in den Reihen der Philosophie heute

²⁰⁶⁷ Quelle: eigene Darstellung, links nach Eco (1977: 28), rechts nach Ogden/Richards (1923: 14).

²⁰⁶⁸ Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Eco (1977: 28, 30).

kaum mehr geteilt wird und sich mittlerweile – gerade auch in der Analytischen Philosophie – in das genaue Gegenteil verkehrt hat:^{2069, 2070} Metaphysik ist nicht nur *möglich*; vor allem ist sie *unabdingbar*, und wird implizit *immer vollzogen*. Ihre implizite Praxis ist jedoch in wissenschaftstheoretischer Hinsicht völlig inakzeptabel; vielmehr ist sie unter dem entscheidenden Gesichtspunkt der *Kritikabilität* immer zu explizieren. Diese Feststellungen gelten mit Verweis auf die analytische Metaphysik nicht zuletzt für die Analytische Philosophie selbst; vor allem gelten sie aber für die immer mehr an Bedeutung gewinnende heterodoxe Strömung der *Scientific* bzw. *Technoscientific Metaphysics*. Zweitens, weil die linguistischen Positionen, wie sie vor allem durch Carnap auf die Spitze getrieben wurden, heute in undifferenzierter Weise mit metaphysischen Positionen vermengt werden: Das geschieht nicht zuletzt dadurch, dass man zuweilen die drei Dimensionen des semiotischen Dreiecks – wenig reflektiert – in Verbindung zu Poppers *Drei-Welten-Lehre* bringt.²⁰⁷¹

Poppers *Drei-Welten-Lehre* ist hier deshalb von besonderem Belang, weil sie die zentrale Grundlage der in Pkt. 3.5 umrissenen integrierten Ontologiekonzeption bildet. Wenn auch sicher gewisse Verbindungen aufgrund der philosophischen Ursprünge des semiotischen Dreiecks bestehen, kann sich die *Drei-Welten-Lehre* offensichtlich weder auf Grundlage der rein linguistischen Position von Ogden/Richards (1923) noch auf Grundlage der Antimetaphysik Carnaps vollziehen. Tatsächlich markiert Poppers *Drei-Welten-Lehre* auch nichts anderes als eine *metaphysische* Position, bei der es um die Repräsentation metaphysischer Welten durch entsprechende Wissenswelten geht: Bilden diese metaphysischen Welten im entscheidenden Zeichen der Natur des Wissens den OE-Ausgangspunkt, sollte die Informatik ein Ontologieverständnis entwickeln, das sich in damit korrespondierenden Wissensontologien begründet.

Nicht unproblematisch ist dabei der Umstand, dass das semiotische Dreieck, wie es heute im Zeichen des linguistischen OE-Ansatzpunkts der Informatik fortwährend ins Spiel gebracht wird, teils immer noch explizit unter dem antimetaphysischen Regime Carnaps steht. Dieses Dilemma muss mindestens insofern verwundern, als die Antimetaphysik Carnaps in den Strömungen der Analytischen Philosophie heute kaum mehr jemand teilt.

²⁰⁶⁹ Man kann sagen, dass gerade die Hinwendung zu *metaphysischen Problemstellungen* für die Entwicklung der *Analytischen Philosophie* in den letzten Jahrzehnten charakteristisch ist. Methodisch geschieht dies entweder in linguistischer (OLP) Richtung oder aber auf Basis der mathematischen Logik (ILP). Auch kann man sagen, dass diese Entwicklung entweder direkt oder zumindest indirekt nicht zuletzt auf Whitehead zurückgeht, auch wenn dieser als Gegner der Sprachphilosophie und Verfechter spekulativer Metaphysik selbst gewiss nicht der *Analytischen Philosophie* zugehörig ist. Dennoch ist bezeichnend, dass diese Entwicklung vor allem in mittelbarer bzw. unmittelbarer Whitehead-Tradition steht, indem sie sich vor allem durch direkte Whitehead-Schüler wie Goodman, Quine oder Davidson vollzieht, oder aber mittelbar durch Quine-Schüler wie Davidson, Lewis, Putnam oder Kripke. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass mit dieser Hinwendung zu *metaphysischen Problemstellungen* wie etwa der umstrittenen Frage des *metaphysischen Realismus* und damit jener nach Existenz der Außenwelt nicht notwendig gemeint ist, dass tatsächlich eine dezidierte Metaphysik vertreten wird. Während das bei einigen Vertretern der Analytischen Philosophie – allen voran bei Wittgenstein, Carnap und Quine – nicht der Fall ist, gibt es jüngere, die der *analytischen Metaphysik* zuzuzählen sind, wie Chisholm, Van Inwagen, Kripke oder Lewis.

²⁰⁷⁰ Vgl. hierzu auch Price (2009).

²⁰⁷¹ Vgl. etwa C. McDonald (2012).

Konkret zeigt sich dieses antimetaphysische Regime unter der kaum treffenden Bezeichnung der *deskriptiven Metaphysik* mitsamt des unmittelbar verbundenen linguistischen OE-Ansatzpunkts. Dabei wird diese Richtung zur sogenannten *revisionären Metaphysik* strikt getrennt, was mit Verweis auf Pkt. 6.2.2 unhaltbar ist. Genauer besehen ist die deskriptive Metaphysik an sich unhaltbar, weil sie in einem universellen Zuschnitt nicht um Metaphysik im revisionären Sinne umhinkommt. Faktisch aber wird diese Tatsache durch die Verfechter deskriptiver Metaphysik nicht akzeptiert, und damit ist es die unüberbrückbare Trennung dieser beiden Richtungen, die die Inkommensurabilität der TLO-Theorieanwärtler am grundlegendsten determiniert. So gesehen gehört das im Zeichen von Carnaps Antimetaphysik stehende semiotische Dreieck als linguistische Position zur deskriptiven Richtung, während die *Drei-Welten-Lehre* Poppers ohne Frage der revisionären Richtung zuzuordnen ist. Dabei stellt sie – wie erwähnt – nicht nur an sich durch und durch eine metaphysische Position dar, sondern baut außerdem auf jenem metaphysischen Realismus Poppers auf, den es nur in der revisionären Richtung geben kann. – Insgesamt ist die Frage von Carnaps Antimetaphysik vs. Metaphysik nicht nur mit dem in Pkt. 6.2.2 behandelten Widerstreit von deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik in der Informatik im Zuge ihrer ontologischen Revolution heute allgegenwärtig. Sie ist etwa mit dem Gegensatz zwischen der Ontologiekonzeption Grubers oder Guarinos auf der einen Seite und etwa jener Smithens oder Wand/Webers auf der anderen Seite für die Frage der *Smart Enterprise Integration* (SEI) und entsprechend jener nach Realisierbarkeit einer umfänglichen semantischen Interoperabilität von direkter, entscheidender Relevanz.

Wesentlich ist vor diesem Hintergrund die Feststellung, dass die Semantik selbstverständlich auch für den realistischen OE-Ansatzpunkt unverzichtbar ist, wenn bereits eingangs der Abhandlung festgestellt wurde, dass Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* repräsentieren. Insofern ist auch beim realistischen OE-Ansatzpunkt der Bezug zwischen *Intension und Extension* maßgebend, und das aus zwei Gründen: (i) ihr Zusammenspiel ist für *jede* formale Ontologie deshalb unerlässlich, weil es für die formale *Logik*, namentlich die Prädikatenlogik bestimmend ist. Denn Prädikate bezeichnen Begriffe, und bei diesen Begriffen ist im Zuge der Prädikatenlogik im Sinne von Frege zwischen *Intension*, d.i. der *Begriffsinhalt*, und der *Extension*, d.i. der *Begriffsumfang*, zu differenzieren. So ist bspw. der Extensionsbereich fiktionaler Begriffe wie *"Pegasus"* leer, wiewohl sie eine Intension besitzen. Insofern der realistische OE-Ansatzpunkt genauso auf der formalen resp. mathematischen Logik basiert wie der linguistische, sind bei beiden Intension und Extension von zentraler Relevanz. (ii) Analoges gilt neben der Logik für die *Ontologie*, namentlich im Zuge der Bestimmung von Universalien (Typen) für die semantische Basis, zu der Sowa (2000) richtig feststellt, dass sie *primär* entweder *extensionaler* oder aber *intensionaler* Natur ist:

»A semantic basis could be extensional or intensional. An extensional definition of the type Cow, for example, would be a catalog of all the cows in the world. An intensional definition would specify the properties or criteria for recognizing cows without regard to their possible existence. Since the number of cows in the world is large and constantly changing, an extensional definition would

3. Diskurs genuiner Grundfragen der Ontologie komplexer IoX-Systeme

be impractical; therefore, the type Cow must be defined by intension. Before Galileo, the types Sun and Moon, each of which had only one instance, could be defined by extension. But new discoveries led astronomers to generalize those concepts, and their extension across the entire universe is now unknown. In a type hierarchy, the position of a concept type is determined by intension rather than extension. The type Unicorn, for example, has no instances, since there are no existing unicorns. Therefore, its extension is empty.²⁰⁷²

Mit Sowa (2000) werden drei bezüglich der linguistischen Ontologie wesentliche Dinge offensichtlich: (i) dass die Grubersche (1993, 1995) Ontologiekonzeption – genauso wie jene Genesereth/Nilssons (1987) – auch in Bezug auf ihre semantische Basis fundamental defekt ist. Denn ihr Konzeptualisierungsverständnis ist ein *extensionales*, kein *intensionales*; schon Guarino hat diesen fundamentalen Defekt erkannt;²⁰⁷³ insofern überrascht es nicht, wenn das Ontologiekonzept von Guarinos DOLCE-TLO in diesem entscheidenden Detail und damit verbundenen Aspekten ein grundsätzlich anderes ist:²⁰⁷⁴ hier gestaltet sich die Konzeptualisierung entsprechend als *intensionale* Variante, wobei sich Guarino in Sachen *Intension und Extension* explizit auf Carnap bezieht. Analog dazu spricht auch Kangassalo (1999: 106) bei *Konzeptualisierungen* im Kontext formaler Ontologie richtigerweise von einer *intensionalen Wissensstruktur*. (ii) Wenn Sowa und Guarino bezüglich der Frage nach der semantischen Basis auf einer Linie liegen, ist damit ein zweiter Unterschied zu Gruber impliziert, der Sowa und Guarino hinsichtlich der Ontologiekonzeption eint. Dieser resultiert unmittelbar aus der Intensionalität der semantischen Basis: es ist die Erkenntnis, dass die Intensionalität für sich nicht reicht um Typen bzw. Universalien sachgerecht zu klassifizieren. Vielmehr sind dazu *Top-level Kategorien* erforderlich, mithin ganze Kategoriensysteme, was durch Sowa (1995) gesondert herausgestellt wird. Für Guarino und für Sowa ist damit die *Top-level Ontologie* selbstredend gesetzt. Anders gewendet ist festzustellen, dass der Umstand, wonach die Top-level Ontologie für Gruber (1993, 1995) wie für Genesereth/Nilsson (1987) relativ unbedeutend bzw. nicht existent ist, in unmittelbarer Weise aus ihrem fundamental defekten Ontologieverständnis in Bezug auf die semantische Basis resultiert. (iii) Wenn in Sachen semantischer Basis und damit zusammenhängend der Top-level Ontologie mitsamt der notwendigen philosophischen Fundierung Einigkeit in den Ontologiekonzeptionen Guarinos und Sowas besteht, stellt sich die Frage, worin sie sich überhaupt unterscheiden? – Sie unterscheiden sich gerade in jenem Kriterium, um das es in diesem Punkt in zentraler Weise geht: Guarinos Ontologieansatz ist ein linguistischer, der mit seinen Kategorien auf sprachliche Konstrukte abstellt und als solcher primär nicht an Universalien, sondern an Einzeldingen orientiert ist. Dieser Ansatz zeigt sich dabei insofern als deskriptive Metaphysik recht deutlich durch Carnaps Positionen charakterisiert, als er versucht, neutral gegenüber metaphysischen Existenzaussagen zu bleiben. Sowas Ontologieansatz ist letztlich ein fundamental anderer. Denn bei seinen TLO-Kategorien geht es primär nicht um sprachliche Konstrukte, sondern um *metaphysi-*

²⁰⁷² Sowa (2000: 99).

²⁰⁷³ Vgl. Guarino/Giaretta (1995) sowie Guarino/Oberle/Staab (1998).

²⁰⁷⁴ Damit zusammenhängend ist Quines (1948) *ontologische Verpflichtung* bei Gruber *syntaktischer* Natur, während sie bei Guarino *semantischer* Natur ist, vgl. Guarino/Carrara/Giaretta (1994b).

sche Kategorien. Insofern handelt es sich um einen realistisch-metaphysischen Ansatz, und bei Sowa um einen Ontologen, der zu Guarino, vor allem aber zu Gruber im fundamentalen Widerspruch steht, indem er eine revisionäre Metaphysik vertritt. Hier trägt die Ontologiekonzeption gewiss nicht etwa die Handschrift Carnaps, sondern vielmehr sehr deutlich jene Whiteheads. Insofern handelt es sich bei dem Verhältnis von *Intension* und *Extension* weniger um linguistische Korrelate als um *logische Korrelate*, die im Sinne des metaphysischen Logizismus gleichzeitig bedeuten, dass es bei ihnen um das jeweilige *metaphysische* Pendant geht, was weiter unten noch anhand der zwei korrespondierenden Existenzbegriffe deutlicher wird.

Indessen wäre es verfehlt anzunehmen, die semantische Basis sei entweder intensionaler oder extensionaler Natur, wie es nicht nur bei Genesereth/Nilsson und Gruber, sondern auch bei Guarino der Fall ist. Vielmehr geht es jeweils allein um die Frage des Primats; denn für den Bedeutungsgehalt eines Begriffs ist natürlich nicht bloß das eine von beidem entscheidend, sondern gerade beides in seinem Zusammenspiel. Das wird durch die Verfechter der deskriptiven Metaphysik gerne übersehen, lässt sich aber an einem simplen Beispiel aufzeigen, nämlich anhand des für die *Smart Factory* relevanten einfachen Begriffs der "Werkzeugmaschine", in der das Rückgrat vieler PLM-relevanter produzierender Industrien wie metallverarbeitender Industrie, Luftfahrtindustrie, Automotive oder Medizintechnik besteht. Anhand dieses einfachen Begriffs wird bereits deutlich, dass es jeweils genauso unzweckmäßig ist, wie Gruber (1993, 1995) eine extensionale Konzeptualisierung oder wie Guarino (1998) eine intensionale Konzeptualisierung zu vertreten:

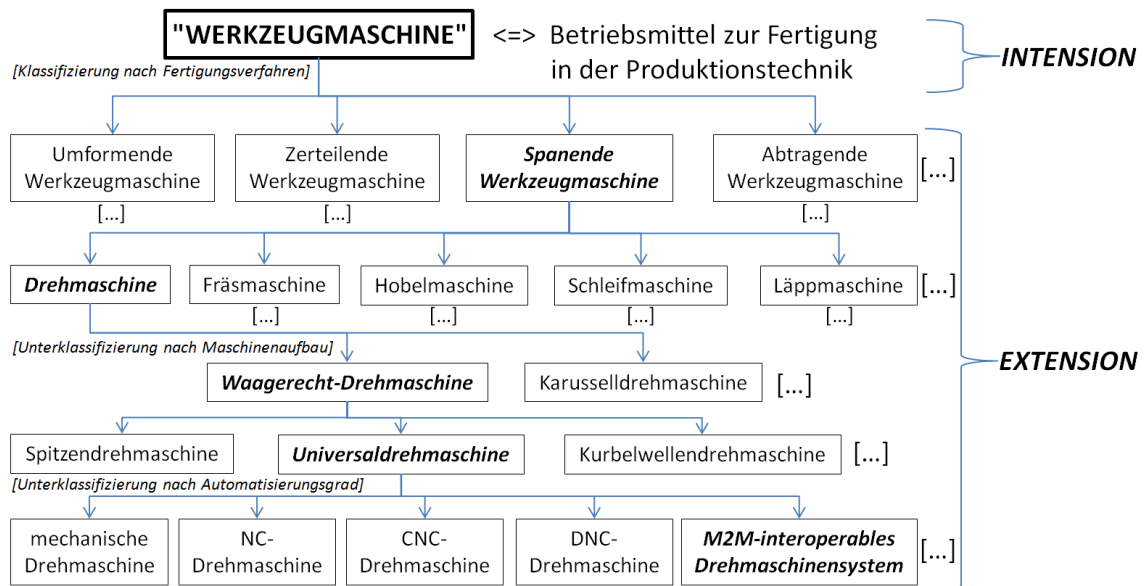


Abb. 06:²⁰⁷⁵ Intension und Extension im semantischen Beispielfall

²⁰⁷⁵ Eigene Abbildung; sie zeigt die Grenzen auf, wenn sich die *Extension* im linguistischen Sinne von Ogden/Richards (1923) allein auf *Worte*, nicht auf (physische) Gegenstände beziehen soll.

Die *Intension* von "Werkzeugmaschine" lässt sich abstrakt etwa im Sinne eines *Betriebsmittels zur Fertigung in der Produktionstechnik* definieren. Sie ließe sich nach DIN 69651 auch enger fassen. Allerdings wird mit dem Beispiel der Werkzeugmaschine deutlich, dass die Intension umso abstrakter ausfallen muss, je heterogener die Elemente einer Klasse sind. Denn ansonsten lassen sie sich nicht mehr unter diese subsumieren. Wird der Type "Werkzeugmaschine" allein über die Intension definiert, bleibt somit die semantische Spezifizierung des Ausgangsbegriffs notwendig abstrakt. In diesem Beispiel lässt sich die Vereinbarkeit einer Entität mit der *Smart Factory* resp. allgemein der *Smart Enterprise Integration* (SEI) nicht auf Basis der *Intension*, sondern erst auf Basis der *Extension* ableiten, indem der Automatisierungsgrad entscheidend ist. Für Zwecke der Wissensrepräsentation gehören Intension und Extension offensichtlich untrennbar zusammen, um Begriffe semantisch zu bestimmen; der Begriffsinhalt allein reicht nicht aus, auch wenn er primär ist; er ist durch den Begriffsumfang *zwingend* zu ergänzen.

Von einer *zwingenden* Ergänzung der Intension durch die Extension muss aus dem Grunde die Rede sein, weil der *Begriffsinhalt* etwa in seinem Detaillierungsgrad und den ableitbaren Schlussfolgerungen davon abhängt, wie viele Elemente der Extensionsbereich enthält und um welche Art von Gegenständen es dabei geht. Insofern lassen sich drei Fälle differenzieren: (i) *Fiktivbegriffe* bzw. "leere" Begriffe, wenn der Extensionsbereich leer ist; (ii) *Individualbegriffe*, wenn der Extensionsbereich genau einen Gegenstand enthält; (iii) *Allgemeinbegriffe* (Gattungen, Arten), wenn der Extensionsbereich mehrere Elemente umfasst. Somit wird deutlich: ob es sich bei einem Begriff um einen (i) Fiktivbegriff, einen (ii) Individualbegriff oder um einen (iii) Allgemeinbegriff handelt, ist erst anhand seiner Extension bestimmbar. – Damit rücken wir zur eigentlichen Problematik des linguistischen OE-Ansatzpunkts vor: Nicht nur ist die *Extension* für die semantische Spezifizierung an sich überaus entscheidend, sondern die Begriffsbestimmung ist im Hinblick auf die Frage, ob es sich um einen *Fiktivbegriff* handelt oder nicht, nur dann entscheidbar, wenn die *Extension als Außenwelt* konzipiert wird, und von einer *realen Existenz der Außenwelt* ausgegangen wird. Denn nur in diesem Fall gilt die oben gemachte Feststellung, dass der Extensionsbereich von Begriffen wie "*Pegasus*" leer ist, und es sich demnach um einen Fiktivbegriff handelt. Carnap (1928b) liegt also falsch, wenn er den Widerstreit zwischen Realismus und Idealismus als Scheinproblem abtun will. Auf der Linie des notwendigen Zusammenspiels von Intension und Extension liegt auch das *Natural Language Modeling* (NLM);²⁰⁷⁶ im Sinne Sowas (2000) geht es bei der Intension um Typen bzw. Konzepte, während sich die Extension auf Instanzen erstreckt; sie zeigt sich auch hier mit der realen Existenzfrage verknüpft, womit gilt: »every term has both intension and extension«. ²⁰⁷⁷

Natürlich ist es entscheidend, ob die *Extension* unter dem Regime des Realismus oder aber unter jenem des Idealismus steht. Denn nur dann lässt sich der Extensionsbereich als

²⁰⁷⁶ Vgl. Bollen (2013).

²⁰⁷⁷ Vgl. H.R. Smart (1926: 297).

Menge von Elementen sachgerecht bestimmen. In dieser Hinsicht wird die Idee des semiotischen Dreiecks vor größte Probleme gestellt und tatsächlich sind seine verschiedensten Varianten gerade in dieser Sache inkonsistent. Dieses Problem wird durch die Tradition von Peirce, Saussure oder auch Frege nicht unwesentlich verschärft, wenn hier gemeinhin von "Ding" gesprochen wird. Die Ersetzung von Extension durch "Ding" ist nämlich aus dem Grunde nicht unproblematisch, als das *Ding an sich*, auf das sich auch bei Vertretern der linguistischen Position wie Guarino letztlich alles bezieht,²⁰⁷⁸ selbst im Kantischen (1781) Idealismus ein Seiendes bezeichnet, welches unabhängig von der Tatsache existiert, dass es durch ein Subjekt wahrgenommen wird.²⁰⁷⁹ Guarino et al. haben dabei abstrakte oder konkrete Dinge im Sinn, bei denen es sich nicht zwingend um physische Objekte handeln muss.²⁰⁸⁰ – Im Kontext des semiotischen Dreiecks stellt sich damit aber einerseits die Frage, um welche Art von "Dingen" es geht, damit sich die Begriffsart bestimmen lässt. Andererseits eröffnet sich damit eine Assoziation mit den klassischen Ding-, Substanz- oder Objektontologien, die teils auch explizit gesucht wird. Teils wird sie aber auch gerade abgelehnt, allen voran bei Ogden/Richards (1923: 13, Fn.) selbst, die sich explizit vor der Substitution von Referent durch "Ding" verwahren: »The word 'thing' is unsuitable for the analysis here undertaken, because in popular usage it is restricted to material substances – a fact which has led philosophers to favour the terms 'entity', 'ens' or 'object' as the general name for whatever is«. Wie Abb. 7 verdeutlicht, wird aber gerade bei der Anwendung des semiotischen Dreiecks im Kontext der Ontologie der Informatik der Referent regelmäßig durch "Ding" ersetzt – und das verschiedentlich mit dem Hinweis, dass es dabei um "Dinge" der Realität geht.²⁰⁸¹

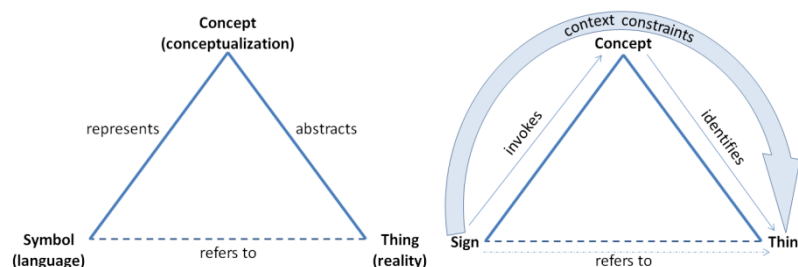


Abb. 07:²⁰⁸² Semiotisches Dreieck als Bezugsbasis linguistischer AI-Ontologien

Zwar ist es für linguistische Begriffe durchaus fortschrittlich, wenn Guarino/Oberle/Staab (2009) das semiotische Dreieck im linguistischen Sinne um *Kontextbedingungen* ergänzen. Allerdings lässt sich auch nicht durch diesen Schritt ein Stand erreichen, der CPSS-adäquat wäre: vielmehr kommen Cyber-physische Systeme nicht um eine Kontextwahrnehmung umhin die *physisch* ist, und deren prozessuale Komponente einen entspre-

²⁰⁷⁸ Vgl. etwa Guarino/Oberle/Staab (2009: 16).

²⁰⁷⁹ Die eigenartige Auffassung, dass das *Ding an sich* als solches nicht erkennbar sei, hat Kant exklusiv. Bereits Fichte und Schelling, aber auch Hegel, sehen dies grundsätzlich anders.

²⁰⁸⁰ Vgl. Guarino/Oberle/Staab (2009: 15).

²⁰⁸¹ Vgl. exemplarisch Guizzardi (2005: 27) oder Abdoullaev (2008: 201).

²⁰⁸² Quelle: eigene Darstellung, links vgl. Guizzardi (2005: 27); rechts vgl. Guarino/Oberle/Staab (2009: 15), modifiziert.

chend metaphysischen Unterbau einfordert, wie es weiter unten noch deutlicher wird. – Bereits im Hinblick auf die Kontextbedingungen stellt sich die Frage, ob bzw. inwiefern sich der Begriff der "Werkzeugmaschine" auf linguistischer Basis semantisch hinreichend spezifizieren lässt, wenn sie im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* unter einem hohen Automatisierungsgrad als CPPS-Teil der Smart Factory zu konzipieren ist. Selbst wenn wir uns hier auf einfachste Formen solcher *M2M-interoperablen Drehmaschinen-systeme* beziehen, wie sie seit einigen Jahren als *M2M-Connect-Systeme* verfügbar sind, werden die Probleme des linguistischen Ansatzes im Zuge ontologiebasierter Prozesssteuerung deutlich. Bei solchen *M2M-Connect-Systemen* ist eine einfache Ethernet-Kommunikation zwischen Drehmaschine und Stangenlader möglich, wobei die Kombination solcher und verwandter Systeme zu einer besonderen Art *Flexibler Fertigungssysteme* (FMS) führt, die auf IoX-Basis wie auf dem dezentralen, objektzentrischen Steuerungsparadigma der *Smart Factory* gründen.

Zunächst offenbaren sich auf Basis des linguistischen OE-Ansatzpunkts insofern grundlegende Probleme, als deutlich wird, dass weder Carnaps (1931a) *physikalische Sprache* – auch in einer zeitgemäßen Variante – noch etwa Alltagssprache in der Lage wäre, den relevanten Kontext hinreichend zu fassen. Vielmehr wird deutlich, dass dazu ein *transdisziplinärer* Ansatz in dem Sinne notwendig wird, als es dabei um physikalische wie um virtuelle Sachverhalte geht, aber auch etwa um betriebswirtschaftliche usf. Carnaps begrifflicher Physikalismus lässt jedoch eine solche Transdisziplinarität erst gar nicht zu. Analoges gilt für Quines methodologischen Naturalismus. Demgegenüber kann offensichtlich auch nicht die Basis in *natürlicher Sprache* bzw. im *Common Sense* bestehen, da sie solchen hochautomatisierten Fertigungseinrichtungen nicht gerecht zu werden vermögen. Vielmehr wird insgesamt deutlich, dass sich komplexe CPS- resp. CPPS-Welten überhaupt nicht auf Basis atomistischer Begriffe fassen lassen. Denn die Sachverhalte, um die es geht, sind keine atomistischen, sondern *systemische*. Entsprechend sind solche komplexen Systeme in ihren Zusammensetzungen und Wechselwirkungen auf Basis *klassisch linguistischer* Referenten nicht beschreibbar, womit der linguistische OE-Ansatzpunkt offenbar scheitert. Vielmehr geht es um Systeme, die sich *primär* nicht auf Basis isolierter *linguistischer Konzepte*, sondern allein auf Basis *realitätsbezogener konzeptueller Modelle* fassen lassen. Dabei geht es weniger um CM-Ontologien in ihrer Zwecksetzung ontologischer Evaluierung konzeptueller Modelle. Vielmehr ist der Fokus zu richten auf die realistische *Top-level Ontologie* als Fundament und universale Referenzbasis des OE-Ansatzpunkts, über die AI-Systeme erst McCarthys (1995) "*general world view*" erhalten können. Wie in Pkt. 4.1 im Einzelnen erörtert und bereits in Pkt. 3.3.1 dargestellt, baut dabei eine solch realistische Top-level Ontologie zwangsläufig auf einem adäquaten realistisch-metaphysischen Fundament der *Technoscientific Metaphysics* auf. Dabei handelt es sich um *systemische Ontologien* resp. *Systemontologien*, wie sie insbesondere durch Bunge (1979a) und Whitehead (1929a) mit jeweils disparaten metaphysischen Systemen vertreten wird.

Wenn die *Top-level Ontologie* den eigentlichen OE-Ansatzpunkt bildet, impliziert dies für das Engineering von *Enterprise Ontologien*, dass nicht etwa – wie im Fall der REA-EO – Grubers (1993, 1995) linguistische Ontologiekonzeption das EO-Fundament bilden kann, sondern dass ihre Kategorien im Wechselspiel mit den TLO-Kategorien eines adäquaten TLO-Ansatzes systematisch zu entwickeln sind.²⁰⁸³ Ein solches Vorgehen findet sich etwa bei Hagengruber/Schauer (2002) bzw. Ceusters/Smith (2007), indem sie eine Art BFO-EO *systematisch* auf Basis der BFO-TLO zu begründen suchen. Ähnliches ist bei solchen Ansätzen der Fall, die zu *PLM-Kernontologien* (PLM-CO) zu rechnen sind, etwa wenn der ADACOR-Ansatz als PLM-CO unmittelbar auf die DOLCE-TLO referenziert, während der AVILUS-Ansatz als PLM-CO zumindest Fragmente der SUMO-TLO nutzt. Demgegenüber baut MASON als in seiner Ausrichtung damit vergleichbare PLM-CO wiederum ohne eine solche TLO-Referenz auf der defekten Gruberschen Ontologiekonzeption auf. Wir haben es hier also mit drei PLM-CO- resp. EO-Fällen zu tun, nämlich (i) mit einer direkten Referenz auf einen *realistisch-ontologischen* TLO-Ansatz (BFO), (ii) mit einer unmittelbaren Referenz auf einen *linguistischen* TLO-Ansatz (DOLCE, SUMO), (iii) ohne jede TLO-Referenz. Da die *Enterprise Ontology* universal als Referenzontologie zu entwickeln ist und dabei kritischen CPS- wie auch transdisziplinären Innovationsgesichtspunkten gerecht zu werden hat, kann keine der drei Alternativen überzeugen. Vielmehr kann die Lösung mit der CPS-Adäquanz allein in einer *realistisch-metaphysischen* Variante wie CYPO FOX bestehen. Wesentlich ist hier die Feststellung, dass TLO-Ansätze nicht nachträglich zu Evaluierungszwecken Einsatz finden, sondern dass sie den *eigentlichen OE-Ansatzpunkt* bilden. Dieser ist speziell für die Kernontologie direkt gegeben, indem sie mit ihren Kategorien zwangsläufig im umfassenden Wechselspiel mit jenen des jeweiligen TLO-Ansatzes steht.

Cyber-physische Systeme (CPS) und damit verbundene U-PLM-Systeme als kombinierte Prozess- und Wissenssysteme illustrieren in wissenschaftlicher wie in technologischer Hinsicht, dass die Ontologie der Informatik nicht auf atomaren Begriffen aufbauen kann, weil diese nicht dem gerade entscheidenden Systemcharakter solcher Systeme zu entsprechen vermögen. Der OE-Ansatzpunkt kann somit insgesamt nicht auf atomaren Begriffen gründen. Mit anderen Worten sind nicht nur die tradierten Ontologiebegriffe der Informatik, sondern gerade auch ihr Ansatzpunkt zum *Ontology Engineering* in dem eigentlich entscheidenden Fall falsch gewählt, in dem es um "Ontologie" im eigentlichen Sinne der Heavyweight-Ontologie bei komplexen adaptiven Systemen (CAS) geht. Das gilt grundsätzlich, insbesondere aber dann, wenn es sich dabei um Cyber-physische Systeme (CPS) handelt. Genauso wenig wie auf atomaren Begriffen kann der OE-Ansatzpunkt auf dem atomaren Objekt- resp. Substanzgedanken aufbauen, wie ihn Hayes (1985c: 16) als notwendiges, eigentliches Fundament linguistischer *Common Sense-Ontologien* im

²⁰⁸³ Entsprechend ist die Behauptung von Gailly/Poels (2010), wonach sämtliche REA-Konzepte Spezialisierungen von Konzepten der Sowa-TLO darstellen, zu relativieren.

Kontext seiner *Naïve Physics* ausmacht. Indessen ist mit beiden Strategien das *systemontologische Fundament*, das alle modernen AI-Systeme verlangen, nicht zu bewerkstelligen. Im Hinblick auf Hayes (1985c) kann es also nicht um irgendeine Art von Metaphysik gehen. Es steht außer Frage, dass ein *systemontologisches Fundament* zum einen nur auf Grundlage dezidierter *Systemontologien* adäquat wie universal zu errichten ist. Genauso steht außer Frage, dass sich diese als *ereigniszentrierte Prozesssysteme* darzustellen haben.

Mit Pkt. 6.2.1 wird deutlich, dass diese wiederum im Zeichen des *Complex Event Processing* (CEP) stehen, bei dem es im Kontext semantischer Technologien, namentlich Ontologien und Regeln, um ein *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) geht. Dieses steht etwa mit Paschke et al. (2011) bereits im Zeichen der meisten in Pkt. 3.3.1 genannten Ontologiearten, insbesondere auch in jenem der *Top-level Ontologie*. Allerdings fehlt auch hier die gerade für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) wesentliche *Enterprise Ontology* als *Kernontologie*, womit die notwendige TLO-EO-Verkopplung konterkariert wird. Die *Top-level Ontologie* ist für den CEP- resp. SCEP-Ansatz insofern fundamental, als dieser universal im Grunde auf *alle Ereignisse* sämtlicher Diskursuniversen zielt. Dabei kann es sich genauso um naturwissenschaftliche wie um sozialwissenschaftliche, um technologische oder rein praktische Sachverhalte handeln. Unabhängig vom CEP-Ansatz findet sich eine *Ereigniszentrierung* auch bereits in verschiedenen *Kernontologien*; die *Ereigniskategorie* bildet etwa in der auf Rechtsaspekte abstellenden Kernontologie bei Hage/Verheij (1999) eine genauso zentrale Kategorie wie etwa bei der REA-EO von Geerts/McCarthy (2002, 2005). Es ist offensichtlich, dass für Zwecke der *Smart Enterprise Integration* (SEI) eine Kopplung zwischen Kernontologien und SCEP-Ansatz erforderlich wird. Da Kernontologien im Sinne der Heavyweight-Ontologie einer TLO-Referenz bedürfen, folgt daraus, dass sich auch ein adäquater TLO-Theorieanwärter um diese *Ereigniskategorie* zentrieren muss. Wie bereits in Pkt. 3.2.3 festgestellt, kann "Ontologie" nur mittelbar eine *Theorie der Objekte* sein; primär ist sie eine *Theorie der Ereignisse*, konkret *prozessualer Ereignisse*. Damit ist sie eine *Theorie der Prozesse*. Das Erfordernis, Ontologie realitätsbezogen als *ereigniszentrierte Ontologie* zu verstehen, ist – mit verschiedensten Ontologievarianten und disparaten Ereigniskategorien – bereits erkannt worden;²⁰⁸⁴ zumeist auch, dass diese dann eine ereigniszentrierte *Top-level Ontologie* zur Grundlegung voraussetzt.²⁰⁸⁵

Wenn die AI-Ontologie heute auf breiter Basis dem linguistischen OE-Ansatzpunkt Grubers folgt, ist diese Praxis mit Verweis auf Pkt. 3.4 aus einer Vielzahl von Gründen als grundsätzlich verfehlt zu erachten. Im Zuge der Diskussion des OE-Ansatzpunkts sind vor dem Hintergrund obiger Ausführungen von den Gruberschen Ontologiedefekten zwei entscheidend: (i) dass die AI-Ontologie mit Verweis auf Pkt. 6.1.1 *primär* nicht objekt-, sondern *ereigniszentriert* zu sein hat, und (ii) dass diese Ereigniszentrierung sich mit Verweis

²⁰⁸⁴ Es ist wesentlich darauf hinzuweisen, dass es sich bei den unterschiedlich konzipierten Ereigniskategorien nicht etwa um Nuancen handelt; vielmehr sind sie im Sinne des Inkommensurabilitätsproblems vielfach zueinander inkompatibel.

²⁰⁸⁵ Vgl. etwa Kaneiwa et al. (2007) sowie Scherp et al. (2009, 2012).

auf den vierten Teil allein sachgerecht *primär* auf *metaphysischer* Grundlage, nicht auf linguistischer erschließen lässt. Ad (i) sind drei Argumente ins Feld zu führen, um dann ad (ii) fünf Argumente für den metaphysischen OE-Ansatzpunkt zu entwickeln:

1. Die AI-Ontologie hat zuvorderst auf die Natur und Zwecke der AI-Programmaturik abzustellen. Was diese Zwecke sind, wird vielleicht am besten dann ersichtlich, wenn die AI-Ursprünge in den Fokus genommen werden: AI bedeutet immer *Verarbeitung (Processing)*, was an der Automatentheorie und hier bereits anhand der einfachsten *endlichen Automaten*, den abstrakten *Finite-state Machines* (FSM) bzw. *Finite-state Automata* (FSA) mit ihren "input events" und "output events" ersichtlich wird. Diese abstrakten FSM werden erstmals durch McCulloch/Pitts (1943) definiert, bei denen es auf Grundlage der formalen Logik Whitehead/Russells (1910-13) bzw. der darauf aufbauenden Carnaps (1937) um "*neural events*" geht. Wenn McCulloch/Pitts (1943) wiederum die Basis für den *Dartmouth Workshop* bilden, mit dem sich die AI-Forschungsdisziplin programmatisch offiziell begründet, hat die AI-Programmaturik von Anfang an im Zeichen der *Ereigniskategorie* gestanden. Entsprechend stehen in der metaphysischen AI-Ontologie von McCarthy/Hayes (1969) Objekte im Zeichen von Ereignissen, etwa auch der Quantenmechanik. In der Tradition des linguistischen OE-Ansatzpunkts ist davon im Zeichen der Konzeptualisierung keine Rede mehr: mit dem rein sprachlichen Fokus geht es mit Genesereth/Nilsson (1987) und Gruber (1995) von nun an nur noch um *Objekte*, die für ihre inakzeptable Ontologiekonzeption konstituierend sind.²⁰⁸⁶ Der Fehler dieser linguistischen Ontologie liegt mitunter in der Fehlinterpretation von Quines (1960a) *Word and Object*; denn Objekte sind beim Whitehead-Schüler Quine allzeit 4D-Objekte und stehen damit unter dem Regime der Ereigniskategorie, was Quine dort auch explizit feststellt.²⁰⁸⁷ – Wenn die Informatik heute zu weiten Teilen auf den damit verbundenen linguistischen OE-Ansatzpunkt setzt, ist dies offensichtlich nicht mit der AI-Ursprungsprogrammaturik vereinbar. Vielmehr ist ein solcher OE-Ansatzpunkt grundfalsch, weil die tradierte AI-Ontologie linguistischer Provenienz mit ihrer sprachlichen *Objektzentrierung* im klaren Widerspruch steht zur prozessualen Natur der Automatentheorie, die eine *Ereigniszentrierung* verlangt, in der Objekte nachgeordnet sind. In AI-basierten CPS-Kontexten tritt dieser Defekt, der lange nur verdeckt war, offen zutage, nämlich bereits dann, wenn Multisensorsysteme als *ereignisbasierte Systeme* zu verstehen sind, oder wenn SAW- resp. CAW-Ontologien immer in realen Ereigniskontexten stehen.

²⁰⁸⁶ Vgl. Genesereth/Nilsson (1987: 9): »The formalization of knowledge in declarative form begins with a *conceptualization*. This includes the objects presumed or hypothesized to exist in the world and their interrelationships«; vgl. ähnlich – und explizit darauf bezugnehmend – Gruber (1995: 908).

²⁰⁸⁷ Vgl. Quine (1960a: 171).

2. Die AI-Ontologie hat sich natürlicherweise auf *komplexe Systeme* zu beziehen; denn die AI-Programmatur orientiert sich von Anfang an mit McCulloch/Pitts (1943), Turing (1950) oder Neumann (1966) explizit an jenen natürlichen Automaten, für die außer Frage steht, dass es sich um *komplexe Systeme* handelt. Auch in dieser Sache hilft die Automatentheorie, um die AI-Programmatur richtig zu deuten; nicht zuletzt Shanahans (1994) *Evolutionary Automata*, die im Zeichen der AI-basierten AL-Forschung stehen. Ohne Ereignisse sind weder Komplexität noch Selbstorganisation, Emergenz und Evolution richtiggehend adressierbar. Gerade auch insofern bilden sie mit Verweis auf Pkt. 4.1 im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" die elementare, primäre Kategorie, während die Objektkategorie für sich genommen vollkommen aussageelos ist. Vom Ereignis als elementarer Transdisziplinaritätskategorie muss insofern die Rede sein, als sie in allen Disziplinen kausal, d.h. gerade auch *sachlich* im Mittelpunkt steht; das gilt für sämtliche naturwissenschaftliche Disziplinen genauso wie für sämtliche sozialwissenschaftliche Disziplinen. Das gilt für alle Technologie und für alle Praxis. Demgegenüber besitzen Objekte keine solch sachliche Bewandnis; und natürlich ist bei der Wissensrepräsentation in Wissenschaft, Technologie und Praxis diese sachliche Komponente von erster Relevanz. Auch lässt sich auf Basis der Objektkategorie der Wandel evolutionärer Systeme ontologisch nicht sachgemäß behandeln. Insofern sich die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf komplexe Lebenszyklen (PLC usw.) zu beziehen hat, ist dieser Wandel evolutionärer Systeme für sie konstituierend. – Zusammen mit dem Verarbeitungsmoment (Processing) ist die AI-Programmatur und damit die AI-Ontologie in Funktion und Wesen richtig gedeutet im Sinne des *Complex Event Processing* (CEP), das in Pkt. 6.2.1 im SCEP-Sinne in den Kontext ereigniszentrierter Ontologie zu stellen ist. Komplexe Systeme erfordern einen Aufschluss über die Ereignis- resp. Prozesskategorie, da sie sich nicht über die Objektkategorie sachgerecht erschließen lassen.
3. Wenn die AI-Programmatur auf nichts Statisches zielt, kann auch die AI-Ontologie auf nichts Statisches gerichtet sein. Doch ist dies bei Genesereth/Nilsson (1987) und Gruber (1995) insofern der Fall, als ihre AI-Ontologiekonzeption in ihrer klaren Objektzentrierung auf keine systematische Repräsentation von Sachverhalten angelegt ist, die stetigen, CPS- wie CAS-typischen *endogenen Wandel* zum Gegenstand haben.²⁰⁸⁸ – Das aber ist demgegenüber bereits bei McCarthy/

²⁰⁸⁸ Gruber (1993) behandelt den Wandel gar nicht; Gruber (1995) verweist darauf allein kurz im Ausblick, während Genesereth/Nilsson (1987: 263 ff.) zwar Wandel thematisieren und auch auf McCarthys Situationskalkül (SC) eingehen, jedoch die Ontologiekonzeption an sich in keiner Weise als *ereigniszentriert* einzustufen ist. Ereignisse spielen hier vor dem Hintergrund *unsicherer Überzeugungen* (*Reasoning with Uncertain Beliefs*) allein eine Rolle im Sinne von *Eintrittswahrscheinlichkeiten spezifischer Sätze*, vgl. Genesereth/Nilsson (1987: 177 ff.). Sobald es jedoch etwa mit Terenziani (1995) bei AI-Ontologien um die Frage *kausalen Wandels* geht, rückt die *Ereigniskategorie* ins Zentrum vor.

Hayes (1969) der Fall, indem ihr *Situationskalkül* (SC) im Kontext dynamischer Systeme auf *situationsbezogene Verarbeitung* zielt. Trägt man diesem Verarbeitungsmoment Rechnung, kann der Schnittpunkt zwischen *formaler Logik* und *formaler Ontologie* nicht in Objekten, sondern allein in *Ereignissen* bestehen. Anders gewendet wird die AI-Programmierung erst auf Basis der Ereigniskategorie *prozessual*, wie es ihrer Natur entspricht. Denn sie zielt auf die Ausführung logischer Prozeduren bei Eintritt spezifischer Ereignisse, was im CPS- resp. CPPS-Kontext genauso elementar ist wie bei kognitiver Robotik und der IoX-Semantik der *Smart Factory*. Es sind externe *Ereignisse*, die im Zeichen von SAW-Ontologien bei Sensoren neue Informationsübermittlungen auslösen, was AI-Systeme via *event notices* triggern.²⁰⁸⁹ Genauso bilden *Ereignisse* insofern den Kern situationssensitiver Ontologien, weil bei diesen zunächst einmal die Wissensrepräsentation bzgl. der *Situationen als solche* und eine entsprechende Inferenz im Vordergrund stehen; Objekte sind dabei zwar wesentlich, stehen jedoch immer nur im nachgeordneten Ereigniszusammenhang.²⁰⁹⁰ – An Stelle des *Situationskalküls* bei McCarthy/Hayes (1969) tritt bei Kowalski/Sergot (1986) allgemeiner ein *Ereigniskalkül*, mit dem sich die AI-Programmierung im Sinne der "*neural events*" bei McCulloch/Pitts (1943) allgemein als *ereignisbezogene Verarbeitung* bestimmen lässt. Wenn McCarthy (2002) seinen rund vierzig Jahre zuvor entwickelten *Situationskalkül* analog dazu auf *interne und externe Ereignisse* bezieht, wird bereits deutlich, dass eine AI-Ontologie mit Pkt. 3.5 auf eine *Mehrweltenontologie* hinauslaufen muss, wie sie sich bereits bei Brookes (1981) im Popperschen Sinne findet. – Wie erwähnt, läuft ein solcher *Situations- oder Ereigniskalkül* mit seinem Verarbeitungsmoment bei AI-typischen *komplexen Systemen* mit Pkt. 6.2.1 auf ein *Complex Event Processing* (CEP) hinaus. Und in der Tat steht der CEP-Ansatz im Zeichen dieses *Situations- resp. Ereigniskalküls* bzw. darauf aufbauender *Kalküle*. – Soll Korrespondenz zwischen formaler Ontologie und formaler Logik bestehen, muss sich die AI-Ontologie primär wie unmittelbar um diese *Ereigniskategorie* zentrieren. Das wird möglich auf Basis eines *metaphysischen Logizismus*, der im Gegensatz zur defekten Position Genereth/Nilssons (1987) bzw. Grubers (1995) *kausalen Wandel* nicht aus der Statik der Objekte heraus entwickelt, sondern genau umgekehrt in einer organismisch-evolutionären Perspektive das Stationäre aus dem stetigen Wandel heraus begreift. Dann ist die fragwürdige Idee selbstidentischer Substanzen zu ersetzen durch Objekte, die in Form *systemisch-struktureller Ordnungszustände* (States) im stetigen Fluss zu konzipieren und zu verstehen sind.

²⁰⁸⁹ Vgl. hierzu Matheus et al. (2003b).

²⁰⁹⁰ Vgl. Matheus et al. (2003a).

Nun könnte man einwenden, dass mit einer *realitätsbezogenen Ereigniskategorie* keineswegs der linguistische OE-Ansatzpunkt fällt, weil sich diese etwa mit Vendler (1957) und insbesondere mit der für die linguistische OE-Tradition heute elementaren *Ereignissemantik* des Whitehead- resp. Quine-Schülers Davidson (1967) in allen Facetten auf Basis linguistischer Semantik behandeln lässt.^{2091, 2092} Führende Computerlinguisten wie J.F. Allen versteifen sich gar auf die Behauptung, dass die "Welt" *an sich* gar keine Ereignisse aufweise, sondern dass es sich dabei vielmehr um eine linguistische bzw. kognitive Kategorie handele: »We take the position that events are primarily linguistic or cognitive in nature. That is, the world does not really contain events. Rather, events are the way by which agents classify certain useful and relevant patterns of change«. ²⁰⁹³ T. Horgan (1978) behauptet dazu analog, dass *Ereignisse als Partikularien* überhaupt nicht existierten, während Chisholm (1976a: 115) sich auf Basis seiner linguistischen Analyse und im Zeichen seiner Ding- bzw. Objektontologie zu ähnlichen Fehlschlüssen verleiten lässt: »[T]he view here presupposed does not imply that there are such 'concrete events' in addition to states of affairs«. Demgegenüber will N. Wilson (1974) *Ereignisse* in seiner linguistischen Analyse aus dem Grunde nicht als separate Kategorie abgrenzen, weil sie unter jene der *Fakten* fielen: »There is no such thing as an event distinct from a fact«. ²⁰⁹⁴ Mit solchen sprachphilosophischen Positionen werden zwei Sachverhalte deutlich: (i) dass solche Sichtweisen in direkter Weise mit der jeweiligen zugrundeliegenden metaphysischen Doktrin korrelieren, die bei Sprachphilosophen wie Chisholm oder Strawson regelmäßig eine Ding- bzw. Substanzmetaphysik ist, wie sie insgesamt im Zeichen linguistischer Analyse steht. Wie mit Pkt. 6.1.1 deutlich wird, stellt sich demgegenüber die Debatte um die Ereigniskategorie in der Prozessontologie erst gar nicht, weil sie selbstverständlich gesetzt ist. Daraus folgt nicht nur, dass Metaphysik nicht – wie im Zeichen deskriptiver Metaphysik oftmals versucht – in die Sprachphilosophie verlagert werden kann, sondern auch, dass insgesamt eine Ebene höher anzusetzen ist: nämlich an den verschiedensten *revisionären* Metaphysikentwürfen als systemischem Ganzen. Daneben wird (ii) erneut sichtbar, dass der linguistische Zugang zur Ontologie und damit der linguistische OE-Ansatzpunkt in die Irre führt, indem mit Heil (2003: 189) gilt: »the linguistic tail wagging the ontological dog«.

Ob Ereignisse als ontologische Kategorie abzugrenzen sind oder nicht, lässt sich auf Basis rein linguistischer Analyse, etwa von Identitätsbedingungen, gar nicht sachgerecht feststellen. Vor allem ist das, was analytische Philosophen als Sprachanalyse mit der Ereigniskategorie betreiben, nichts als Metaphysik: die Frage nach den fundamentalen Strukturen der Welt. Das hat mit Verweis auf Pkt. 4.1 zur Konsequenz, dass eine Metaphysikvariante zu wählen ist, die im Sinne Poppers tatsächlich verteidigbar ist: Es muss sich um eine *wissenschaftliche* Metaphysikvariante handeln, die im Sinne Einsteins (1934) das

²⁰⁹¹ Vgl. hierzu ergänzend Higginbotham et al. (2000).

²⁰⁹² Bei J.J.C. Smart (1949) finden sich bereits Vorüberlegungen zu einer solchen Ereignissemantik.

²⁰⁹³ Vgl. J.F. Allen/Ferguson (1994: 533).

²⁰⁹⁴ Vgl. N. Wilson (1974: 317).

empiristische Moment hinreichend zu berücksichtigen weiß. Ohne dieses empiristische Moment lässt sich letztlich überhaupt keine die Ereigniskategorie betreffende Frage sinnvoll beantworten. Eine sprachphilosophische Analyse kann allein von *ergänzender* Funktion im Rahmen revisionärer Metaphysik sein. Wendet man sich den empirischen Wissenschaften zu, wird nämlich deutlich, dass solche – fraglos *metaphysische* (nicht: linguistische) – Positionen der "*no-event metaphysicians*" (NEMs), wie Thalberg (1985) sie gegenüber den "*pro-event metaphysicians*" (PEMs) abgrenzt, wissenschaftlich völlig unhaltbar sind. Denn empirisch lässt sich das Vorhandensein von Ereignissen in den verschiedensten Weltsphären nachweisen, worin mit Blick auf Pkt. 4.1 nochmals ein zwingendes Argument für die *wissenschaftliche* Metaphysik und ihren *Ratio-Empirismus* besteht. Entsprechend ist mit Hinweis auf die faktisch gezogenen falschen Schlussfolgerungen der NEMs alle *nicht-wissenschaftliche* Metaphysik letztlich pseudowissenschaftlich, realitätsfern und unter wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkten folgerichtig generell abzulehnen.

Genauso ist die Ereigniskategorie bei technologischen wie praktischen Ontologien im Hinblick auf *CPS-Events* in einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption im Sinne der PEMs generell vorauszusetzen. *CPS-Events* sind Whiteheadsche Events, nicht Quinesche Events, da letztere mit Verweis auf Pkt. 5.1 *naturalistischer* bzw. empiristischer Verfassung sind, während sie bei Whitehead im logico-mathematischen Sinne einen *cyber-physischen* Zuschnitt besitzen. Somit ist die Whiteheadsche Metaphysik auch CPSS-adäquat, und wenn das bei Quine nicht der Fall ist, dann muss die Informatik offensichtlich von Quine zurück zu Whitehead. Mehr noch: in Pkt. 4.3 wird im Zeichen des Ratio-Empirismus anhand der Komplexitätsforschung als Mittler techno-wissenschaftlicher Metaphysik, speziell mit der für die Informatik wesentlichen Automatentheorie bzw. Booleschen Netzwerken aufgezeigt, dass *Ereignisse*, nicht etwa Dinge, Substanzen oder Objekte, die *primäre Kategorie* darstellen. Für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) ist das von direkter Relevanz, indem diese auf dem Paradigma des *Complex Event Processing* (CEP) zu begründen ist, das mit Pkt. 6.2.1 in Form eines TLO-referenzierenden *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) nicht weniger als die operationale CPS-Basis in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* darstellt. Auch weitere Theorien komplexer Systeme weisen in die hier aufgezeigte Richtung, etwa die aus der Nichtgleichgewichtsthermodynamik hervorgegangene *Theorie dissipativer Systeme*: mit Prigogine (1980a) verhält es sich auf *empiristischer* Basis gänzlich umgekehrt zu Allen/Fergusons (1994) nicht näher begründeter, *rein linguistischen* Behauptung: es sind gewiss *Objekte*, weniger physisch gegebene *Ereignisse*, die durch uns konstruiert werden, wobei die Definition der Entitäten eine Prozessperspektive voraussetzt.²⁰⁹⁵ Mit Rescher (1996: 53) gilt entsprechend: »Process meta-

²⁰⁹⁵ Vgl. Prigogine (1980a: 199): »The classical order was: particles first, the second law later – being before becoming! It is possible that this is no longer so when we come to the level of elementary particles and that here we must *first* introduce the second law before being able to define the entities. Does this mean becoming before being? Certainly this would be a radical departure from the classical way of thought. But, after all, an elementary particle, contrary to its name, is not an object that is "given"; we must con-

physics [...] stresses the need to regard physical things – material objects – as being no more than stability-waves in a sea of process«. Ähnlich konstatiert Atmanspacher (1996: 230), dass Quarks keine Objekte im strikten Sinne darstellen; ihre Existenz sei vielmehr sachgerecht im Zeichen *relationaler Entitäten* Whiteheadscher (1929a) Provenienz verstehbar. – *Raum-Zeit-Ereignisse* sind für die modernen Wissenschaften, allen voran für die Physik, in ihren Erfahrungsräumen gesetzt.²⁰⁹⁶ Heute maßgebliche wissenschaftliche Theorien setzen letztlich sämtlich die Ereigniskategorie elementar voraus; nicht einmal *guter Common Sense* ist objektzentrisch. Wie für den anderen Pol des Cartesischen Dualismus gilt nicht nur mit Whitehead (1920),²⁰⁹⁷ sondern auch mit Russell (1927a: 400 f.), dass auch *Materie* als "system of events" zu verstehen ist. Dabei gilt: »A piece of matter is a logical structure composed of events«. ²⁰⁹⁸ Nur auf dieser Basis lässt sich dieser Dualismus ontologisch bezwingen. In der Tat hat eine CPSS-adäquate Ontologie diesen metaphysischen Dualismus auch *metaphysisch* zu überwinden.

Selbst wenn man sich ausschließlich auf die linguistische Position bezöge: warum sollte die linguistische Semantik *ereigniszentriert* sein, wenn tatsächlich Allen/Fergusons (1994) paradoxe These gelten würde: »the world does not really contain events«? Gleichermaßen illusorisch wäre die Ansicht, die Realität sei nicht prozessual, was wohl kein Wissenschaftler, kein Technologe und natürlich auch kein Praktiker in Frage stellen wird. Also ist die These: »the world does not really contain events« offensichtlich falsch. Allen/Fergusons (1994) Position kann demnach nur einem Unterfangen dienen, nämlich dem vermeintlichen Nachweis, wonach der linguistische Ansatzpunkt universal ist und sich jenseits des realistischen OE-Ansatzpunkts selbst genügt. – Das reale Auftreten von Ereignissen ist nicht nur technisch messbar; vielmehr gründen auch technologische Ideen wie sensorbasierte AI-Systeme notwendig auf der Voraussetzung, dass *Ereignisse* für physische resp. virtuelle Welten konstituierend bzw. bestimmend sind.²⁰⁹⁹ Nicht umsonst konstatiert die Informatik mit Pkt. 6.2.1 ganze *Event Streams* als grundlegend,²¹⁰⁰ wobei solche *Events* gewiss nicht im linguistischen, sondern im cyber-physischen Sinne verstanden werden. Damit werden einmal mehr die fundamentalen Unterschiede zwischen dem *linguistischen* und dem *realistischen OE-Ansatzpunkt* offenbar. Die Vertreter des linguistischen OE-Ansatzpunkts werden einsehen müssen, dass in Higginbothams et al. (2000) *Speaking of Events* nicht der sachgerechte Zugang zur ontologischen Repräsentation und Analyse solcher *Event Streams* wie insgesamt der *Event Driven World*, von der Luckham (2012) im CEP-Kontext spricht, bestehen kann. Das ist umso bedenklicher, als diese mit realweltlichen AI-

struct it, and in this construction it is not unlikely that *becoming*, the participation of the particles in the evolution of the physical world, may play an essential role«; vgl. hierzu auch Petrosky/Prigogine (1990).

²⁰⁹⁶ Vgl. überblicksartig etwa Drieschner (2002); vgl. hierzu auch R.M. Martin (1978) sowie Faye (2008).

²⁰⁹⁷ Vgl. hierzu ergänzend Rorty (1983).

²⁰⁹⁸ Vgl. Russell (1927a: 384).

²⁰⁹⁹ Vgl. exemplarisch die *Mirror Worlds* (MW) bei Ricci et al. (2015).

²¹⁰⁰ Von solchen "stream of events" ist bereits bei Whitehead (1920) die Rede.

Systemen – nicht zuletzt mit sensorbasierten IoX-Umgebungen, z.B. der RFID-*Ereignisdetektion* – parallel mit der Ontologie zusehends ins Zentrum der Informatik rücken.^{2101, 2102}

Vielmehr gilt es, im Wechselspiel universaler Ontologie an der physischen resp. virtuellen *Existenz von Ereignissen* im raum-zeitlichen Sinne selbst anzusetzen. Erst dann wird sich bspw. in CEP-Kontexten zeigen, dass nicht nur *Events* an sich im Zentrum stehen, sondern dass es für eine CPSS-adäquate Ontologie, die mit Pkt. 4.3 entsprechend ratio-empirisch auf CAS-Basis zu entwickeln ist, unabdingbar wird, etwa eine separate Kategorie von *input events* abzugrenzen. Wie sollen solche ontologischen Erfordernisse auf Basis des *linguistischen OE-Ansatzpunkts*, wie ihn gerade die populäre Grubersche (1993, 1995) Ontologiekonzeption mit sich bringt, erkannt werden? Wie sollten auf ihrer Grundlage Sachverhalte tatsächlich CPSS-adäquat systematisch repräsentiert werden, wenn sie keine TLO-Kategoriensystematik zugrundelegt? Es ist also mehr als offensichtlich, dass für OE-Zwecke realweltlicher AI-Systeme nicht an der Sprache angesetzt werden kann, die nicht mehr, aber auch nicht weniger als Hilfsmittel ist. Als solches kann sie aber weder den Mittelpunkt des Ontologiekonzepts markieren noch den eigentlichen Ausgangspunkt des *Ontology Engineering* bilden. Genauso sollte verstanden werden, dass die realen Systeme das Primäre, nicht das Sekundäre darstellen, wobei außer Frage steht, dass ihre Perzeption resp. Apperzeption kognitive wie ggf. linguistische Akte mit sich bringt. Genauer besehen handelt es sich bei letzteren dann aber um nachgeordnete, mithin um sekundäre Vorgänge.

Auch wenn die Position Allen/Fergusons (1994) unter wissenschaftlichen und technologischen Aspekten falsch ist wie unter praktischem Gesichtspunkt unzweckmäßig, wird damit die Bedeutung der Linguistik für die Ontologie hier keinesfalls in Abrede gestellt, die sie allein schon mit Verweis auf die Prädikatenlogik besitzt. Linguistik kann aber keine Ontologie im klassischen Sinne ersetzen; im Sinne der Prädikatenlogik bewegt sie sich primär in der Logik, nicht primär in der Ontologie. Wenn man sie heute oftmals noch als eigentlichen OE-Ansatzpunkt erachtet,²¹⁰³ ist das nicht haltbar. Das fällt dann nicht weiter auf, wenn Ontologie im Gruberschen Sinne ohne strikte TLO-Referenz praktiziert wird. Bei strikter TLO-Referenz wird jedoch schnell ersichtlich, dass intelligente AI-Systeme nicht auf Basis linguistischer Ontologien ausgelegt werden können. Denn alle sprachlichen Konstrukte sind zunächst einmal *ontologisch* genauestens zu bestimmen, was allein auf Basis metaphysischer Referenzsysteme möglich ist. Wird die Ontologie auch auf wissenschaftliche Sachverhalte bezogen, was mit dem Gedanken der Referenzontologie prinzipiell zwingend wird, muss es sich dabei um ein *ratio-empirisches* Referenzsystem handeln,

²¹⁰¹ Vgl. exemplarisch D. Wang et al. (2011).

²¹⁰² Eine solche Rede vom *Zentrum der Informatik* erscheint mit Verweis auf die Basisarbeiten zum *AI-Processing* bzw. zur *Automatentheorie* etwa im Sinne von McCulloch/Pitts (1943) keineswegs übertrieben.

²¹⁰³ Vgl. exemplarisch im GIS-Kontext Howarth/Couclelis (2005); allein schon mit Blick auf die diversen Varianten der *Controlled Natural Language* (CNL) kommt man um eine umfassendere Berücksichtigung der Linguistik nicht umhin. Hier geht es demgegenüber darum, dass sie für eine *realitätsgerichtete* Ontologie nicht den OE-Ansatzpunkt stellen kann, weil diese sowohl *meta-ontologisch* wie *kategorial* zwingend auf Basis einer in sich konsistenten revisionären Metaphysik zu begründen ist.

das zugleich ein *techno-wissenschaftliches* ist. Vor ihrem Hintergrund verkehrt sich die Position Allen/Fergusons (1994) zwangsläufig ins genaue Gegenteil: Realität bzw. die "Welt" ist ein stetiges Werden. Sie konstituiert sich mit Whitehead (1925, 1929a) aus Ereignissen, die in ihrer historisch-ontologischen Ereignissequenz die "Welt" als Prozess implizieren: »[N]ature is a structure of evolving processes. The reality is the process«. ²¹⁰⁴ Entsprechend lassen sich nach den drei aufgezeigten Argumenten zur Priorität von Ereignissen gegenüber Objekten fünf Argumente vorbringen, anhand derer die damit direkt verbundene *Priorität des realistisch-metaphysischen OE-Ansatzpunkts* gegenüber einer simplen linguistischen Behandlung offensichtlich wird:

1. *Zur Priorität von Ereignissen gegenüber anderen Kategorien:* Dass es sich bei der *Ereigniskategorie* um die zentralste aller Kategorien handelt, lässt sich auf Basis der Linguistik, mithin im Zuge des linguistischen OE-Ansatzpunkts überhaupt nicht feststellen. Das Zwingende an der Ereignissemantik ist also nicht zwingend ersichtlich. Rein sprachlich gesehen handelt es sich um einen Begriff wie jeden anderen. Selbst wenn man den linguistischen OE-Ansatzpunkt auf Carnaps (1931a) physikalischer Sprache gründen ließe, wäre die Ereigniskategorie nicht universal für alle Diskursuniversen als zentralste aller Kategorien bestimmbar. Überhaupt lässt sich linguistisch nicht in begründbarer Weise feststellen, welche Begriffe universal gesetzt sind. Das ist allein auf Basis einer universalen Ontologie möglich, mithin auf Basis eines deduktiv-hypothetischen metaphysischen Systems. Nicht umsonst steht die Ereigniskategorie bei McCarthy/Hayes (1969) im Zeichen der Metaphysik, und bereits bei McCulloch (1954) ganz konkret in jenem der Whiteheadschen (1929a) Prozessmetaphysik. Geht es – entgegen der defekten Ontologiekonzeption bei Genesereth/Nilsson (1987) bzw. Gruber (1995) – nicht mehr allein um Objekte, sondern um die zentrale Frage der Verhältnisbestimmung von Objekten und Ereignissen, wird die Sache notwendig ungleich komplizierter: Sie rückt in eine Dimension vor, die unabdingbar zu klären ist, aber durch Genesereth/Nilsson (1987) bzw. Gruber (1995) sträflich vernachlässigt wird. Denn mit der Frage der Verhältnisbestimmung von Objekten und Ereignissen stellt sich mit Pkt. 6.1.1 der allein metaphysisch adressierbare Widerstreit von Objekt- vs. Prozessontologie, genauso wie mit Pkt. 6.2.5 etwa jener zwischen Endurantismus vs. Perdurantismus. Damit aber wird deutlich, dass der linguistische OE-Ansatzpunkt in die Irre führt, weil er an diesen zentralen Fragen letztlich komplett vorbeizieht; sie sind auf seiner Basis erst gar nicht adressierbar. Letztlich ist die Simplifizierung der AI-Ontologie, wie sie mit dem linguistischen OE-Ansatzpunkt vermeintlich als vorteilhaft gepriesen wird, nichts als eine große Täuschung. Denn diese und viele weitere meta-ontologischen Fragen sind immer zu klären, wenn es um autonome komplexe Sys-

²¹⁰⁴ Vgl. Whitehead (1925: 72).

teme bei kritischen Prozessen geht. Und darum geht es bei der AI-Programmatik *prinzipiell* letztlich immer. Zur fundierten Klärung bleibt allein der revisionär-metaphysische OE-Ansatzpunkt.

2. *Zur Frage der konkreten Natur von Ereignissen:* Ereignisse stehen mit Whitehead (1929a) im physischen Raum-Zeit-Kontext. Dabei ist aber nicht die Realitätsbezogenheit der Ereigniskategorie an sich entscheidend, auch nicht der Umstand, dass die Ereigniskategorie oftmals in den erwähnten kontextsensitiven (CAW-Ontologien) resp. situationssensitiven (SAW-Ontologien) Zusammenhängen steht.²¹⁰⁵ Entscheidend ist vielmehr, dass es in IoX-Welten um *CPS-Ereignisse* geht, die physikalisch wie virtuell sind. Dabei bezieht sich die AI-Programmatik im Grunde immer auf *dynamische* – oder besser: auf *evolutionäre* – Systeme, also auf Systeme, die nicht nur Dynamik aufweisen, sondern im Sinne *dissipativer Systeme* selbst stetigem – auch disruptivem – Wandel unterliegen. Anders gewendet gilt mit E.T. Mueller (2006: 1017): »action and change are pervasive aspects of the world in which intelligent agents operate«. Das sollte weiter unten im GIS-Zusammenhang noch deutlicher werden. Solche CPS-Ereignisse stehen heute nicht nur mit Verweis auf Pkt. 6.2.1 im CEP- bzw. SCEP-Kontext, sondern damit zusammenhängend im Zeichen von Sensoren physischer wie virtueller Systeme. – Dabei handelt es sich bei diesem CEP-Gedanken nicht um irgendeinen Gedanken; vielmehr repräsentiert er die Kernidee der AI-Programmatik, und ist damit auch für die AI-Ontologie von besonderem Belang. Dabei wird sich mit Pkt. 6.2.1 zeigen, dass dieser CEP- bzw. SCEP-Gedanke bereits heute genauso explizit wie ausgiebig auf die *Top-level Ontologie* bezogen wird, was entsprechend auf der Grundlage einer adäquaten techno-wissenschaftlichen Metaphysik im Sinne einer durch und durch konsistenten Programmatik zu konkretisieren ist. Denn intelligente Systeme sind bei kritischen Prozessen mit *Stückwerktechnologie* unverträglich;²¹⁰⁶ McCarthy (1995) "*general world view*" verlangt zuvorderst nach rigoroser *innerer Konsistenz* eines wohldefinieren Systems, das sich nur auf Basis eines metaphysischen Gesamtentwurfs realisieren lässt. – Der syntaktische Aufbau von Formeln bzw. Aussagenformen der Prädikatenlogik orientiert sich bekanntlich analog zu Sätzen natürlicher Sprache am Schema *Subjekt-Prädikat-Objekt*; auch wenn das Prädikatsymbol bei der for-

²¹⁰⁵ Vgl. etwa Scherp et al. (2012).

²¹⁰⁶ Konkret sind mit einer solchen *Stückwerktechnologie* Fälle wie die DOLCE-TLO bzw. OntoClean gemeint, in denen versucht wird, metaphysische Fragen bzw. metaphysisch relevante *strittige* Fragen wie etwa solche bzgl. Mereologie, Topologie, möglicher Welten, Endurantismus vs. Perdurantismus usf. zwar in umfassender Weise – jedoch vollkommen jenseits eines konkreten, *in sich konsistenten revisionären Metaphysiksystems* zu klären. Tritt nämlich an die Stelle solcher Stückwerktechnologie ein *wohl begründetes, in sich konsistentes ratio-empirisches System*, das als Gesamtentwurf neben den fundamentalen TLO-Kategorien auch alle relevanten meta-ontologischen Fragen beantwortet, wäre ein solcher Ansatz qualitativ als *revisionäre Metaphysik* zu verstehen. Diese aber will Guarino mit der deskriptiven DOLCE-TLO gerade explizit nicht vertreten. Indes sind nur Gesamtentwürfe richtiggehend kritikabel.

malen Prädikation vorne steht, ist ein darauf aufbauender linguistische OE-Ansatzpunkt im Kern *objektorientiert*. Analoges gilt für jüngere konzeptuelle Modellierungssprachen. Insofern überrascht es nicht, wenn es für die AI-Tradition heute selbstverständlich erscheint, Diskurswelten auf Grundlage von *Objekten* zu beschreiben. Doch setzt sich allmählich die Erkenntnis durch, dass es in evolutionären Kontexten zunehmend schwierig wird, diese Praxis aufrechtzuerhalten.²¹⁰⁷ Es kann kaum opportun erscheinen, agentenbasierte AI-Systeme auf Basis objektzentrischer AI-Ontologien aufzubauen; vielmehr sind diese prinzipiell *ereigniszentriert* zu konzipieren, und das gilt gerade auch für ihre Ontologie. Offensichtlich sind im Gegensatz zu den *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) der AI-Frühzeit für komplexe autonome AI-Systeme *Ereignisse fundamental*, und mit diesem Wandel gerät der linguistische OE-Ansatzpunkt einmal mehr in die Defensive: Denn auf seiner Basis muss das tatsächliche *materielle* Verhältnis von Objekten und Ereignissen unklar bleiben; indessen ist ihre linguistische Bestimmung klar: Der linguistische OE-Ansatzpunkt ist *prinzipiell* objektorientiert; Davidsons (1967) *Ereignissemantik* ist lediglich nachgeschoben, was insgesamt für diesen OE-Ansatzpunkt bezeichnend ist. Wenn sich die logische Form der Handlungssätze (Action Sentences) bei Davidson (1967) um ein Toastbrot (als Objekt) dreht mit dem im Zeichen eines dynamisierten *Subjekt-Prädikat-Objekt-Schemas* etwas passiert, wird ihre prinzipielle *Objektorientierung* sofort offensichtlich: »Jones buttered the toast slowly« und ähnliche Beispiele Davidsons (1967: 82) machen deutlich, dass solche *Action Sentences* unterkomplex sind. Ihre Analyse ist in *logischer* Hinsicht wesentlich; in *ontologischer* Hinsicht natürlich in keiner Weise hinreichend. – Davidsons (1967) Ereignissemantik ist offensichtlich weit entfernt von dem, was die Informatik zur ontologischen Behandlung von Ereignissen benötigt; denn diese stehen – wie das *Complex Event Processing* (CEP) bereits indiziert, im Kontext komplexer Systeme bei zumeist kritischen Prozessen. Mit Verweis auf Pkt. 4.1 benötigt die Informatik eine *empiristische "Universalsynthese"*, die sich maßgeblich an einem *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigma* zu orientieren hat. Auf seiner Grundlage wird ersichtlich, dass es weder gilt, Objekte statisch zu behandeln noch Ereignisse isoliert zu sehen. Vielmehr sind mit Whitehead (1919, 1925, 1929a) die Relationen der Objekte zu den Ereignissen in den Fokus zu nehmen; denn Objekte sind in Ereignissen situiert.^{2108, 2109} Damit wird bereits deutlich, was mit der

²¹⁰⁷ Vgl. auch Galton (2005b).

²¹⁰⁸ Vgl. hierzu bereits Whitehead (1919: 80): »There is a structure of events and this structure provides the framework of the externality of nature within which objects are located«.

²¹⁰⁹ Dabei sind *Objekte als Ordnungsstrukturen* bzw. als *strukturierte Objekte* zu verstehen, deren Zustände im Sinne der Automatentheorie im ereigniszentrischen 4D-Sinne zu erfassen sind; mithin geht es um *"actionable structure objects"*, wie sie bei Batres et al. (2000: 45) umrissen werden: »Objects that are operated, manipulated, or controlled by an action represent a special type of structure object called ac-

Rede von *Objektlebenszyklen* in Pkt. 3.2.2 gemeint ist. Genauso wird erst mit diesem Evolutionsparadigma verständlich, dass Ereignisse in der Raum-Zeitlichkeit von Ereignissequenzen nie isoliert zu denken sind; Whiteheads (1929a) "*events*" sind im Sinne des lateinischen "*evenire*" eher als prozessuales *Ergebnis*,²¹¹⁰ als Entwicklungsergebnis zu interpretieren denn als isoliertes Auftreten, wie es der Begriff "*Ereignis*" in der deutschen Sprache gewöhnlich indiziert.²¹¹¹ Damit ist nicht nur offensichtlich, dass sich die konkrete Natur von Ereignissen, insbesondere auch ihre Abgrenzung zu Objekten wie ihr Verhältnis zu Prozessen keineswegs linguistisch bestimmen lässt. Vielmehr wird damit gleichzeitig die problematische Relativität des linguistischen OE-Ansatzpunkts deutlich vor Augen geführt, die das Inkommensurabilitätsproblem gerade wesentlich bedingt. – Das TLO-Inkommensurabilitätsproblem ist oberflächlich betrachtet von linguistischer Qualität, jedoch metaphysisch in seiner Natur und Lösung.²¹¹² Um es exemplarisch zweifach zu illustrieren: (i) wenn im Zuge der Top-level Ontologie von "*internal event*" bzw. "*external event*" als Kategorien die Rede ist, so ist damit im Kontext der BWV-TLO etwas vollständig anderes gemeint als im Kontext einer auf Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik aufbauenden Top-level Ontologie.²¹¹³ Im BWV-Fall handelt es sich um einen *objekt- bzw. substanz-zentrierten* Zustandswandel; im CYPO Fall geht es in einem *ereigniszentrierten* Ansatz um das, was mit Carnaps internen und externen Fragen korrespondiert, die sich mit B. Smith (2003a) auch im Sinne einer *internen und externen Metaphysik* verstehen lassen. Übersetzbar sind solche Kategorien natürlich nicht, allein schon deshalb, weil sich beides bei Whitehead (1929a) allein im Zeichen des *Subjekt-Superjekts* verstehen lässt, das es in der Bunge'schen (1977a) Ontologie als BWV-Bezugsbasis nicht gibt. (ii) Ist die Rede von *Ereignissen*, ist nicht nur notwendig zu klären, ob es sich um generische "*event-types*" oder um

tionable structure objects. When an action is a conscious (deliberate) event that is performed in a discrete fashion then it is considered a control action. A control action once executed changes the status of a structure object«, Hvh. im Orig.

²¹¹⁰ Vgl. auch Leclerc (1984: 125); mit MacKenzie's (1923) Kritik ist dies nicht zwingend offensichtlich.

²¹¹¹ Vgl. hierzu bereits Whitehead (1925: 72 f.): »An event has contemporaries. This means that an event mirrors within itself the modes of its contemporaries as a display of immediate achievement. An event has a past. This means that an event mirrors within itself the modes of its predecessors, as memories which are fused into its own content. An event has a future. This means that an event mirrors within itself such aspects as the future throws back on to the present, or, in other words, as the present has determined concerning the future«. Insofern läuft auch die Kritik J.J.C. Smart's (1949: 486) ins Leere.

²¹¹² Wenn außer Frage steht, dass die Lösung nur eine *metaphysische* sein kann, so hat sie mit der Vielzahl an konkurrierenden metaphysischen Systemen über die *Selektion metaphysischer Ansätze und TLO-Theorieanwörter* als ihrer Verkörperung in der formalen Ontologie zu führen. Bei dieser Selektion steht konkret eine CPSS-adäquate *ereigniszentrierte* techno-wissenschaftliche Metaphysik in Frage. Denn die *TLO-Inkommensurabilität* ist ganz wesentlich durch die grundlegende Disparität der *Ereigniskategorie* in den konkurrierenden Metaphysiksystemen konditioniert.

²¹¹³ Vgl. Reinhartz-Berger et al. (2014: 153): »An *external event* is a change in the state of a thing as a result of an action of another thing. An *internal event* is a change which arises due to an internal transformation in the thing«, Hvh. im Orig.

individuelle "event-tokens" handelt.²¹¹⁴ Auch in dieser Sache ist mit Blick auf eine prinzipielle Inkommensurabilität zu beachten, dass bestimmte TLO-Ansätze *Ereignisse* als "event-types" auffassen, andere hingegen primär als "event-tokens". Nun könnte man entsprechend annehmen, die auf Peirce (1906) zurückgehende *Type-Token-Beziehung* sei im engeren Sinne analytischer Sprachphilosophie rein linguistischer Natur. Das aber ist sie nicht; vielmehr ist sie primär metaphysischen Charakters.²¹¹⁵

3. *Zur ontischen Verwobenheit von Ereignissen und Komplexität:* Im Kontext komplexer Systeme bringen CPS-Ereignisse den linguistischen OE-Ansatzpunkt an seine Grenzen. Denn diese CPS-Ereignisse stehen im Zeichen der Komplexität, die sich linguistisch nicht adäquat abbilden lässt. Das gilt selbst für linguistische Ansätze wie jene Vendlers (1957) oder Davidsons (1967), die aktivitäts- bzw. ereignisbezogen sind. Hinzu kommt, dass sich auch die Disparität der Ereigniskategorien der einzelnen Ontologieansätze ebenfalls nicht linguistisch auflösen lässt; auch das geht nur auf der Grundlage metaphysischer resp. wissenschaftlicher Theorien.²¹¹⁶ Schließlich steht die Ereigniskategorie immer in einem *Kategoriensystem*, das letztlich zwangsläufig auf ein *revisionär-metaphysisches* System hinausläuft, das unter dem Regime des *Ratio-Empirismus* der technowissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* zu konzipieren ist.
4. *Zur Natur von Ereignissen als Kategorie metaphysischer Top-level Ontologie:* Mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 sind diese *Kategoriensysteme* entscheidend, weil eine CPSS-adäquate Ontologie als *Heavyweight-Ontologie* zu konzipieren ist, die im Sinne der Axiomatik von TLO-Kategorien immer auf ganze *Kategoriensysteme* abzustellen hat. Kategorien sind dabei mit Verweis auf die Ontologieklassifikation in Pkt. 3.3.1 vor allem auf zwei Ontologieebenen elementar: während es auf der TLO-Ebene um die universal-fundamentalen, domänenunabhängigen Kategorien geht, handelt es sich bei den Kernontologien um die fachlich-fundamentalen, domänenbezogenen Kategorien. Dabei impliziert diese Domänenbezogenheit jedoch in aller Regel nicht die Fixierung auf eine Domäne; vielmehr besteht der eigentliche Sinn von Kernontologien darin, Multidomänensysteme in fachlich-fundamentaler Hinsicht inter- bzw. transdisziplinär zu verbinden. In der TLO-Referenz der Kernontologien müssen sich universale und fachliche Kategoriensysteme im Sinne des in Pkt. 4.1 behandelten *Ratio-Empirismus* entsprechen. Indem in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* die *PLM Core Ontology* (PLM-CO) durch die *Enterprise Ontology* (EO) gestellt wird, hat diese im Sinne

²¹¹⁴ Vgl. hierzu Galton (2000b).

²¹¹⁵ Vgl. hierzu auch Pkt. 6.2.3.

²¹¹⁶ Im Sinne Casati/Varzis (2008: 33) ist bei der Diskussion der *Ereigniskategorie* zwischen mindestens vier Begriffstypen zu differenzieren: Common Sense, philosophische Spezifikation, wissenschaftliche Spezifikation sowie psychologische Spezifikation.

der Heavyweight-Ontologie auf die Top-level Ontologie zu referenzieren. Diese TLO-Referenz ist bei den aktuellen EO-Ansätzen nicht bzw. nicht sachgerecht gegeben, womit ihre Eignung für komplexe U-PLM-Systeme bei kritischen Prozessen gewiss in Frage steht. Sie sind tatsächlich auch nicht für Zwecke einer umfänglichen *Smart Enterprise Integration* (SEI) konzipiert; jedoch kommt es bei einer *Enterprise Ontology* (EO) genau darauf an. – Heavyweight-Ontologien benötigen in ihrer für sie erforderlichen Axiomatik ein Kategoriensystem, das wiederum einen Kern aufweisen muss; dieser Kern besteht bei komplexen Systemen im *Ereignis*, das in Systemstrukturen unter Komplexitäts- und Emergenzgesichtspunkten immer als *prozessuales Ereignis* zu verstehen ist. Solche Kategoriensysteme lassen sich letztlich nur metaphysisch begründen. Denn sie bilden ihrer ratio-empirischen Natur nach immer spekulative Entwürfe, die im Zeichen von McCarthys (1995) "*general world view*" die universalen Strukturen der Realität wie auch insgesamt von möglichen Welten zum Gegenstand haben. Diese Kategoriensysteme besitzen in ihrer Eigenart als Systeme einen Kern, um den sich alles zentriert, und dieser kann in einer CPSS-adäquaten Ontologie allein in der *Ereigniskategorie* bestehen. Über diesen Kern vollzieht sich die Integration der Ontologiearten, indem er für sie allesamt bestimmend ist. Allen voran in fundamentaler Hinsicht für die Top-level Ontologie wie in fachlicher Hinsicht für die Kernontologie (CO). Demnach macht die TLO-Referenz von Kernontologien zuvorderst an der Ereigniskategorie fest, die im Sinne fachlicher bzw. domänenbezogener Ereignisse für sie selbst konstituierend ist.

5. *Zum Status von Ereignissen im postklassischen Ontologieverständnis:* Wie in Pkt. 3.2.2 herausgestellt, zielt das postklassische, integrierte CM- und AI-Verständnis der dritten AI-Generation auf nichts Statisches, sondern auf evolutionäre Strukturen, in denen Objekte im Sinne von Objektlebenszyklen zu behandeln sind. Ein solches Ontologieverständnis ist für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* deshalb unerlässlich, weil sich U-PLM-Systeme auf die Steuerung von Produktlebenszyklen beziehen, was im Sinne des PPR-Frameworks weitere Lebenszyklen mit einschließt. Eine AI-Ontologie hat sich auch in diesem Fall auf Ereignisse zu beziehen, die sich etwa auf PLM-Workflows erstrecken. Es sind Ereignisse, die AI-basierte Prozeduren auslösen, womit die AI-Ontologie insgesamt auf diese auszulegen ist. Vor dem Hintergrund des postklassischen integrierten CM- und AI-Verständnis wird erst auf Basis der Ereigniskategorie die Integration von CM- und AI-Ontologien möglich, genauso wie jene von philosophischer Ontologie und AI-Ontologie, jene von wissenschaftlicher, technologischer und praktischer Ontologie, sowie jene von objektiver und subjektiver Ontologie. Auch lässt sich eine CPSS-adäquate Ontologie und damit die Integration etwa von SAW- resp. CAW-Ontologien mit anderen Ontologien nur auf

der Ereigniskategorie begründen. Schließlich ist auch der Widerspruch von realistischen und linguistischen Ontologien nur über die Ereigniskategorie auflösbar, indem deutlich wird, dass linguistische Ontologien nicht ohne eine ereigniszentrierte, revisionär-metaphysische *Top-level Ontologie* auskommen.

Wenn Ereignisse, nicht Objekte für die AI-Ontologie das primär Entscheidende sind, können weder Genesereth/Nilsson (1987) noch Gruber (1995) für die Ontologiediskussion der Informatik wegweisend sein; denn sie verantworten in zentraler Weise die linguistisch akzentuierte Objektidee. Dabei wird landläufig immer das Gegenteil angenommen; bis heute geben gerade ihre Positionen in weiten Teilen der Informatik die Richtung vor. Zu Unrecht, denn es ist Whitehead (1929a), an dem sich die Ontologiediskussion der Disziplin vielmehr orientieren sollte. Denn er ist es, der die alles entscheidende *Ereigniskategorie* im Sinne des *metaphysischen Logizismus* universal konzipiert, so dass sich eine *ereigniszentrierte, revisionär-metaphysische Top-level Ontologie* darauf begründen lässt. Indem die Ereigniskategorie in den für Wissenschaft, Technologie und Praxis gleichermaßen elementaren komplexen Systemen nicht isoliert, sondern zwingend in Relation zueinander zu konzipieren ist, verkörpert "Ontologie" somit primär eine *Theorie der Prozesse*, mithin eine *systemische Prozessontologie*, wie sie Whitehead (1929a) in universaler Konzeption dargelegt hat. – Somit ist im sechsten Teil ein ereigniszentriertes, CPSS-adäquates metaphysisches System zu diskutieren, auf dem sich der erforderliche realistische OE-Ansatzpunkt in Form der *Top-level Ontologie* realisieren lässt. Dabei wird deutlich, dass die metaphysische Lösung tatsächlich fernab aller bisher im Mittelpunkt stehenden TLO-Ansätze wie BFO, BWW, DOLCE, SUMO oder Cyc liegt. Entsprechend ist die gesamte TLO-Diskussion maßgeblich zu revidieren, weil die bislang favorisierten TLO-Konzeptionen unter dem entscheidenden IoX-Aspekt der *CPSS-Adäquanz* durchweg unhaltbar sind.

Im Hinblick auf den zunehmenden Automatisierungsgrad, wie er in der *Smart Enterprise Integration* (SEI) eine elementare Rolle spielt, werden die Grenzen des linguistischen Ansatzpunkts auch insofern offensichtlich, als sich Referenten in komplexen Systemen nicht im Substanzsinne als sich selbst genügende Objekte verstehen lassen. Um im Bild des oben bemühten Begriffs "Werkzeugmaschine" zu bleiben, geht es mit diesem zunehmenden Automatisierungsgrad nicht mehr um die mechanische Drehmaschine, die sich im tradierten Substanzsinne gewissermaßen als Objekt noch selbst genügt, indem sie gegenüber ihrem Umsystem hinreichend abgrenzbar ist.²¹¹⁷ Demgegenüber sind bereits M2M-interoperable Drehmaschinensysteme, wie sie in spezifischen *Smart Factory*-Umgebungen als einfachste CPS-Variante Einsatz finden, gerade in ihrer CPS-Natur keineswegs mehr im Substanzsinne konzipierbar. In SEI-Kontexten geht es also nicht mehr um autonome bzw. in sich abgeschlossene Objekte als vielmehr um umfassend *vernetzte Systeme*, die sich weder hinreichend auf Basis linguistischer Referenten noch auf Basis aristotelischer *Relata* beschreiben lassen. Denn solche umfassend vernetzten komplexen Systeme agieren

²¹¹⁷ Dessen ungeachtet repräsentiert sie ein *System* des funktionalen Zusammenspiels von Komponenten.

in Prozesswelten, die eine entsprechend *systemisch-ontologische Betrachtung* im Sinne prozessualer Ereignisse bzw. Aktivitäten einfordern. Insofern ist das primäre Moment weder in den klassischen *Referenten* noch in der aristotelischen *Relata*, als vielmehr in systemontologischen *Relationen* zu suchen. Nicht umsonst stellt Whitehead (1929a) selbst in grundlegender Hinsicht heraus, dass das tradierte Substanzdenken, wie es seit Aristoteles noch heute für alle führenden TLO-Ansätze bestimmend ist, auch deshalb verfehlt ist, weil es sich zu sehr an der Subjekt-Prädikat-Struktur der Alltagssprache orientiert. Diese Sichtweise wird durch Popper (1979: 104) insofern geteilt, als dieser die aristotelische Subjekt-Prädikat-Logik als »etwas sehr Primitives« kritisiert, was wiederum vor dem Hintergrund objektiven Wissens zu sehen ist. Damit ist der linguistische OE-Ansatzpunkt genauso wie die deskriptive Metaphysik gleichermaßen diskreditiert. Dieser klassischen *Subjekt-Prädikat-Struktur der Alltagssprache* (OLP) setzt Whitehead (1929a) in seiner kategorischen Ablehnung jeden sprachphilosophischen Ontologieverständnisses seine *Principia-Notation* entgegen, die seinen metaphysischen Logizismus wesentlich konstituiert. In der Notation von Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* tritt an die Stelle dieser tradierten OLP-Struktur die Differenz von Quantor, Variable und Prädikatbuchstabe, was Quine (1932) im Rahmen seiner Doktorarbeit bei Whitehead aufgreift, und Quine (1934) mit seinem Folgewerk *A System of Logistic* im Sinne seiner späteren analytischen ILP-Struktur fortführt. Eine Synthese bestünde darin, mit Fortescue (2001) auch der *Linguistik* eine Whiteheadsche Perspektive anzubieten, wie sie sich bei Masterman (1984) findet.

Im Vorwort zu Quine (1934) stellt Whitehead gerade auf den Fortschritt der durch Quine gebrauchten *Principia-Notation* ab, den diese gegenüber der traditionellen *Subjekt-Prädikat-Doktrin* besitzt. Dieser Fortschritt besteht für Whitehead gerade im Bruch mit ihrer atomistischen Struktur, wie er zur Repräsentation komplexer Systeme unabdingbar ist: »This idea [the concept of 'ordination', A.d.V.] includes the traditional subject-predicate doctrine as one of its particular exemplifications. But it is immensely more general. *Logic should be adequate to explore every type of the connexity of things*«. ²¹¹⁸ Dass Whitehead wie Quine keine Substanzontologie verfolgen, sondern Objekte prozessontologisch als 4D-Objekte konzipieren, ist somit durchaus im Einklang ihrer mathematischen Logik zu sehen, wie sie mit der *Principia Mathematica* grundgelegt wird. Allerdings vertreten beide, wie in Pkt. 5.1 näher ausgeführt, einen diametral anderen Logizismus, weshalb Whitehead an gleicher Stelle nicht mit einer Grundsatzkritik an Quines analytischem Logizismus spart: »Dr. Quine does not touch upon the relationship of Logic to Metaphysics. He keeps strictly within the boundaries of his subject. But – if in conclusion I may venture beyond these limits – *the reformation of Logic has an essential reference to Metaphysics. For Logic prescribes the shapes of metaphysical thought*«. ²¹¹⁹ – Indem sich die Einführung des Ontologiekonzepts in die Informatik bei Mealy (1967) und McCarthy/

²¹¹⁸ Vgl. Whitehead in Quine (1934: ix), Hvh. des Verf.

²¹¹⁹ Vgl. Whitehead in Quine (1934: ix f.), Hvh. des Verf.

Hayes (1969) sowie sein Verständnis bei McCarthy (2000) vor allem auf Quine bezieht, ist die Disziplin gut beraten, sich mit diesen für eine universale Konzeption der formalen Ontologie der Informatik wie für die Lösung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems gleichermaßen entscheidenden Sätzen Whiteheads eingehender auseinanderzusetzen. Denn auf ihrer Basis gelangt man zu einem völlig anderen Ontologieverständnis, wie es für eine CPSS-adäquate transdisziplinäre integrierte Ontologiekonzeption das einzig richtige sein kann. Und damit ist klar: Die Disziplin muss in der Tat zurück von Quine zu Whitehead.

Nehmen wir die beiden oben erwähnten wesentlichen Ansatzpunkte linguistischer Ontologien, wird deutlich, dass beide bereits am einfachen Beispiel der "Werkzeugmaschine" scheitern. Denn mit der breiten Extension solcher Begriffe, die sich noch sehr viel detaillierter darstellen ließe, zeigt sich mit Verweis auf Pkt. 3.2.3, dass *Common Sense-Ontologien* im Allgemeinen zu unpräzise sind, nämlich nicht nur im *technologischen*, sondern gerade auch im *praktischen* Bereich. Für den *wissenschaftlichen* Bereich steht ihre grundsätzliche Nichtverwendbarkeit ohnehin außer Frage. Einfache Begriffe wie "Werkzeugmaschine" können dabei nicht nur im höchst disparaten, sondern mit Verweis auf CPS-Einsatzkontexte auch im höchst komplexen Zusammenhang stehen, der sich kaum auf *Common Sense-Basis* repräsentieren lässt. Somit ist das Ontologieverständnis im Sinne des Referenzontologiegedankens nicht nur mit Blick auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bzw. im Hinblick auf die Ansätze zur *Enterprise Ontology* (EO) speziell in den Kontext hochpräzisen techno-wissenschaftlichen Wissens, also *objektiven Wissens*, zu stellen.

Diese Auffassung widerspricht damit in elementarer Weise bisherigen Ansätzen wie der TOVE-EO, die sich explizit als *Common Sense Model* verstehen.²¹²⁰ Denn solche Ansätze müssen für hochautomatisierte komplexe Systeme wie Cyber-physische Produktionssysteme (CPPS) im Smart Enterprise mehr als fragwürdig erscheinen. Damit bleiben als letzte linguistische Alternative die *wissenschaftlich-universalsprachlichen Ontologien* Carnaps, deren Kern in einem sprachlichen Reduktionismus auf die physikalische Sprache besteht. Tatsächlich könnte man die Auffassung vertreten, dass sich eine *mechanische Drehmaschine* ontologisch sinnvoll in physikalischer Sprache repräsentieren lässt. In diesem Fall wäre ein solcher sprachlicher Reduktionismus durchaus statthaft, wenn davon abgesehen wird, dass eine solche Maschine in ontologischer Repräsentation im PLM-System eines Werkzeugmaschinenherstellers auch zahlreiche Eigenschaften aufweisen kann, die sich nicht sinnvoll in physikalischer Sprache repräsentieren lassen. Hier sei etwa auf Zielkosten, geplante Stückzahlen oder Deckungsbeiträge verwiesen, die im Zuge der Produktentwicklung eine rein marktlich-ökonomische Bewandnis besitzen, die sich nicht bzw. kaum sinnvoll auf physikalische Sprache reduzieren lässt. – Wenn damit auch diese Alternative scheitert, bleibt als *Ultima Ratio* nur die in Pkt. 6.2.7 diskutierte *Mehrebenenontologie*, die von einer universalen *Top-level Ontologie* ausgehend domänenspezifische Sachverhalte im transdisziplinären Sinne in einer *emergentistischen Mehrebenensystematik* repräsentiert.

²¹²⁰ Vgl. Fox (1992) sowie Fox/Chionglo/Fadel (1993).

Genauso muss der Carnapsche Ansatz in *Systemhinsicht* scheitern: wie oben dargelegt, geht es bei *M2M interoperablen Drehmaschinensystemen* als Teil umfassender CPPS der *Smart Factory* mit ihrer für sie elementaren Prozessintelligenz um keine atomistischen, sondern um *systemische* Sachverhalte. Die physikalische Sprache, die Carnap meint, muss bei einheitlicher Intension der "Werkzeugmaschine" gewiss auch dieses spezifische extensionale Element adressieren können; nicht allein den einfachen Fall mechanischer Drehmaschinen, die sich als Objekte problemloser repräsentieren lassen. Allerdings berücksichtigt die physikalische Sprache Carnaps den systemisch-emergentistischen Gesichtspunkt nicht; sie entspringt gerade dem Gegenteil, nämlich einer reduktionistischen Weltsicht. Dem systemisch-emergentistischen Moment lässt sich grundsätzlich nur dann entsprechen, wenn ein anderes physikalisches Paradigma zugrundegelegt wird, etwa indem mit Whyte (1955a, 1957a, 1968) auch für die Physik eine *organismische Weltauffassung* zu postulieren ist. Allerdings setzt eine solche Weltauffassung mit Verweis auf Pkt. 4.2 eine entsprechende Metaphysik voraus, zumal deutlich wird, dass sie konsequent auf eine *Mehrebenenontologie* hinausläuft, die Carnaps Reduktionismus vollständig konterkariert. – Cyber-physische Systeme benötigen also eine *Systemontologie*, die universal ist in dem Sinne, als sich all ihre transdisziplinären Aspekte gleichzeitig wie einheitlich berücksichtigen lassen. Insofern steht eine *Top-level Ontologie* in Frage, die *explizit Systemontologie* ist, zum anderen neben dem Komplexitätsgesichtspunkt solcher Cyber-physischen Systeme auch allen für die Prozessintelligenz resp. Prozesssteuerung relevanten ontologischen Aspekten Rechnung tragen kann.

Wenn es um "Dinge" der Realität geht, gewinnt damit die oben mit Kant (1781) ins Spiel gebrachte Debatte um die *Existenz der Außenwelt* erneute Relevanz, die demgegenüber weder im linguistischen OE-Ansatzpunkt im Allgemeinen, noch mit dem linguistischen Charakter des semiotischen Dreiecks durch dieses im Besonderen angedacht ist. Vielmehr bilden der *Referent* bei Ogden/Richards (1923) wie auch die *Extension* bei Carnap (1950) *linguistische* Terme, und gerade explizit keine metaphysischen. Der metaphysische Realismus wird vielmehr abgelehnt; die Frage der Existenz der Außenwelt als irrelevant abgetan, und die ganze Metaphysik soll mit Carnap (1931b) durch logische Analyse der Sprache überwunden werden. Wie erwähnt ist es Carnap, der für zentrale Ideen der deskriptiven Metaphysik Pate steht und insgesamt den linguistischen OE-Ansatzpunkt der Informatik im Zeichen seiner Lehre von der Intension und Extension noch heute durch und durch bestimmt. Mit der Verwendung des semiotischen Dreiecks im Kontext linguistischer Ontologien wird klar, dass die explizite Annahme einer externen Realität resp. eines Realismus sich an *Dingen*, und damit an *ideellen resp. materiellen Substanzen* oder sich selbst genügenden *Objekten* orientiert.²¹²¹ Damit stehen linguistische Ontologien in der Informatik, die den Referenten bei Ogden/Richards (1923) durch ein "Ding" ersetzen, mit Verweis

²¹²¹ So wird etwa bei Dietz (2006b: 36) der linguistische *Referent* im semiotischen Dreieck durch das metaphysische *Objekt* im explizit Bungeschen (1977a) Sinne ersetzt.

auf Pkt. 6.1.1 im Allgemeinen im Zeichen einer *Substanz- oder Objektontologie*, wie es etwa auch für die DOLCE-TLO Guarinos zutreffend ist. Denn das Diskursuniversum lässt sich nur dann überhaupt im Sinne *linguistischer Ontologien* fassen, wenn es auch linguistisch greifbar wird.

Indem die linguistische Ontologie wesentlich im Kontext der analytischen Ontologie resp. Metaphysik bzw. ihrer Vorläufer und damit in jenem der *Analytischen Philosophie* insgesamt zu sehen ist, muss im Vorgriff auf Pkt. 5.5 weiter ausgeholt werden: Dabei ist zunächst zu klären, was *Analytische Philosophie* genau ist, wobei es zu dieser Frage sehr heterogene Positionen gibt bzw. der Begriff im Allgemeinen unscharf definiert ist.²¹²² Allgemeiner Konsens besteht zu folgender Auffassung: die Analytische Philosophie beginnt mit der unten zu konkretisierenden *linguistischen Wende* (linguistic turn), die mit B. Russell und G.E. Moore als ihren Begründern einsetzt und in jeweils unterschiedlicher Akzentuierung die Methode der Sprachanalyse in den Vordergrund rückt, die vor allem auf die logische Analyse sprachlicher Ausdrücke hinausläuft. Mit der unterschiedlichen Akzentuierung, die Russell als Whitehead-Schüler im Zeichen mathematischer Logik einerseits, und Moore demgegenüber von der klassischen Sprachwissenschaft, also der Philologie herkommend andererseits auszeichnen, erklärt sich auch ihre unscharfe Abgrenzung. Indem die Analytische Philosophie auf die linguistische Wende zurückgeht, wird sie zuweilen auch als "linguistische Philosophie" (linguistic philosophy) bezeichnet. Allerdings ist diese Bezeichnung mit ihrer einseitigen Hervorhebung der Linguistik genauso irreführend wie jene alternativ gebrauchten der "Sprachphilosophie" bzw. "Analytischen Sprachphilosophie".²¹²³ Sprachphilosophie ist trivialerweise "Philosophie der Sprache", doch ist die Bezeichnung "Philosophy of Language" i.e.S. allein für die natürliche Sprache reserviert.²¹²⁴ Demgegenüber bildet die Bezeichnung *Analytische Philosophie* ein Hypernym; sie ist immer als breite Strömung gemeint, die sich in zwei wesentliche Richtungen unterteilt: mit der Tradition Russells (Carnap, Goodman, Quine) in einen *idealsprachlichen* (ILP), und der Tradition Moores (Wittgenstein, Ryle, Austin) in einen *normalsprachlichen* resp. *natürlichsprachlichen* Zweig (OLP). Der ILP-Zweig steht dabei als *Philosophie der idealen Sprache* im Zeichen der mathematischen Logik und bedient sich den Mitteln der Ideal- bzw. Formalsprache (Ideal Language Philosophy), d.h. primär der formalen Logik, während sich der OLP-Zweig als *Philosophie der normalen Sprache* (Ordinary Language Philosophy) auf Normalsprache bzw. natürliche Sprache konzentriert.²¹²⁵ Mit dem Wirken von Ryle und Austin wird der OLP-Zweig auch als "Oxford Philosophy" bezeichnet.

Für ein wirkliches Verständnis der Ontologie der Informatik sind die Entwicklungen rund um die Analytische Philosophie von höchster Relevanz, jedoch keineswegs ausreichend. Sie sind relevant, insofern die Ontologie der Informatik in großen Bereichen in der

²¹²² Vgl. hierzu auch Hacker (1996).

²¹²³ Vgl. hierzu Kutschera (1975), Runggaldier (1990) sowie Blume/Demmerling (1998).

²¹²⁴ Vgl. etwa Lycan (1999).

²¹²⁵ Vgl. hierzu etwa Hanfling (2000).

Analytischen Philosophie ihre eigentliche Fundierung besitzt. Das gilt bereits für linguistische *Common Sense-Ontologien*, die grundlegend auf zentrale Ideen der OLP-Tradition G.E. Moores zurückgehen.²¹²⁶ Analoges gilt für die Verwendung des semiotischen Dreiecks im Zuge linguistischer Ontologien der Informatik. Denn beim Begriff, bei der Intension oder schließlich bei der Konzeptualisierung geht es insofern um *normalsprachliche* Konzepte, als sie beim natürlichen Subjekt im Zeichen des semiotischen Dreiecks direkt ein mentales Bild erzeugen bzw. einen bestimmten Bewusstseinszustand hervorrufen. Allerdings werden solche linguistische Ontologien in den meisten Fällen – wenn auch nur partiell – durch die revisionäre Metaphysik bzw. die klassische Ontologie fundiert. Das ändert sich schlagartig mit Genesereth/Nilsson (1987); mit ihnen vollzieht sich die *linguistische Wende* der Informatik vollumfänglich, indem es zum Bruch mit der revisionären Metaphysik bzw. der klassischen Ontologie kommt. Dieser Bruch vollzieht sich im Sinne der ILP-Tradition, und zwar speziell im Zeichen Carnaps, etwa indem auf der Prädikatenlogik und anderen formalen Ansätzen aufgebaut wird, und man Ontologie wesentlich auf formale Logik zu reduzieren sucht. Diese im reinen linguistischen OE-Ansatzpunkt stehende Ontologiekonzeption Genesereth/Nilssons (1987) setzt sich im direkten Rekurs mit Gruber (1993, 1995) fort, wenngleich hier weniger formale Methoden als vielmehr wiederum die Normalsprache im Sinne von Vokabularien im Vordergrund steht. Insgesamt kann mit dieser in der Informatik vollendeten linguistischen Wende eine deutliche Verbindung zwischen dem linguistischen OE-Ansatzpunkt und der Analytischen Philosophie ausgemacht werden. Tatsächlich steht sie – wenn auch nur implizit – nicht nur sehr deutlich im Zeichen von Carnaps Überlegungen, sondern auch in jenem seines wichtigsten akademischen Lehrers, nämlich Wittgenstein. Denn es ist nicht zuletzt Wittgensteins (1921) *Tractatus*, der behauptet, dass die *Struktur der Sprache* die *Struktur der Welt* offenbare, worin die eigentlich konstituierende Bedingung des linguistischen OE-Ansatzpunkts der Informatik, nämlich die *Harmonie-These*, besteht. Wenn es bei der Metaphysik um die fundamentalen Strukturen der Welt geht, mit Blick auf die aktuelle Welt gerade auch um jene der Realität, wird sie demzufolge dennoch nicht benötigt. Denn nach Auffassung Wittgensteins kann die Methode der Sprachanalyse diese Aufgaben mühelos übernehmen. Carnaps (1931b) Idee der Überwindung der Metaphysik durch logische Analyse der Sprache bewegt sich dabei genau in dieser Tradition.

Allerdings ist mit Verweis auf Pkt. 4.1 herauszustellen, dass Wittgenstein (1921) wie Carnap (1931b) dabei nicht die wissenschaftliche Metaphysik im Sinn haben, sondern die reine bzw. exakte Metaphysik. Denn auf Basis der wissenschaftlichen Metaphysik wird im Sinne des realistischen OE-Ansatzpunkts eine dazu vollständig konträre Position eingenommen, die sich bei Whitehead und Bunge genauso explizit findet wie implizit bei Popper: die fundamentalen Strukturen sind allein im Zuge eines Ratio-Empirismus über die *wissenschaftliche Metaphysik* zu klären, was in elementarer Weise die Bedeutung des ob-

²¹²⁶ Vgl. hierzu etwa G.E. Moore (1925).

jektiven Wissens hervorhebt und damit spezifische epistemologische wie methodologische Positionen unmittelbar impliziert. Genau in diesem Sinne lehnen sie alle die Sprachphilosophie entschieden ab – und haben mit dieser Auffassung unzweifelhaft Recht. In der Tat muss das sprachphilosophische Unterfangen, durch einfache logische Analyse sprachlicher Ausdrücke die fundamentalen Strukturen der Welt offenlegen zu wollen, unweigerlich scheitern, was insbesondere für Moores Rückführungsversuche auf die Alltagssprache gilt. Vor diesem Hintergrund bleibt kaum etwas anderes übrig als die Positionen Wittgensteins wie Carnaps in dieser Sache letztlich als naiv zu werten: nicht nur steckt Wittgensteins (1921) *Tractatus* mit Verweis auf Pkt. 5.5 voller metaphysischer Sätze, sondern Carnaps (1931a) physikalische Sprache als Universalsprache aller Wissenschaften kommt um zahlreiche metaphysische Dispositionen selbstverständlich genauso wenig umhin. Orientiert sich beispielsweise die normale Sprache traditionell an *Dingen, Objekten bzw. Substanzen*, besteht darin gleichermaßen eine metaphysische Disposition wie bei Wittgensteins (1921) konterkarierender Behauptung, wonach die Welt gerade *nicht aus Dingen*, sondern aus *Tatsachen* bestehe. Immer handelt es sich um *Metaphysik*, weil es die fundamentalen Strukturen der Welt betrifft. Diese Metaphysik Wittgensteins ist dabei insofern *schlechte Metaphysik*, als er sich selbst nicht in die Lage versetzt, seine Behauptungen in umfassenderer Weise zu begründen: Wittgensteins (1921) *Tractatus* ist ein Werk voller metaphysischer Behauptungen ohne Rückgriff auf ratio-empirische metaphysische Begründungen.

Demnach muss erneut gelten: Zurück zu den Sachen! Natürlich lassen sich die fundamentalen Strukturen der Welt letztlich nur dann offenlegen, wenn man sich mit den Objekt- bzw. Ereignisbereichen selbst beschäftigt und nicht mit der Analyse jenes Hilfsmittels, über das man darauf bezogene Sachverhalte beschreibt. Allein in letzterem Sinne bleibt Sprachphilosophie wichtig; sie kann aber nicht die eigentliche Fundierung des OE-Ansatzpunkts bedeuten. Sie kann vor allem auch keinen Ersatz für die metaphysische Ontologie bieten. Geht man zurück zu den Sachen, wird man auf Basis einer ratio-empirischen Metaphysiksystematik erkennen, dass die fundamentalen Strukturen der Welt in einem universalen, evolutionären Verständnis weder in Dingen noch in Tatsachen begründet liegen, sondern vielmehr in der strukturalen Relationalität von Ereignissen, Prozessen und Komplexität. Denn ein universales Verständnis bedeutet, dass es tatsächlich im UoD-Sinne mathematischer Logik für alle Welten gelten kann, für wissenschaftliche, technologische und praktische gleichermaßen wie für aktuelle und mögliche Welten, und in CPSS-Adäquanz gleichzeitig für Cyberwelten wie für physische Welten samt ihrer Übergänge. Dabei handelt es sich offenbar insgesamt um Sachverhalte, die auf OLP-Basis erst gar nicht sachgerecht zu erschließen sind; auf klassischer ILP-Basis auch nicht. Möglich wird dies nicht auf Basis eines analytischen Logizismus, sondern allein auf der Grundlage eines *metaphysischen Logizismus*, der unmittelbar in eine techno-wissenschaftliche Metaphysik und ihren Ratio-Empirismus integriert ist. Damit steht außer Frage, dass das Programm der Analytischen Philosophie in dem für sie entscheidenden Welterschließungsanspruch auf

Grundlage der Methode der Sprachanalyse insgesamt gescheitert ist. Um Metaphysik kommt man nicht umhin, und entsprechend stellt auch die hier vertretene Position Metaphysik dar. Doch ist sie im Sinne des Ratio-Empirismus wissenschaftlicher Metaphysik gut begründbar und schließlich im kategorialen System fallibel. Es steht außer Frage, dass nur in Metaphysikansätzen, die faktisch umfassend kritikabel sind und sich nicht – wie gerade die analytischen Metaphysiken – dagegen immunisieren, der einzig gangbare Weg zur Ontologie im Ganzen, also zu einer *integrierten Ontologie*, bestehen kann.

Die heutige Ontologiebasis der Informatik baut indessen indirekt immer noch auf Wittgensteins (1921) unhaltbarer Sichtweise auf. Sie ist für den linguistischen OE-Ansatzpunkt nach wie vor genauso konstituierend wie insgesamt für die deskriptive Metaphysik. Das wird an den verschiedensten Ansätzen offensichtlich, etwa wenn die Informatik weiterhin maßgeblich auf *Common Sense-Ontologien*, insbesondere auf ihrem Kern der *Naïve Physics*, aufbaut. In exakt-wissenschaftlicher Hinsicht steht dabei letztlich immer noch die veraltete Position des Logischen Empirismus, der behauptet, in Diktion der *physikalischen Sprache* die Welt noch umfassender erschließen bzw. einfangen zu können, so dass Carnap (1931a) sie unvermittelt zur *Universalsprache* der Wissenschaft erklärt. Die maßlose Überschätzung der Funktion der normalen Sprache wird dabei daran offensichtlich, dass sie im Zeichen der anvisierten *Einheit der Wissenschaften* darüber hinaus zur *Einheitssprache* avanciert.²¹²⁷ Zwar stellt sich für die Informatik mit der notwendigen Einheit des Wissens im Kontext der universalen formalen Ontologie in der Tat diese Einheitsfrage. Allerdings kann diese auf keinem sprachlichen Reduktionismus, sondern vielmehr allein auf der durch die *Top-level Ontologie* bedingten *universalen Ontologie* und *Transdisziplinarität* aufbauen. Insofern geht die auch bei Carnap (1928a) anzutreffende Idee Russells bzw. Whiteheads der *Strukturwissenschaft*, die im Zeichen von Leibnizens *Mathesis universalis* resp. *Scientia generalis* steht, gewiss in die richtige Richtung. Nur kann diese dabei nicht wie später bei Carnap (1931a) auf den Begriffsapparat der physikalischen Sprache reduziert werden. Vielmehr lassen sich die einheitlichen Kategorien universaler Ontologie nur im Zuge eines fortwährenden Ratio-Empirismus wissenschaftlicher Metaphysik gewinnen. Damit steht im Hinblick auf den Einheitsgedanken etwas anderes in Frage als bei Carnap (1938: 397), der konstatiert: »The question of the unity of science is meant here as a problem of the logic of science, not of ontology«. Und an gleicher Stelle heißt es: »We do not ask: "Is the world one?" "Are all events fundamentally of one kind?" "Are the so-called mental processes really physical processes or not?" "Are the so-called physical processes really spiritual or not?"«. Tatsächlich sind diese Fragen gar nicht notwendig in dieser Weise zu stellen, um das Ziel einer *ontologischen Einheit* der Wissenschaften zu verfolgen. Vielmehr ist allein entscheidend, ob sich auf Basis eines einheitlichen *ereigniszentrierten metaphysischen Systems* und bezogen auf die AI-Ontologie entsprechend auf der Grund-

²¹²⁷ Vgl. hierzu Carnap (1931a, 1934a).

lage einer *ereigniszentrierten Top-level Ontologie* sämtliche Domänen im transdisziplinären Sinne universal adressieren lassen?

Die Intension und Extension linguistischer Ontologien ist zuvorderst eine *natürlichsprachliche*. Es geht dabei um sprachliche *Konzepte*, wie sie oben am Beispiel der "Werkzeugmaschine" illustriert wurden. Beide wesentlichen Ansatzpunkte linguistischer Ontologien, also sowohl die naiven *Common Sense-Ontologien* als auch die professionellen *wissenschaftlich-universalsprachlichen Ontologien* Carnaps, haben eines gemein, nämlich ihre Auffassung, dass nur sie – im vermeintlichen Unterschied zum *idealsprachlichen* Zweig (ILP) – einen *ontologischen Gehalt* besitzen. Bei Carnap (1931a: 433) findet sich diese Auffassung explizit, wenn er feststellt: »Die Sätze der *Logik und Mathematik* sind Tautologien, analytische Sätze, Sätze, die allein auf Grund ihrer Form gültig sind. Sie haben keinen Aussagegehalt, d. h. sie besagen nichts über das Bestehen oder Nichtbestehen irgendeines Sachverhaltes«. Demgegenüber hat Whiteheads Schüler Quine (1948) gezeigt, dass diese Auffassung Carnaps nicht notwendig richtig ist,²¹²⁸ nämlich indem alles Sein als Wert gebundener Variablen repräsentiert wird.²¹²⁹ Analoges gilt für die *ontologische Verpflichtung* bei Church (1958), und diese ontologische ILP-Tradition wird insbesondere durch Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica*, durch Whitehead (1920) sowie Russell (1927a) begründet. Es ist dieser ILP-Zweig zur Ontologie, in dem der eigentliche Wegbereiter zur formalen Ontologie dann richtig gesehen wird, wenn man diesen mit Verweis auf Pkt. 5.1 im Sinne des *metaphysischen Logizismus* versteht. Die Rolle des OLP-Zweigs wird erst auf dieser Grundlage verständlich: Formale Ontologiesprachen, die – wie der SBVR-Standard – etwa auf *Structured English* basieren, sind gewissermaßen zur Vereinfachung im Sinne von Benutzerschnittstellen auf der formalen Logik aufgesetzt.

Dass Carnaps Rechnung insgesamt nicht aufgeht, deutet sich bereits mit Ullmann (1962) noch im Kontext des semiotischen Dreiecks selbst an; genauso wird es durch die Entwicklungen in der Wissenschaftstheorie insbesondere mit Popper und in der Metaphysik insbesondere in der Folge Whiteheads auch darüber hinaus deutlich: Es ist Ullmann (1962: 56 f.), der zu Recht darauf hinweist, dass der "Referent" bei Ogden/Richards (1923) jenseits der Linguistik liegt: »[T]he referent, the non-linguistic feature or event as such, clearly lies outside the linguist's province«. Analoges gilt selbstverständlich für Carnaps "Extension"; und somit steht außer Frage, dass *Intension* und *Extension* zwar einander bedingen, jedoch offensichtlich nicht ein rein linguistisches Begriffspaar darstellen. Insofern ist es für Ullmann (1962: 57) auch vollkommen unproblematisch, "Referent" durch "Ding" zu substituieren, wie es Ogden/Richards (1923) noch explizit ablehnen. Die Extension verlangt nicht nur ein Bekenntnis entweder zum Realismus oder Idealismus; sie ist als Außenwelt letztlich metaphysischer Natur. Dabei werden Carnaps (1950: 21 f.) oben zitierte "*externe Fragen*" zuweilen direkt als *externe Metaphysik* erachtet, während seine mit der

²¹²⁸ Vgl. hierzu Quine (1951a: 67) in expliziter Auseinandersetzung mit Carnap.

²¹²⁹ Vgl. hierzu Quine (1975b: 131 ff.) sowie im Einzelnen Quine (1992a: 25 ff.).

Intension verbundenen *internen Fragen* entsprechend als *interne Metaphysik* aufgefasst werden.²¹³⁰ Eine solche Zuordnung ist tatsächlich angezeigt, indem sie für das Verständnis des in Pkt. 6.2.2 dargestellten Gegensatzes von *deskriptiver* (bzw. interner) und *revisionärer* (bzw. externer) Metaphysik Strawsons (1959) wesentlich ist.²¹³¹

Allerdings besitzen Carnaps (1950: 21) *interne und externe Fragen* nicht nur an sich ihre Berechtigung, sondern sie sind in dieser Debatte insofern unabdingbar, als es dabei um »two kinds of questions of existence«, und damit um nichts anderes als um jene zwei *Existenzbegriffe* geht, von denen bereits in Pkt. 3.1 und an anderer Stelle die Rede war. Es geht also mit Carnap (1950, 1956) um das, was wir als *reale Existenz* einerseits und als *definitorische Existenz* andererseits bezeichnet hatten. Demnach handelt es sich um zwei Arten von Existenzaussagen, nämlich einmal im Zeichen der *Intension* um die Frage nach *interner Existenz*, zum anderen im Zeichen der *Extension* um die Frage nach *externer Existenz*. Mit Gómez-Pérez et al. (2004: 3) wird deutlich, dass diese beiden Existenzbegriffe im Zuge des *Ontology Engineering* faktisch zentrale Relevanz besitzen, indem sie im direkten OE-Kontext zwischen *Existenz* ("existence") und *Wesen* ("essence") differenzieren. Dabei legen sie am Beispiel des *Centaurus* dar, dass Existenz und Wesen nicht notwendig positiv korreliert sind: ungeachtet der Tatsache, dass der *Centaurus* nicht existiere, komme ihm dennoch ein Wesen zu. Das entspricht dem, was wir oben am Beispiel des Fiktivbegriffs "Pegasus" zu den "leeren" Begriffen festgestellt hatten. Mit den beiden Existenzbegriffen steht somit auch mit Blick auf das *Ontology Engineering* außer Frage, dass eine *Mehrwellenlehre* erforderlich ist, wie sie heute im OE-Sinne noch nicht vertreten wird.²¹³² Damit wird deutlich, dass die oben differenzierte *reale und definitorische Existenz* keinen Widerspruch bilden, sondern sich vielmehr im Sinne Poppers auf verschiedene Welten beziehen, sich als solche ergänzen, und im Sinne der zwingenden Korrelation von Intension und Extension im Zuge der Begriffsbestimmung immer aufeinander zu beziehen sind.

Vor diesem Hintergrund wird offensichtlich, worin die Probleme eines strikt vorausgesetzten metaphysischen Realismus liegen: Wird die Extension zwingend auf diesen bezogen, indem Dingen als Elementen der Außenwelt *reale Existenz* unterstellt wird, ist die aus der mathematischen Logik stammende neutral-formale Idee des Diskursuniversums (UoD) nicht mehr haltbar. Denn dann bezöge sich jedes Diskursuniversum qua Extension zwingend auf die real existente Außenwelt. Das aber kann weder für die Analytische Philosophie noch für die Formalwissenschaften oder die Linguistik sinnvoll erscheinen, weil damit ihr universaler Charakter verlorenggeht. Es ist daher wichtig, dass ein Ansatzpunkt erhalten bleibt, der universal ist, der nicht nur physisch-reale Welten adressieren kann, sondern auch jede Form von *möglichen Welten, artifiziellen Welten, fiktiven Welten* oder *Denkwel-*

²¹³⁰ Vgl. etwa B. Smith (2003a).

²¹³¹ Gute, d.h. CPSS-adäquate Metaphysik verkörpert dabei *gleichzeitig die externe und interne Metaphysik*, wie es mit Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* vollzogen wird; diese ist als externe Metaphysik dabei aber immer prinzipiell *revisionär*, wie sie es vor dem Hintergrund des *Ratio-Empirismus* nur sein kann.

²¹³² Vgl. hierzu auch Pkt. 6.2.7.

ten. Denn diese sind für Simons (1969) *Sciences of the Artificial* genauso unabdingbar wie für Innovationssysteme, komplexe Systeme, MAS-basierte CPS wie insgesamt für alle technologischen Systeme, die die Informatik notwendigerweise zu adressieren hat. Entsprechend markiert ein solch universaler Ansatzpunkt für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* eine Basisanforderung.

Damit entsteht ein Dilemma, das in klassischen *Monoweltenontologien* nicht aufzulösen ist: Denn einerseits ist der Realitätsbezug zwingend, weil sich ansonsten nicht einmal die Begriffsart bestimmen lässt. Dieser muss dabei insofern über den Empirismus hinausgehen, als eine kategoriale Bestimmung der Dinge unabdingbar wird. Zum anderen aber kann umgekehrt nicht zwingend ein Realitätsbezug für die Extension unterstellt werden, weil ansonsten die formale bzw. natürliche Sprache lediglich auf Realwelten eingeschränkt wäre. Aus dem Gesagten folgen zwei elementare Schlüsse: (i) der linguistische OE-Ansatzpunkt ist gescheitert, weil er nicht um die externe Metaphysik umhinkommt und diese mit dem Erfordernis metaphysischer Kategoriensysteme den eigentlichen Referenzpunkt darstellt. Die Frage der realen Existenz von Entitäten ist also sowohl im wissenschaftlichen als auch im technologischen Zusammenhang für Zwecke der Wissensrepräsentation elementarer als es durch den linguistischen OE-Ansatzpunkt bisher wahrgenommen wird. In einer systemisch-kausalen Weltsicht ist dieser entscheidend. (ii) Auch der realistisch-metaphysische OE-Ansatzpunkt scheitert in all jenen Fällen, in denen dieser als *Monoweltenontologie* konzipiert ist, die sich konsequent in dem Sinne am metaphysischen Realismus orientiert, als sie wie die BWW-TLO real nicht Gegebenes bzw. Kontrafaktisches strikt ausschaltet. – Worin kann dann die Lösung dieses Dilemmas bestehen, das sich offenbar nicht ohne weiteres auflösen lässt? Worin besteht also ein tragfähiger OE-Ansatzpunkt, der gleichzeitig dem realistischen wie dem universalen, auch jede Form logisch möglicher Welten mit einbeziehenden Gesichtspunkt gerecht wird?

Der einzige Ausweg aus diesem Dilemma besteht in einer *emergentistischen Mehrweltenontologie*, die real-physische Welten weder auf Materie beschränkt noch reduktionistisch ist, die somit *Mehrebenenontologie* ist, die auch eine *Ontologie der Artefakte* zulässt; die imaginäre Denkwelten genauso berücksichtigt wie den strikten wissenschaftlichen Gesichtspunkt. Dieser impliziert mit Verweis auf Pkt. 3.2.2 eine ausschließliche Beschränkung auf *faktische Universalien* im Sinne der BFO-TLO resp. BWW-TLO, weil hier nur faktische Regelmäßigkeiten bzw. tatsächlich gegebene Invarianten in der Realität interessieren. Demgegenüber haben *mögliche Universalien*, wie sie die DOLCE-TLO in ihrer platonistischen Haltung und ihrem expliziten Rekurs auf den *Modalen Realismus* Lewischer (1983, 1986) Prägung in undifferenzierter Weise mit einbezieht, in diesem Weltmodus unter wissenschaftstheoretischer Maßgabe nichts zu suchen. Denn sie stehen der Zielsetzung objektiven Wissens und damit der Idee der wissenschaftlichen Referenzontologie diametral entgegen. Wie bereits in Pkt. 3.1 dargelegt, vertreten J. Kim et al. (2012: 3) wie viele andere Metaphysiker bzw. Ontologen die Auffassung, dass selbst *fiktionale* Objekte

wie "*Pegasus*" mit zur Ontologie gehören müssten, weil über sie etwas ausgesagt werden könne. Zwar ist für die formale Ontologie der Informatik im Sinne einer universalen UoD-Konzeption mathematischer Logik diese Auffassung richtig, doch ändert dies nichts an der Tatsache, dass solche Objekte nicht in die Weltmodi der *Scientific Ontologies* gehören. Denn diese Welten wären dann nicht nur ontisch überladen, sondern auch unzulässig mit Objekten vermengt, die nach Maßgabe des entscheidenden metaphysischen Realismus bzw. unter empirischen Gesichtspunkten nichts miteinander zu tun haben.²¹³³ Es steht somit außer Frage, dass die Informatik einer integrierten Ontologiekonzeption bedarf, die insbesondere auch einer systematischen Dualität von Aktualismus und Possibilismus gerecht wird. J. Kims et al. (2012: 3) Position macht damit genauso unweigerlich das Erfordernis einer *emergentistischen Mehrweltenontologie* offensichtlich, die im Sinne Poppers zwischen verschiedenen Wissenswelten differenziert, wie es für eine Synthese der gänzlich disparaten Auffassungen etwa Guarinos und B. Smithens in dieser Sache unabdingbar ist. Die Anforderungen einer solchen *Mehrweltenontologie* werden in Pkt. 3.5 im Zuge von CYPO FOX als integrierter Ontologiekonzeption weiter vertieft und entwickelt, womit die Frage der *Extension* insgesamt konsequent auf divergierende Welttypen zu beziehen ist.

Offenbar ist es zum einen die vielschichtige *Beziehung zwischen Intension und Extension*, die wesentlich ist, wie es auch etwa für Alexander/Freiling et al. (1986: 965 f.) außer Frage steht. Zum anderen ist es damit verbunden die Frage, ob die *Extension* notwendig in explizitem Bezug zum *metaphysischen Realismus* zu sehen ist – oder ob man in dieser Sache gerade bewusst eine neutrale Position beziehen sollte. Wird der *metaphysische Realismus* unterstellt, handelt es sich vor dem Hintergrund des klassischen Existenzbegriffs bei den Dingen explizit um *reale Dinge*; es geht also um die *reale Existenz*, wie sie die klassische Ontologie zum Gegenstand hat. Auf dieser Grundlage steht außer Frage, dass zwar jeder Referent (Ding) problemlos unmittelbar ein Signifikat erzeugen kann, jedoch umgekehrt nicht ein Signifikat automatisch entsprechende reale Dinge. Vor allem aber lässt sich nicht vom Signifikat auf die reale Existenz eines Referenten (Dinges) schließen. Dieser Schritt ist unzulässig, wie es in der zugehörigen Debatte betont wird:

»There is, in fact, no way of telling what sorts of things there are given the sorts of things we say. But neither is there a complete gap between our words and the world out there. It's just that the bridge must be built from below, as it were: *ontology comes first*, and depending on what we think there is, we must attach a meaning to what we say. Going the other way around is wishful thinking. It is to commit a serious ontological fallacy, no matter how we go about drawing a line between surface grammar and deep structure.«²¹³⁴

Mit Varzi (2007) wäre es somit auch ein Fehlschluss, vom linguistischen OE-Ansatzpunkt auf ontologische Sachverhalte schließen zu wollen, insbesondere, wenn es um reale Sachverhalte geht. Auch in dieser Referenzhinsicht eignet sich der linguistische OE-An-

²¹³³ Insofern relativiert sich die Kritik von Dumontier/Hoehndorf (2010) an der *Universalienposition* von Smithens BFO-TLO. Da diese Kritik allerdings im Grundsatz – insbesondere mit Blick auf die Frage des Wissenschaftsfortschritts wie dem Innovationsgedanken – richtig ist, steht nicht nur mit Pkt. 3.5 das Erfordernis einer *Mehrweltenontologie* außer Frage. Vielmehr ist mit Verweis auf Pkt. 6.2.3 auch die *Universalienposition* auf eine solche *Mehrweltenontologie* zu beziehen.

²¹³⁴ Varzi (2007: 282 f.), Hvh. des Verf.

satzpunkt nicht. Vielmehr muss es mit Varzi (2007) umgekehrt gelten, von ontologischen Sachverhalten ausgehend zur linguistischen Repräsentation zu gelangen. Ein solches Procedere lässt sich etwa auf SBVR-Basis exemplarisch darlegen. Insofern ist Heil (2003: 189) in seiner Feststellung zuzustimmen, dass linguistische Ontologien dieses Procedere in letztlich unzulässiger Weise umkehren. Es wäre in der Tat ein Repräsentationsfehlschluss, wie ihn auch Dyke (2007) konstatiert, wenn man aus Fakten der Sprache auf die fundamentale Natur der Realität schließen wollte. Auch insofern wird deutlich, dass Carnaps (1931a, 1931b) Position, die die Metaphysik durch die logische Analyse der Sprache ersetzen will, dann nicht haltbar ist, wenn erste im Zeichen des Ratio-Empirismus auf die Analyse der *fundamentalen Strukturen der Welt* zielt. Diese stehen in einer Mehrweltenontologie im Plural und beziehen sich bei Welten, die aktuelle Welt sind, somit gleichzeitig auf die *Analyse der fundamentalen Strukturen der Realität*. Genau davon, und von nichts anderem handelt wissenschaftliche bzw. techno-wissenschaftliche Metaphysik. Kripkes (2013) *Reference and Existence* zeigt in ihrer Konsequenz nochmals deutlich die Problematik der Sprachphilosophie auf, die nicht nur Pate des linguistischen Ontologieverständnisses der Informatik ist, sondern um die insbesondere mit Heil (2003) – aber auch mit Dyke (2007) – auch an sich eine berechtigte Grundsatzdebatte entbrannt ist.

In weiten Teilen der Informatik werden heute nicht nur die dargestellten Fundamentalprobleme übersehen, die der linguistische OE-Ansatzpunkt als solcher mit sich bringt. Vielmehr werden damit zusammenhängend auch die fundamentalen Probleme außer Acht gelassen, die dadurch entstehen, dass der Ontologiebegriff nicht im *realistisch-metaphysischen* Sinne ausgelegt wird. Diese fundamentalen Probleme gelten für alle Ontologiesphären, für die wissenschaftliche und technologische genauso wie für die praktische, was nicht zuletzt im industriellen PLM-Kontext inakzeptabel ist. – Zur Frage, was konkret für ein striktes Eintreten für den realistischen Ontologiebegriff spricht, lassen sich nicht weniger als zehn wesentliche Argumente anführen. Sie zeigen im Vorgriff auf Pkt. 5.1 bereits auf, warum der Ontologiebegriff nicht – wie bei Quine – ein realistisch-empirischer sein kann, sondern vielmehr zwingend ein *realistisch-metaphysischer* sein muss:

1. Mit den heute allseits akzeptierten CM-Ontologien ist der *realistisch-metaphysische Ontologiebegriff* in der Informatik als solcher in dem Sinne von vornherein gesetzt, als er mit *realistischen Top-level Ontologien* in der CM-Sphäre außer Frage steht. Dieser Ontologiebegriff kann insofern kein realistisch-empirischer sein, weil er wesentlich auf TLO-Kategoriensystemen aufbaut. Genauso stehen auch die damit verbundenen meta-ontologischen Aspekte in direktem Bezug zur Metaphysik. Insofern gilt jener etwa durch die BWW-TLO vorausgesetzter Ontologiebegriff von Angeles (1981: 198), wonach *Ontologie* zu verstehen ist als »[t]hat branch of philosophy which deals with the order and structure of reality in the broadest sense possible«, was sich im allgemeinsten Weltmodell der Informatik, der *Top-level Ontologie*, entsprechend spiegeln sollte. Dieser Ontolo-

giebegriff deckt sich mehr oder weniger mit anderen realistischen TLO-Ansätzen, die wie die BWW-TLO rein auf aktuelle Welten abstellen. Bei der BFO-TLO etwa ist dabei zu beachten, dass es zwar um eine realitätsorientierte Ontologie geht, die jedoch phänomenologisch bzw. empirisch, nicht strukturalistisch-metaphysisch ist. Es geht hier also nicht um Kosmologie, wie es bei Bunge und Whitehead vor dem Hintergrund der Einheit der Erkenntnis der Fall ist. Denn damit muss es zwangsläufig um die fundamentalen Strukturen der Realität, mithin um Metaphysik als Tätigkeit gehen. Zwar ist der Realitätsbegriff mit Angeles (1981) in einem breiten Sinne auszulegen, doch schränkt Bunges Materialismus die BWW-TLO in diesem eigentlich selbst verfolgten Ansinnen in unnötiger wie vor allem in CPSS-inadäquater Weise ein. Nicht weniger problematisch ist der Realitätsbegriff des *Modalen Realismus*, auf dem jener der DOLCE-TLO Guarinos et al. aufbaut, denn dieser ist in seiner undifferenzierten Natur nicht minder ungeeignet. – Realität ist sicherlich nicht an allen denkbaren möglichen Welten, und damit – letztlich – an der Cartesischen *res cogitans* festzumachen, genauso wenig – wie bei Bunge – allein an der Materie und damit an der Cartesischen *res extensa*. Offenbar lässt sich das, was "Realität" ist, kaum geeignet auf Basis solcher wie gleichermaßen fragwürdiger TLO-Ansätze bestimmen. Pragmatischer und aussagekräftiger ist es, auch diese Diskussion auf komplexe U-PLM-Systeme als Referenzszenario zu beziehen, weil sich die TLO-zentrische *Ontologie komplexer IoX-Systeme* als komplexester wie diffizilster Fall semantischer Systemintegration auf die verschiedensten Realitätsebenen, inklusive jener Cyber-physischer Systeme (CPS), erstreckt. Allein auf diese Weise ist ein Realitätsverständnis erreichbar, das für Wissenschaft, Technologie und Praxis *universal* voraussetzbar ist, wie es eine ereigniszentrierte universale Ontologiekonzeption zweifellos erfordert. Dann wird deutlich, dass sich auch der Realitätsbegriff nur im Wechselspiel ontologischer Weltmodelle bestimmen lässt, womit sich in Pkt. 3.5 bzw. Pkt. 4.6 der durch CYPO FOX zugrundegelegte Poppersche weite Realitätsbegriff als einzig geeignet und CPSS-adäquat erweist. Dementsprechend muss es bei realistischen TLO-Ansätzen, die auch *mögliche Welten* adressieren, wie bei der Sowa-TLO oder der CYPO TLO gelten, den Ordnungs- und Strukturgedanken nicht zwingend an der Realität festzumachen, sondern vielmehr an *spezifischen Weltmodi*, was die Sowa-TLO allerdings übersieht. Im wesentlichen Unterschied zur Sowa-TLO werden in der CYPO-Ontologiekonzeption verschiedene Weltmodelle im Sinne Poppers differenziert, die sich nicht nur in Bezug auf Aktualismus, Possibilismus und damit den Realitätsbegriff strikt unterscheiden, sondern auch im Hinblick auf wissenschaftliche, technologische resp. praktische Ontologietypen, sowie entsprechend auf objektives, subjektives bzw. im Konsens objektiviertes

Wissen einschließlich ihrer grundsätzlich differenten Wahrmacher. Somit spielt bei CYPO die Kombination von *stringenter* Metaphysik, Epistemologie und Wissenschaftstheorie eine primäre Rolle, die insbesondere auf den korrespondierenden Positionen Whiteheads und Poppers gründet. Allein auf Basis einer solch stringenten Kombination wie umfassenden Grundlegung kann die Wissensontologie der Informatik mitsamt ihres Ontologiebegriffs in sachgerechter Weise aufbauen, wenn ihr Anspruch aus theoretischen wie praktischen Semantikgründen ein *universalistischer* ist.

2. Wenn mit Verweis auf Pkt. 3.2.4 gerade eine *integrierte CM- und AI-Ontologie* erforderlich ist, wie sie etwa die REA-EO einfordert, wird deutlich, dass allein schon aus diesem Grunde die AI-Ontologie eine *realistische* sein muss. Das gilt zumindest dann, wenn die CM-Ontologie eine realistische ist, wie es für gewöhnlich der Fall ist. Aber auch unabhängig davon konstatieren bereits Lenat/Guha (1990: xvii), dass es für die AI-Tradition unabdingbar wird, in den "sauren Apfel zu beißen", den *realweltliche* KR-Systeme mit sich bringen. Und dieser besteht auch bei ihnen in einer die realweltlichen Kategorien grundlegenden *Top-level Ontologie*, die jedoch zum einen mit Hirst (2009: 279) nicht linguistischer Natur sein kann, zum anderen mit Blick auf ihren Einsatz im IoX-basierten *Smart Web* dem Kriterium der CPSS-Adäquanz notwendig zu entsprechen hat.
3. Das Ziel der Ontologie besteht mit B. Smith (2008b) in nichts anderem als der *Realitätsrepräsentation*,²¹³⁵ was hier jenseits von diesem im Sinne eines *primären Ziels* und auf Basis eines weiten, auch technologisch-praktisch adäquaten Popperschen Realitätsverständnis übernommen wird.²¹³⁶ Das gilt wesentlich für die CM-Ontologie und in zeitgemäßen AI-Systemen genauso für die AI-Ontologie. Denn die AI-Ontologie ist über ihr experimentelles Frühstadium hinausgekommen und gelangt regelmäßig in hochkomplexen Systemen zum Einsatz, die entweder selbst unmittelbarer Teil der Realität sind (z.B. CPSS oder CPTS), oder aber Prozesse der Realität *genauestens* digital abzubilden haben. In diesem Sinne gilt mit Vetere (2009): »The benefit of sharing an ontology [...] primarily consists in sharing a commitment to reality, not a commitment whatsoever.«²¹³⁷ Entsprechend steht die Frage der Korrespondenz mit realen Entitäten im Mittelpunkt, wie sie sich nicht allein im Zuge der konzeptuellen Modellierung stellt: »Therefore, ontologies are not just conceptual models specified in some rich logic language; instead, they are models in which a definite correspondence between representational items and real entities is set.«²¹³⁸ Genesereth/Nilssons

²¹³⁵ Vgl. hierzu auch Ceusters/Manzoor (2010).

²¹³⁶ Entgegen Smithens BFO-Position wird mit der CYPO TLO die Berücksichtigung *möglicher Welten* als zwingend erachtet, was sich allein schon mit Blick auf PEP-Prozesse in PLM-Systemen erklärt.

²¹³⁷ Vgl. Vetere (2009: 6).

²¹³⁸ Vgl. Vetere (2009: 5).

(1987: 13) explizit verfochtenes »lack of commitment«, das Gruber (1993) übernimmt, ist somit strikt abzulehnen; damit gehen selbst Protagonisten des linguistischen OE-Ansatzpunkts wie Guarino/Carrara/Giaretta (1994a) konform.

4. Das Ziel der *Realitätsrepräsentation* gilt jedoch nicht nur im Kontext technischer Systeme bzw. technologischer Ontologien. Vielmehr gilt es genauso mit Blick auf *Scientific Ontologies*, in deren Kontext es auch bei B. Smith (2008b) vor allem gemeint ist. Gerade mit Blick auf das *präzise, objektive Wissen*, mit wissenschaftlichen Ontologien und ihren Wahrmachern wird ein *realistischer Ontologiebegriff* zwingend. Traditionell besteht der Wahrmacher (Truthmaker) dabei in *wissenschaftlicher Evidenz*, doch erscheint dieser allein für *wissenschaftliche* Ontologien sinnvoll. Mit Blick auf *technologische* Ontologien sind solche wissenschaftlichen Wahrmacher nur partiell geeignet, insbesondere was Cyber-physische Systeme (CPS) anbelangt, worauf wir in Pkt. 6.2.8 zurückkommen. Hier sei allerdings bereits festgestellt, dass Ontologie im Zeichen der Repräsentation von Wissen immer spezifischer Wahrmacher bedarf,²¹³⁹ was die linguistische Ontologie in verschiedener Hinsicht vor ernsthafte Probleme stellt. Tatsächlich kann es im Kontext von Erfahrungs- bzw. Realwissenschaften auch nur um ein *realistisches Ontologieverständnis* gehen. Schon heute hat die Wissensrepräsentation umfassenden Einzug in die Wissenschaftspraxis gehalten. Für naturwissenschaftliche Disziplinen ist insgesamt eine *universale Ontologie natürlicher Phänomene* unabdingbar;²¹⁴⁰ für sozialwissenschaftliche Disziplinen entsprechend eine *universale Ontologie sozialer Realität* bzw. eine *generelle Ontologie sozialer Institutionen*, wie sie bereits seit langem in der Diskussion sind.²¹⁴¹ Genauso wird die Debatte um die ontologische Grundlegung spezifischer naturwissenschaftlicher Disziplinen,²¹⁴² oder auch spezifischer sozial- resp. wirtschaftswissenschaftlicher Disziplinen seit langem geführt.²¹⁴³ Den Zwang zur strikten Realitätsbezogenheit wird hier niemand ernsthaft in Frage stellen wollen. Einzig wäre einwendbar, dass ein *realistisch-empirisches Ontologieverständnis*, wie es durch Quine vertreten wird, ausreichend bzw. besser sei. Allerdings ist erneut auf den Gesichtspunkt der *Transdisziplinarität* zu verweisen. Denn Quines Empirismus impliziert einen Naturalismus, der jedoch mit Verweis

²¹³⁹ Vgl. etwa Heil (2003: 61 ff.).

²¹⁴⁰ Vgl. etwa Bunge (1977a) sowie Mahner/Bunge (1997).

²¹⁴¹ Vgl. etwa Mulligan (1987) sowie Searle (1995); vgl. hierzu auch Lawson (2003: 12): »[A]ll methods have ontological presuppositions or preconditions, that is conditions under which their usage is appropriate. To use any research method is immediately to presuppose a worldview of sorts«.

²¹⁴² Vgl. etwa Bergmann (1961).

²¹⁴³ Vgl. etwa Grassl (1999), Hare (1999), Zúñiga (1999), Bibel (2004), Dopfer/Potts (2004), Klaes (2004), Peacock (2004), Vromen (2004) sowie die an gleicher Stelle publizierten weiteren Beiträge. Dabei gilt mit Dopfer/Potts (2004: 197): »In the past, when economics has sought deep council, it has turned to physics. The problem this time however is that the ontological solutions appropriate to the natural domain are insufficient for domains of higher order complexity«.

auf Pkt. 5.1 in Verbindung mit Pkt. 6.2.7 abzulehnen ist. Denn auf Basis *naturalistischer Kategorien*, etwa physikalischer Kategorien lassen sich Sachverhalte, die auf höheren, etwa sozioökonomischen Ontologieebenen liegen, kaum adäquat repräsentieren. Vielmehr erscheinen dazu metaphysische Kategorien unabdingbar, die tatsächlich universal sind, und somit statt eines überholten Reduktionismus die Emanzipation wie weitreichende Autonomie jedweder Disziplin garantieren. Genauso wenig ist das Ontologie- und Realitätsverständnis Guarinos in dieser Sache tragbar, wenn sich dieses explizit über den *Modalen Realismus* konstituiert, mit dem für sämtliche mögliche Welten Realität beansprucht wird. Insbesondere mit Blick auf die *Scientific Ontologies* ist ein solcher *Modaler Realismus* strikt abzulehnen.

5. Wie oben dargelegt, ist Ontologie vom Grundsatz her immer als *Heavyweight-Ontologie* auszulegen; diese erfordert wiederum die strikte Referenz auf die *Top-level Ontologie* als oberste Ontologieebene der Informatik. Wie in Pkt. 4.1 näher erläutert, kommt die *Top-level Ontologie* als fundamentalstes aller Weltmodelle nicht um die realistische, mithin *ratio-empirische Metaphysik* umhin, denn es gilt: »Attempts to keep philosophy aloof from metaphysics are largely self-defeating. Whether we approve or not, the world has an ontology«.²¹⁴⁴
6. Alle Ontologie impliziert im Sinne der *Heavyweight-Ontologie* unweigerlich ein ganzes Geflecht aus meta-ontologischen Fragestellungen. Das betrifft nicht nur etwa die *Mereologie* (Pkt. 4.5) genauso wie etwa die *Ontologie der Artefakte* (Pkt. 4.6). Vielmehr gilt dies insbesondere auch für die fundamentalen meta-ontologischen Aspekte, wie jene von *Objekt- vs. Prozessontologie*, (Pkt. 6.1.1) sowie für die in Pkt. 6.2 ff. behandelten weiteren meta-ontologischen Kriterien. Hierzu lassen sich zwei Grundsätze festhalten: (i) solche Fragestellungen sind wesentlich durch die *Metaphysik* resp. klassische Ontologie als erster Philosophie bestimmt, was sich mit der in Pkt. 3.3 gewonnenen Einsicht deckt, dass der Ontologiebegriff im Sinne des *philosophischen* Ontologiebegriffs auszulegen ist; (ii) sie sind *in konsistenter Weise* zu behandeln, womit sie sich zwingend auf *ein und das gleiche metaphysische System* zu beziehen haben.
7. Zur dezidierten Bestimmung der *Extension* ist diese zwingend im Sinne des bereits durch Kant erbrachten Nachweises zur realen Existenz der Außenwelt zu verstehen. Damit ist hier vor allem gemeint, dass Aussagen über die reale Existenz bzw. Nichtexistenz extensionaler Entitäten erforderlich sind. Denn andernfalls lässt sich nicht bestimmen, ob es sich um einen Fiktivbegriff oder aber um einen Individual- oder Allgemeinbegriff handelt. Es ist also zu klären, wie viele Elemente der Extensionsbereich umfasst, insbesondere, ob dieser ggf. "leer" ist. Somit wird deutlich, dass die extensionalen Fragen als Fragen *externer Meta-*

²¹⁴⁴ Vgl. Heil (2003: 1).

physik zu handhaben sind, wobei es jedoch mit Verweis auf die Fiktivbegriffe falsch wäre, für alle "Dinge" der Extension reale Existenz unterstellen zu wollen. Das ist deshalb besonders zu betonen, weil sie in der Ontologiedebatte der Informatik teilweise strikt als "reale Dinge" ausgelegt werden. Richtig erscheint vielmehr, die extensionalen Fragen streng auf Grundlage einer ratio-empirischen Metaphysik zu behandeln, die neben realer Existenz auch die definitorische Existenz zulässt, wie es bei Whitehead (1929a), nicht aber bei Bunge (1977a) der Fall ist. Insgesamt steht außer Frage, dass es zwar einen linguistischen Konnex von Intension und Extension gibt, die *Extension* allerdings mit Ullmann (1962) im Kern gerade *nicht-linguistischen* Charakters ist. Sie ist vielmehr *metaphysischen* Charakters, der wiederum im Zusammenhang mit aktualen und möglichen Welten zu sehen ist, indem sich die Frage der *realen* Existenz auf erste, die Frage der *möglichen* Existenz resp. definitorischen Existenz auf zweite bezieht. Das erfordert entsprechend eine Metaphysik, die tatsächlich mit *sämtlichen Entitäten* umzugehen versteht; es ist damit vor diesem Hintergrund wenig zielführend, wenn sie auf einseitig materialistischen oder auf einseitig idealistischen Standpunkten beharrt. – In linguistischen Ontologiekonzeptionen wird der Frage nach der *externen Realität* von Entitäten hingegen oftmals kein primärer Stellenwert eingeräumt bzw. wird sie vollkommen negiert. Inwiefern diese Frage entscheidend ist, hängt dabei nicht zuletzt vom Zuschnitt des Ontologiekonzepts selbst ab. Bei Gruber (1995) zielt es mit Verweis auf Pkt. 3.4 allein auf *Kommunikationsprozesse* und ein entsprechendes Vokabular. Gruber (1995) geht es explizit allein um die *Wissensteilung*, nicht um die *Wissensrepräsentation*. Allerdings stellt sich nicht nur die Frage der allgemeinen Resistenz einer solch folgenschweren Differenzierung; vielmehr ist speziell zweifelhaft, ob bei Kommunikationsprozessen tatsächlich die Frage der *externen Realität* von Entitäten unentscheidend ist. In CPS-Kontexten ist dieser Status samt raum-zeitlicher Objektlokalisierung gewiss mit zu übermitteln; es geht in IoX-Welten also um weitaus mehr als um Grubers (1995) triviales "shared vocabulary", wie es für den verfehlten linguistischen OE-Ansatzpunkt charakteristisch ist. Das gilt insbesondere dann, wenn sich solche Kommunikationsprozesse in aller Regel in physischen Welten vollziehen, in die sie zumeist logisch-funktional eingebettet sind. Für tatsächlich intelligente AI-Systeme, um die es in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* vor allem geht, sind generell von der Wissensrepräsentation isolierte Kommunikationsprozesse kaum sinnvoll. Grubers Ontologieverständnis ist mit Verweis auf Pkt. 3.2.1 also höchst eingeschränkt und insofern unhaltbar, als es im Zeichen der Inferenz in elementarer Weise im Dienst der Wissensrepräsentation (KR) stehen muss, womit jede eigentliche AI-Ontologiekonzeption zuvorderst eine *KR-Konzeption* verkörpert, was bei Gruber aber gerade explizit

nicht der Fall ist. Darüber hinaus muss sie den Ansprüchen realweltlicher AI-Systeme genügen; für diese ist also ein *realweltlicher* Zusammenhang (von CPPS über CPLS bis etwa hin zu CPTS) zu unterstellen. Es geht also nicht mehr um jene Experimentierwelten, wie sie für die AI-Frühzeit kennzeichnend sind. Insofern ist es für KR-Zwecke in sämtlichen Kontexten, im wissenschaftlichen, technologischen wie im praktischen überaus entscheidend, ob das jeweilige Objekt physisch bzw. als informatorisches Artefakt existiert oder nicht.²¹⁴⁵ In diesem Sinne ist jede *universale* AI-Konzeption zwingend so zu entwickeln, dass sie gerade auch Cyber-physischen Systemen (CPS) resp. realweltlichen Prozesssystemen gerecht wird. Insofern kommt eine Ontologiekonzeption, die naturgemäß auf die Wissensrepräsentation zielt, nicht ohne die *externe Realität* als *subjektunabhängiger Außenwelt* aus, während für Linguisten oftmals nur die *subjektabhängige Innenwelt* und entsprechend epistemische Prozesse maßgeblich sind. Demgegenüber stellen agentenbasierte CPS gerade auf die Interaktion von Innen- und Außenwelt ab, insbesondere insofern, als sie selbst zunehmend aktiven Einfluss auf Objekte resp. Ereignisse der Außenwelt nehmen (z.B. AI-basierte Prozess-, Produktions-, Logistik- oder Verkehrssteuerung), mindestens aber auf diese passiv reagieren.

8. Dass *Cyber-physische Systeme* (CPS) ein *realistisch-metaphysisches* Ontologieverständnis erfordern und der linguistische OE-Ansatzpunkt entsprechend unhaltbar ist, steht auch insofern außer Frage, als sie gleichzeitig wesentlich in physischen wie in virtuellen Welten operieren. Eine entsprechende Top-level Ontologie kann damit nicht linguistischer Natur sein, denn sie muss auf einem konsistenten revisionär-metaphysischen System aufbauen. CPS sind dabei mit Verweis auf Pkt. 6.2.1 im Zeichen des *Complex Event Processing* (CEP) zu konzipieren; mit Paschke/Vincent/Springer (2011) steht dabei außer Frage, dass die *Top-level Ontologie* auf Ereignisse, Situationen (bzw. Kontexte), Prozesse, Zeit und Raum usf. abzustellen hat. Insofern ist der Gedanke von Pike/Gahegans (2007) "*Beyond Ontologies*" gänzlich unbegründet, weil er am klassischen AI-Ontologieverständnis orientiert ist, während sie nach einem wissenschaftlichen Ontologieverständnis verlangen, das an *situativen Repräsentationen* festmacht: Das aber kann nur gelingen, wenn Ontologie nicht als simple Theorie der Objekte verstanden wird, sondern vielmehr als eine solche, bei der Objekte ereigniszentriert im prozessualen Kontext stehen: Ontologie kann also nur mittelbar eine *Theorie der Objekte* sein; CPSS-adäquat ist sie nur, wenn es sich bei ihr ereigniszentriert primär um eine *Theorie der Prozesse* handelt. Gerade wenn die *Top-level Ontologie* als eine solche Theorie der Prozesse, als Prozessontologie

²¹⁴⁵ Wie mit Pkt. 3.5 deutlich wird, schließen sich *reale* Existenz und *definitorische Existenz*, die bisher jeweils für arteigene Ontologiekonzepte standen, in einer *integrierten Ontologiekonzeption* keinesfalls aus.

zu verstehen ist, die ihrerseits im Zeichen komplexer, gerade auch dissipativer Systeme steht, kann sie selbstredend kein Quodlibet unzusammenhängender Fragmente im Sinne einer potentiell widersprüchlichen *Stückwerktechnologie* bilden. Genauso wenig kann sie sich wie bei Raskin/Pan (2005) oder Paschke/Vincent/Springer (2011) auf bloße Einzelfragen beschränken. Vielmehr geht es um das *konsistente metaphysische System*, also um revisionäre Systeme, die sich nicht *ad hoc* schaffen lassen, sondern die eine stabile, gut durchdachte Verankerung bedürfen. Denn die *Einheit des Wissens* wie seine *transdisziplinäre ad hoc Kombinierbarkeit* erfährt im AI-Zeitalter von *Semantic E-Science*, *Semantic Technologies* (ST) und der *ontologischen Revolution*, die nahezu sämtliche Praxisfelder durchdringt, nunmehr eine Relevanz, wie sie bisher unbekannt war. Mit dieser Verankerung bildet die *Top-level Ontologie* den Dreh- und Angelpunkt einer AI-zentrischen Informatik. – Aspekte ontologiebasierter GIS sind für CPS etwa genauso entscheidend wie Sensorontologien; Sensoren sind dabei sowohl realer wie virtueller Natur. Indem solche GIS-Aspekte für CPS eine zentrale Rolle spielen, werden die umfassenden Implikationen anhand zweier GIS-relevanter Ontologien direkt ersichtlich, nämlich anhand der SWEET-Ontologie der NASA sowie der im Fokus reduzierteren GEON-Ontologie.²¹⁴⁶ Mit SWEET zeigt sich einmal mehr, dass man im Zeitalter CPSS-adäquater Ontologien um universale Ontologie und entsprechende metaphysische Aspekte nicht umhinkommt, etwa wenn dabei verschiedenste metaphysische Substanzfragen gestellt werden. Entsprechend braucht es nicht zu verwundern, wenn Tripathi/Babaie (2008) die SWEET-Ontologie explizit als *Top-level Ontologie* erachten, womit der *zwingende* TLO-Bezug von CPS-Welten noch augenfälliger wird. An diesem Fall zeigt sich somit auch, warum es für die TLO-Konzeption wesentlich ist, im Zeichen *universaler Ontologie* zu stehen, womit sie nicht – wie im SWEET-Fall – *multidisziplinärer* Natur sein kann, sondern vielmehr zwingend dem *Transdisziplinaritätskriterium* zu entsprechen hat: So wird etwa auf die SWEET-Ontologie im Rahmen der Sensorontologien durch verschiedenste Disziplinen Bezug genommen, nicht zuletzt auch im Bereich der hier interessierenden *Smart Factory*.²¹⁴⁷ Diese SWEET-Referenz von Sensorontologien gilt dabei nicht zuletzt für die W3C SSN-Ontologie, womit die Relevanz des Gesagten in IoX-Kontexten gerade auch für die SW-Ontologie deutlich wird. Indem die W3C SSN-Ontologie an sich wiederum auf der DOLCE-TLO aufbaut, steht offenbar die Kompatibilität solcher Referenzontologien und somit das TLO-Inkommensurabilitätsproblem in Frage. – Insgesamt wird deutlich, dass

²¹⁴⁶ Vgl. zu *SWEET* (Semantic Web for Earth and Environmental Terminology) etwa Raskin/Pan (2005) oder Tripathi/Babaie (2008); vgl. zu *GEON* (GEOsciences Network) etwa Gahegan et al. (2009). *GEON* ist Teil der CI-Initiative der NSF, die in Richtung der *Semantic E-Science* geht.

²¹⁴⁷ Vgl. etwa Legat/Seitz et al. (2014); vgl. hierzu ergänzend Legat/Seitz et al. (2011).

die *Top-level Ontologie* immer im metaphysischen Sinne *universaler Ontologie* wie im Zeichen der *Transdisziplinarität* zu konzipieren ist. Wenn Fragen der Mereologie und damit verbundene wissenschaftstheoretische Grundsatzfragen wie jene im OWL/RDF-Kontext gestellte um *Reduktionismus vs. Holismus* im Zuge der SWEET-Ontologie zu klären sind, wird damit die unabdingbare umfassende philosophische Fundierung von Top-level Ontologien genauso illustriert. Vor diesem Hintergrund ist das in Pkt. 3.3 zur Konvergenz der Ontologiebegriffe Gesagte besser nachvollziehbar: Wenn von "Ontologie" die Rede ist, geht es offenbar um einen in sich zusammenhängenden, mithin *kohärent* zu adressierenden Fragekomplex, zu dem im Sinne der Whiteheadschen *Subjekt-Superjekte* immer auch alle Klassen intelligenter Automaten gehören und somit auch die AI-Ontologie. – Bei GEON geht es genauso um *Scientific Ontologies*, und es muss vor dem Hintergrund der Ausführungen nicht überraschen, wenn auch im GEON-Kontext bereits die Whiteheadsche (1929a) Prozessmetaphysik bemüht wird.²¹⁴⁸ Zhao et al. (2009) stellen im GIS-Kontext schon auf Prozessontologie ab, während für Worboys/Hornsby (2004) im Zeichen ihres *Geospatial Event Model* (GEM) außer Frage steht, dass nicht Objekte, sondern *Ereignisse* den eigentlichen Ansatzpunkt bilden. Zu dieser Auffassung besteht im CPS-relevanten GIS-Kontext breiter Konsens,²¹⁴⁹ wobei entsprechende ereignisbasierte Ontologien regelmäßig TLO-Status für sich beanspruchen.²¹⁵⁰ Dabei ist eine solche Ereigniszentrierung aus dem Grunde unabdingbar, weil für GIS-Kontexte jene *Sensor Networks* (SN) bzw. *Wireless Sensor Networks* (WSN, WSAN) entscheidend sind, die für CPS universell gesetzt sind. Mit den CPPS der Smart Factory sind sie dabei insbesondere auch für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) relevant. Für CPPS-Umgebungen ist vor allem eine spezifische Klasse des *Local Positioning System* (LPS) relevant, nämlich das *Real-Time Locating System* (RTLS), das RFID-basiert ist.²¹⁵¹ Analog zu LPS und RTLS sind Sensornetze (SN, WSN, WSAN, USN) insgesamt naturgemäß *ereigniszentriert*,²¹⁵² genauso wie letztlich alle wissenschaftlichen, alle technologischen und alle praktischen Sachverhalte ereigniszentriert sind. Entsprechend gestalten sich auch CPS insgesamt *ereigniszentriert*,²¹⁵³ womit sie auch eine *ereigniszentrierte Semantik* erfordern, mithin eine Ontologie, die in zentraler Weise an *ereignis- resp. prozessorientierten Kategorien* festmacht, und alle anderen Kategorien bzw. Klassen darauf zu beziehen sind. Insofern wird deutlich, dass es wenig Sinn macht,

²¹⁴⁸ Vgl. Gahegan et al. (2009).

²¹⁴⁹ Vgl. etwa Hakimpour et al. (2006).

²¹⁵⁰ Vgl. etwa M. Perry et al. (2006).

²¹⁵¹ Vgl. etwa Liu/Zhang/Wang (2012).

²¹⁵² Vgl. etwa Beatrys Ruiz et al. (2004), Rangarajan/Garcia-Luna-Aceves (2004), Jabeur et al. (2009) sowie Farah et al. (2011).

²¹⁵³ Vgl. Gavrilesu et al. (2011), R. Klein et al. (2011, 2013) sowie F. Li et al. (2013).

wie Gruber (1993) "Ontologie" im Sinne einer unsystematischen Repräsentation beliebiger Objekte zu sehen, wobei hier noch nicht einmal eine *Theorie der Objekte* gegeben ist. – Indem intelligente CPS nicht um GIS-Funktionalitäten umhinkommen, wird mit SWEET und GEON bereits deutlich, dass jede CPSS-adäquate Ontologiekonzeption insbesondere die *technologisch-wissenschaftliche Ontologieintegration* bewerkstelligen können muss. Mit anderen Worten: die Informatik kommt mit den für das *Internet der Dinge* (IoT) geltenden CPS-Welten im Zeichen von Sensorik und Aktorik nicht um ein *integriertes Ontologieverständnis* umhin, wie es in Pkt. 3.5 als CYPO-Ontologiekonzeption umrissen wird. – Entsprechend ist eine Ontologie erforderlich, die gleichzeitig die physikalischen wie die virtuellen Aspekte abdeckt, womit diese Ontologie genauso wenig in einer rein physikalischen wie in einer rein virtuellen Ontologie bestehen kann. Vielmehr kommt dazu allein eine *realistisch-metaphysische Ontologie* in Frage, die über eine einheitliche Ereigniskategorie beides gleichzeitig abdecken kann.²¹⁵⁴ Darüber hinaus sind solche CPS in den direkten Zusammenhang der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bzw. der *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu stellen. Somit wird deutlich, dass auch die oben genannten CM-Aspekte eine elementare Rolle spielen. Diese gelten insbesondere mit Blick auf ihre ontologiebasierte Prozessintelligenz, denn entsprechende Prozesssysteme sind im Allgemeinen in die Realität eingebettet. Der reale Ansatzpunkt ist darüber hinaus in gleicher Weise für den in Pkt. 3.2.3 behandelten Gesichtspunkt *ontologiebasierter Datenintegration* bzw. *Datenfusion* heterogener Quellen unabdingbar. Hier darf nicht übersehen werden, dass numerische Daten bei Multi-sensorsystemen etwa auf Messungen resp. physikalischen Vorgängen basieren, die letztlich eine umfassende Auseinandersetzung mit meta-ontologischen Aspekten (etwa physikalischer Raum-Zeit usw.) wie auch der Theorie der Objekte erfordern. Der Übergang von Daten zu Wissen, wie er etwa im JDL-Fusionsmodell vollzogen wird, muss entsprechend unter einem einheitlichen Ontologiekonzept stehen, das allein *realistisch* orientiert sein kann. Das gilt nicht zuletzt aus dem Grunde, als sie zumeist im Zeichen von *Real-Time Knowledge-Based Systems* stehen. Insgesamt muss also auch das Ontologieverständnis, das im Rahmen von *Data Fusion*, *Information Fusion*, *Sensor Fusion*, *High-level Fusion* bzw. für die *Smart Data-* bzw. *Big Data Analytics* (SDA, BDA) wesentlich ist, ein *realistisch-metaphysisches* sein.

9. In direktem Bezug zu CPS, ihren Multisensorsystemen und ihrer Daten- bzw. Informationsfusion stehen nicht nur Sensorontologien, sondern damit verbunden

²¹⁵⁴ Vgl. auch Huang/Xuan/Chen (2007).

auch Ontologien zur *Situationswahrnehmung* (SAW ontologies),²¹⁵⁵ zur darauf aufbauenden *Lageein- und Gefahrenabschätzung* (STA ontologies),²¹⁵⁶ sowie allgemein zur *Kontextwahrnehmung* (CAW ontologies), wie sie heute in einer Vielzahl ziviler Anwendungen wie *intelligenten Stromnetzen* (smart grids) usf. eine Rolle spielen.²¹⁵⁷ Dabei geht es fast immer um *reale* Situationen und Kontexte, was entsprechend auch ein *reales* ontologisches Verständnis solcher Situationen und Kontexte einfordert. Diese in Pkt. 3.2.3 behandelten SAW-, STA- oder CAW-Ontologien heben entsprechend die alte Trennung zwischen AI-Ontologie und philosophischer resp. metaphysischer Ontologie auf, indem sie *explizit ein philosophisches bzw. metaphysisches Ontologieverständnis* voraussetzen.²¹⁵⁸ Schon heute wird dieses Situations- resp. Kontextverständnis bei AI-Ontologien im *prozessmetaphysischen* Sinne ausgelegt. Da sich solche SAW-Ontologien in ihrer Eigenart als AI-Ontologien auf verschiedenste reale komplexe Situationen beziehen,²¹⁵⁹ bei denen es explizit um *Ereignisse realweltlicher* Situationen geht,²¹⁶⁰ bedürfen somit auch AI-Ontologien entsprechend eines metaphysischen Unterbaus, der die Realität als *prozessual-evolvierendes Universum* begreifbar macht.²¹⁶¹ Dazu ist eine ereigniszentrierte techno-wissenschaftliche Metaphysik unabdingbar, auf die in Pkt. 4.1 genauso wie auf ein solch *universales cyber-physisches Evolutionsparadigma* näher eingegangen wird.

10. Der realistisch-metaphysische OE-Ansatzpunkt schließt keineswegs linguistische Aspekte aus, wie es bereits der erwähnte Umstand belegt, dass Intension und Extension für die Prädikatenlogik unentbehrlich sind. Darüber hinaus spielen sie auch für verschiedene reale Prozesssysteme insofern eine Rolle, als verschiedene Varianten von *Controlled Natural Language* (CNL) etwa im Zeichen von *Business Rules* eine Rolle spielen.²¹⁶² Allerdings geht es dabei nicht um einen OE-Ansatzpunkt, sondern vielmehr darum, dass solche Prozesssysteme durch Fachabteilungen auf einfacher Basis selbst modifizierbar werden. Zu solchen CNL-Ansätzen gehört etwa neben *Common Logic Controlled English* (CLCE) als *Controlled English*, das Sowa als Benutzerschnittstelle zum ISO

²¹⁵⁵ Vgl. etwa Lambert (2001), Kokar et al. (2009), Kokar/Ng (2009) sowie Valiente et al. (2011). Vgl. für eine *SAW-Kernontologie* Matheus et al. (2003b).

²¹⁵⁶ Vgl. hierzu Little/Vizenor (2006).

²¹⁵⁷ Vgl. etwa Donohoe et al. (2015).

²¹⁵⁸ Vgl. etwa Little/Vizenor (2006).

²¹⁵⁹ Solche *Situationen* beziehen sich neben den hier relevanten *realen* Produktions-, Logistik- und sonstigen Steuerungsprozessen der Smart Factory resp. des Smart Enterprise auf viele andere *reale* IT-Sachverhalte, etwa *autonome Verkehrssteuerung*, vgl. etwa Baumgartner et al. (2008, 2010), *Katastrophen- resp. Krisenmanagement*, vgl. etwa Berg-Cross (2008) sowie Sotoodeh (2009), *Militär*, vgl. etwa Lambert/Scholz (2007) sowie Valiente et al. (2011), *Umweltbeobachtung*, vgl. etwa Stocker et al. (2014b), bis hin zur *Alltagsrobotik*. Daraus sollten entsprechende Schlussfolgerungen für das allgemeine Ontologieverständnis gezogen werden, da es auch für solche SAW-Ontologien gültig zu sein hat.

²¹⁶⁰ Vgl. etwa Matheus et al. (2003b) sowie Valiente et al. (2011).

²¹⁶¹ Selbstverständlich lassen sich auch *irreale Welten* ontologisch als *prozessuale AI-Welten* verstehen.

²¹⁶² Vgl. hierzu etwa Barkmeyer/Neuhaus (2013).

Standard *Common Logic* (CL) entwickelt hat,²¹⁶³ oder etwa SBVR als *Structured English*. Wenn SBVR als OMG-Standard in dem Sinne adaptiert wird, dass es sich um eine *TLO-referenzierende SBVR-Konzeption* handelt, wird damit zum einen deutlich, dass realistische mit linguistischen Aspekten Hand in Hand gehen. Zum anderen, dass Logik nicht mit Ontologie verwechselt werden darf. Entsprechend ist bei einer solchen TLO-referenzierenden SBVR-Konzeption der OE-Ansatzpunkt konsequenterweise ein realistisch-metaphysischer, dem eine revisionäre Metaphysik zugrunde zu legen ist.

Indessen geht es bei der Kritik des linguistischen OE-Ansatzpunkts in seinem Widerstreit mit dem realistischen um zwei Aspekte: zum einen, dass linguistische OE-Konzeptionen, die wie die Grubersche keine systematische TLO-Referenz aufweisen, für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* grundsätzlich unhaltbar sind. Zum anderen gilt sie aber auch für solche linguistischen OE-Ansätze, die eine solche TLO-Referenz besitzen: Das sind Ontologien, die insbesondere mit Cyc, DOLCE oder SUMO auf der *deskriptiven* Metaphysik aufbauen und in der PLM-Ontologiediskussion wiederholt als potentielle TLO-Theorieanwärter genannt werden. Allerdings kommen diese Ansätze nicht um ein Fundament umhin, das allein in der *revisionären* Metaphysik bestehen kann. So gilt es auch für Hirst (2009: 279) als ausgemacht, »that we cannot build a satisfactory top-level ontology merely by looking at the relevant vocabulary of one or even several natural languages«, was auf einer Linie mit unseren obigen Feststellungen zur Analytischen Philosophie liegt. Es steht mit den Ausführungen im sechsten und siebten Teil außer Frage, dass sich die sachgerechte Konzeption der *Top-level Ontologie* allein im Zuge einer umfassenden Reflexion und Spezifikation meta-ontologischer Kriterien erschließen lässt. Oftmals wird dabei übersehen, dass eine solche diffizile wie tiefgreifende Spezifikation weder *ad hoc* möglich ist, noch ohne ein insgesamt *konsistentes System* bewerkstelligt werden kann. Ein solches System ist ein *metaphysisches System*, genauer ein *revisionär metaphysisches System*. Daraus folgt: Indem intelligente AI-Systeme McCarthys (1995) "*general world view*" erfordern, und dieser CPSS-adäquat zu definieren ist, kommt die AI-Tradition nicht um die *Top-level Ontologie* umhin. CPSS-adäquat ist eine solche Top-level Ontologie allein auf realistisch-metaphysischer Basis, die *top-down* den OE-Ansatzpunkt bilden muss. Entsprechend fällt der linguistische OE-Ansatzpunkt mit der *Top-level Ontologie* – denn diese impliziert den revisionär-metaphysischen OE-Ansatzpunkt. Mit dem Imperativ *vollumfänglicher semantischer Interoperabilität* baut dieser notwendig auf der revisionären ratio-empirischen *Technoscientific Metaphysics* auf, um die es in Pkt. 4.1 geht. Denn in ihr ist mit Verweis auf die obigen zehn Argumente für den realistisch-revisionären OE-Ansatzpunkt die einzige Basis *vollumfänglicher semantischer Interoperabilität* Cyber-physischer Systeme wie von IoX-Systemen insgesamt zu sehen. Indem sich die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf IoT-

²¹⁶³ Vgl. hierzu auch Pease/Li (2010).

basierte PEID-Kontexte zu beziehen hat, ist sie *realistisch-ereigniszentrisch* im Sinne revisionärer techno-wissenschaftlicher Metaphysik zu entwickeln.

Für CPS sind in solchen PEID-Kontexten insbesondere auch *physisch-systemische* Vorgänge ausschlaggebend. In PLM-relevanten Industrien wie dem Maschinenbau werden PEID-Systeme bereits seit längerer Zeit eingesetzt und mit Closed-loop U-PLM-Systemen systematisch verknüpft. PEID-Systeme beruhen etwa auf *realen* Sensoren in mechatronischen Systemen; insbesondere bei mobilen Systemen wie etwa Baumaschinen spielen darüber hinaus verschiedenste GIS-Funktionalitäten eine wichtige Rolle, als sich über diese etwa Sensordaten vermittels raum-zeitlicher Lokalisierung weiter spezifizieren lassen (LPS).²¹⁶⁴ Allerdings bedarf es dann einer universalen Semantik bezüglich physischer Bewegungen bei cyber-physischen Vorgängen, die nicht nur Raum und Zeit berühren, sondern sich in ihrer beständigen Situationswahrnehmung (SAW) auch auf evolutionären Wandel erstrecken.²¹⁶⁵ Dabei steht außer Frage, dass eine solche SAW-bezogene Semantik notwendig in einer *ereigniszentrierten Top-level Ontologie* mündet. Und diese kann nicht einfach eine linguistische sein, sondern hat vielmehr wiederum unmittelbar im ratio-empirischen Sinne auf einer *allgemeinsten Theorie*, nämlich auf einer *techno-wissenschaftlichen Metaphysik* als transdisziplinärer Referenzbasis aufzubauen. Indem die Situations- resp. Kontextsensitivität für intelligente CPS von maßgeblicher Funktion ist, spielen neben Sensorontologien auch die bereits erwähnten SAW- resp. CAW-Ontologien eine zentrale Rolle. Ihre CPS-Integration läuft auf das *Complex Event Processing* (CEP) hinaus, das in der erforderlichen umfänglichen Ontologiefundierung wiederum zum in Pkt. 6.2.1 behandelten TLO-referenzierenden *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) avanciert. Somit besteht in dem hier aufgezeigten real-ontologischen Sinne in diesem SCEP die eigentlich intelligente CPS-Basis.²¹⁶⁶ Diese korrespondiert mit spezielleren CPS-relevanten Funktionalitäten wie der Situationswahrnehmung (SAW) im *Semantic Sensor Web* (SSW).²¹⁶⁷

Indem sich die Situations- resp. Kontextsensitivität in physischen GIS-Kontexten immer *ereigniszentriert* gestaltet,²¹⁶⁸ erfährt eine weitere Fortentwicklung der formalen Logik Relevanz: über den im Zeichen des *metaphysischen Logizismus* stehenden *Situationskalkül* (SC) McCarthys (1963b) bzw. von McCarthy/Hayes (1969) hinausgehend sind verschiedene *Ereigniskalküle* (EC) entwickelt worden,^{2169, 2170} die nicht ohne Grund im Zentrum der

²¹⁶⁴ Vgl. hierzu etwa Galton/Hood (2005).

²¹⁶⁵ Vgl. hierzu J. Allen (1984), Galton (1997) sowie Bennett/Galton (2004).

²¹⁶⁶ Vgl. bereits Q. Zhou et al. (2012a, 2012b).

²¹⁶⁷ Vgl. hierzu Hasan et al. (2011).

²¹⁶⁸ Vgl. etwa Worboys/Hornsby (2004), Galton/Worboys (2005, 2011) sowie Worboys (2005).

²¹⁶⁹ Vgl. zum *Situationskalkül* (SC) McCarthy (1963b, 2002), McCarthy/Hayes (1969), A. Baker (1991), Reiter (2001), Amir (2002) sowie F. Lin (2008). Bei X. Tan (2010) findet sich eine auf SC-Basis entwickelte – primär in FOL gehaltene – formale Ontologie zu Petri-Netzen, mit denen der *Prozessgesichtspunkt* unterstrichen wird. Pednault (1989) verbindet mit der ADL-Repräsentationssprache den SC von McCarthy/Hayes (1969) mit der STRIPS-Operatorsprache von Fikes/Nilsson (1971). In dieser Verbindung stellt die *Action Description Language* (ADL) als Planungssprache insbesondere für Roboter eine Weiterentwicklung der STRIPS-Operatorsprache dar, indem sie im Gegensatz zu dieser mit ihren *situationsabhängigen* Aktionen auf *offene Welten* zielt.

CEP- bzw. SCEP-Ansätze stehen. Ihnen ist der Whiteheadsche (1929a) *metaphysische Logizismus* letztlich genauso zu eigen, womit nicht nur seine obige Feststellung gilt: »Logic prescribes the shapes of metaphysical thought«,²¹⁷¹ sondern diese vielmehr in der prinzipiellen Variabilität der Logikkalküle durch ein *et vice versa* zu ergänzen ist. Auch SAW- resp. CAW-Ontologien laufen – wie bereits in Pkt. 3.2.3 festgestellt – im Sinne von Lambert (2001) sowie Russell/Norvig (2004) auf einen solchen *Ereigniskalkül* hinaus. Mit diesem wird insgesamt deutlich, dass solche Kalküle nicht nur auf dynamische Systeme bezogen sind, sondern mit der oben zitierten Position Whiteheads tatsächlich ein grundlegender Bezug zwischen Logik und Metaphysik besteht, indem es in der modernen formalen Logik etwa um *Situationen, Ereignisse, Wandel oder Relationalität* geht. Diese weisen dabei auf emergente komplexe Systeme. Genauso zeigt sich dieser Bezug etwa mit Blick auf die Modallogik, indem für diese die metaphysische Voraussetzung *möglicher Welten* konstituierend ist. Insofern ist Whiteheads obige Sentenz offenbar umzukehren. – Die fundamentale Struktur der Welt zu erkennen, ist mit Sider (2009: 420) Sache der Metaphysik.²¹⁷² Dabei steht mit Whiteheads grundlegendem Bezug zwischen Logik und Metaphysik außer Frage, dass es insgesamt um die *fundamentale Struktur aller Diskurswelten* (UoD) geht. Bei aktuellen Welten läuft das gleichzeitig auf die Frage der *fundamentalen Strukturen der Realität* hinaus, umfasst jedoch auch alle logisch möglichen Strukturen möglicher Welten. Da mit Verweis auf Pkt. 3.1 der ontologische Status des Möglichen teils, d.h. bei Modalität *"de dicto"* fundamental geistabhängig ist,²¹⁷³ lässt sich die *"structure of the world"* in diesem Fall nicht im Sinne des Ratio-Empirismus ontisch erschließen. Vielmehr läuft sie hier unvermittelt auf die »structure of our thought about the world« hinaus,²¹⁷⁴ wie sie in der deskriptiven Metaphysik generell im Fokus steht. Indem die mathematische Logik universalen Anspruchs ist, sind auch ihre Logikkalküle zwangsläufig wie unmittelbar auf diese fundamentalen Strukturen aller Diskursuniversen (UoD) bezogen, deren Aufdeckung Sache der Metaphysik ist. Im Ganzen gesehen lässt sich mit Sider (2009: 420) die Wahl solcher fundamentalen Kategorien nicht umgehen, und diese Wahl ist nur auf Basis ganzer Metaphysiksysteme hinreichend begründbar. Damit kommen weder die formale Ontologie noch die formale Logik genauso wenig wie Wissenschaft und Technologie um Metaphysik umhin.

Offensichtlich macht McCarthys (1995) *"general world view"* nicht vor der symbolischen Logik halt, und somit wird deutlicher, was mit den *metaphysisch adäquaten Repräsentationen* bei McCarthy/Hayes (1969) konkret gemeint ist: sie beziehen sich auf die formale Ontologie wie auf die formale Logik gleichermaßen. Zwar ist es richtig, dass die da-

²¹⁷⁰ Vgl. zum *Ereigniskalkül* (EC) Kowalski/Sergot (1986), die dabei auf dem metaphysischen *Situationskalkül* (SC) von McCarthy/Hayes (1969) aufbauen; vgl. hierzu ferner Shanahan (1999), C. Vidal/Rodríguez (2005), E.T. Mueller (2008) sowie Chesani et al. (2010).

²¹⁷¹ Vgl. Whitehead in Quine (1934: x).

²¹⁷² Vgl. hierzu auch Van Inwagen (2002: 3 f.).

²¹⁷³ Vgl. Rescher (1979: 179).

²¹⁷⁴ Vgl. Strawson (1959: 9), Hvh. des Verf.

mit zusammenhängende Diskussion in der formalen Logik oftmals jenseits der Metaphysik geführt wird: Wenn es um *Complex Event Processing* (CEP) geht, wird vielmehr etwa auf Sandewalls (1989, 1994) *Features and Fluents* als Rahmenwerk aufgebaut. Oftmals steht die Diskussion eher in einem physikalisch-mathematischen Zusammenhang, indem die Idee *fundamentaler Ereignisse* auf *Fluents* als in Raum und Zeit "fließende" Größen verweist, und somit insgesamt nicht zuletzt auf Newtons (1736) *Fluxionen* zurückgeht. Entsprechend stellt sich die Frage, ob auf Basis solcher *Fluents* realweltliche Systeme hinreichend bzw. überhaupt universal beschreibbar bzw. erfassbar sind, und ob sie insgesamt eine adäquate Basis für McCarthys (1995) "*general world view*" darstellen können. Die Antwort auf diese Frage lässt sich anhand des *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) genauso entwickeln wie anhand der sich abzeichnenden Entwicklung zur *Superintelligenz*: einzelne Fragmente können für intelligente AI-Systeme keineswegs als zielführend erachtet werden; McCarthys (1995) "*general world view*" fordert vor allem eines ein, nämlich eine faktisch *konsistente Systematik im Ganzen*, und keine potentiell widersprüchliche Stückwerktechnologie. Tatsächlich wird das deutlich anhand der in Pkt. 6.2.1 thematisierten *TLO-Referenz von SCEP-Systemen*, wobei deren strikte metaphysische Fundierung nicht immer klar zu sein scheint. Dabei ist evident, dass die *Fluents* von CEP-Systemen bei SCEP-Systemen im Zusammenspiel von formaler Ontologie und formaler Logik auf *metaphysisch adäquate Repräsentationen* hinauszulaufen haben, die letztlich mit der Prozessmetaphysik korrespondieren müssen.

In realweltlichen CPS-Systemen beziehen sich solche "fließenden" Größen – oder kurz: ein solches *Fließen resp. Werden* – unmittelbar auf die *physische Realität*; allerdings können sie mit Blick auf die damit mehr oder weniger betroffenen Positionen Carnaps, Quines oder Bunges keinen Physikalismus, Naturalismus oder Materialismus bedeuten, weil sie immer genauso unmittelbar mit der virtuellen Welt verquickt sind. Dabei lässt sich das Informationsmoment insofern nicht naturalisieren, als es dabei in diesem Kontext immer um *Semantik* geht; und diese ist wiederum im Sinne von Guarino immer kontextbezogen. Damit entfaltet es erst auf der jeweiligen emergentistischen Ontologieebene seinen eigentlichen Bedeutungsgehalt, womit sich Sachverhalte auch nicht im Sinne eines begrifflichen Physikalismus auf niedrigere Ebenen reduzieren lassen. Indem jede dauerhaft stabile Ontologiekonzeption von vornherein darauf auszurichten ist, dass sie die Entwicklung in Richtung *Superintelligenz* nicht von vornherein konterkariert, impliziert jede CPSS-adäquate Ontologie, dass sich CPS-Kontexte allein sachgerecht *transdisziplinär* erschließen lassen. Somit muss es bei ihnen um die *universalen* metaphysischen Kategorien gehen, nicht um multidisziplinär betrachtete Prozesse. Allein auf dieser Basis lässt sich eine *höhere Informationsfusion* (HLIF) tatsächlich in umfänglicher Weise praktizieren.

Mit der Notwendigkeit zur Echtzeitverarbeitung (RTE) läuft ein generelles EO-Konzept als Kern jeder zukunftssträchtigen SEI-Konzeption in seiner CPS-Anwendung auf das oben erwähnte *Complex Event Processing* (CEP) hinaus, das wiederum auf dem *Ereigniskalkül*

(EC) und entsprechenden Alternativen gründet.^{2175, 2176} Dass dabei nicht nur der ursprüngliche *Situationskalkül* (SC) mit McCarthy/Hayes (1969) im Zeichen des *metaphysischen Logizismus* steht, sondern auch moderne Ansätze latent in diese Richtung weisen, wird mit Bennett/Galtons (2004) *Versatile Event Logic* (VEL) deutlich, wenn sie in ihrem Ausblick feststellen: »It would [...] be useful to establish the relationship of the VEL semantics to ontologies based on *four-dimensional* spatio-temporal regions«. ²¹⁷⁷ Auch an diesem Fall wird deutlich, dass Whiteheads oben zitierte Position, die einen grundlegenden Bezug zwischen Logik und Metaphysik sieht, richtig ist. Dass Whiteheads Position zutreffend ist, wird vor allem erst im Kontext der Informatik deutlich, wenn für intelligente CPS-Systeme die Frage der Wissensrepräsentation und jene der Inferenz unweigerlich zusammengehören; wenn formale Ontologie und formale Logik zwingend in einem metaphysischen Gesamtsystem stehen, das ihnen gerade gemeinsam zugrundeliegt. – Mit dem VEL-Kalkül stellt sich einmal mehr die Frage, ob dieser Bezug von einer Seite dominiert wird, und im zutreffenden Fall, um welche Seite es sich dabei handelt. Sicher ist es richtig, dass der jeweils verwendete Logikkalkül die Gestalt metaphysischen Denkens vorschreibt oder ggf. auch einschränkt. Tatsächlich gilt aber auch hier genau umgekehrt, dass die jeweilige Metaphysik, in der im Sinne des Ratio-Empirismus allein der ultimative Ausgangspunkt bestehen kann, darüber bestimmt, welcher Logikkalkül der richtige ist bzw. in welcher Richtung dieser zu entwickeln ist. Das ist einerseits so zu verstehen, dass eine platonistische Metaphysik auch einen platonistischen Logikkalkül, und nicht etwa einen nominalistischen voraussetzen sollte, indem Prädikate auf eine Klasse von Gegenständen anzuwenden sind, und nicht auf das, was als *konkrete Ganzheiten* bezeichnet wird. Andererseits ist dies so zu verstehen, dass etwa für Substanzontologien auch nur bestimmte Kalküle sinnvoll erscheinen können, und analog verhält es sich in Bezug auf Prozessontologien. So sollte der Logikkalkül bei letzterer insbesondere etwa auf Relationalität und Wandel abstellen, und es sollte sich prinzipiell um einen Ereigniskalkül handeln, was sich bei einer Substanzontologie natürlich ganz anders darstellt. So gesehen besitzt also die Metaphysik Priorität, und nicht die formale Logik. Vor allem aber sollte die Abwegigkeit der oben erwähnten Verlagerungsstrategie erkannt werden, da es ein Irrweg ist, die metaphysische Diskussion neben den genannten anderen Disziplinen in die Logik verschieben zu wollen: metaphysische Probleme lassen sich letztlich immer nur in der Metaphysik selbst sachgerecht lösen.

²¹⁷⁵ Vgl. etwa Bragaglia et al. (2012); für eine komparative Analyse konkreter EC-basierter CEP-Systeme vgl. Alevizos/Artikis (2014).

²¹⁷⁶ Neben dem SC, vgl. Fn. 2169, und dem EC i.e.S. bestehen Alternativen dazu etwa im *Features and Fluents Framework* (FFF), vgl. Sandewall (1989, 1994), in der *Versatile Event Logic* (VEL), vgl. Bennett/Galton (2001, 2004), oder im *intervallbasierten EC* als EC-Variante, vgl. etwa Paschke (2006). Darüber hinaus sind hier weitere Ansätze wie etwa die FFF-basierte *Temporal Action Logics* (TAL), vgl. E.T. Mueller (2006) sowie Doherty/Kvarnström (2008), von Relevanz.

²¹⁷⁷ Vgl. Bennett/Galton (2004: 47), Hvh. des Verf.

Wenn mit der Vielfalt der Logikkalküle zunehmend deutlich wird, dass auch in ihnen metaphysische Grundannahmen mindestens immer implizit enthalten sind, und dass vor diesem Hintergrund die Metaphysik, nicht die Logik tatsächliche Priorität besitzen muss, erfährt die Idee des *metaphysischen Logizismus* eine neue Bewandtnis. Indem die Metaphysik den eigentlichen Ausgangspunkt bildet, liegt es nahe, den Logikkalkül direkt systematisch in diese zu inkorporieren. Denn mit Sider (2009: 420) gilt: »There's no detour around the entirety of fundamental metaphysics«. Entsprechend lassen sich auch die durch Bennett/Galton (2004) beabsichtigten 4D-Ansätze mit allem,²¹⁷⁸ was dazu gehört, allein *metaphysisch* begründen.²¹⁷⁹ Dabei kann es kaum sinnvoll sein, die Beziehung zwischen VEL-Semantik und 4D-Ontologien nachgelagert zu suchen, genauso wie es wenig zweckmäßig ist, sich dabei auf regionale 4D-Ontologien zu beziehen. Vielmehr sollten entsprechende Logikkalküle von vornherein im Kontext einer revisionär-metaphysischen *Top-level Ontologie* in Form eines 4D-Ansatzes entwickelt werden.²¹⁸⁰ Somit muss es insgesamt gelten, von der bisher praktizierten Stückwerktechnologie zu abstrahieren, indem es allein geboten sein kann, ein *in sich konsistentes metaphysisches Gesamtsystem* vorauszusetzen.^{2181, 2182} Nur dann lassen sich intelligente CPS tatsächlich realisieren, und nur dann wird man im Sinne McCarthys (1995) mit Fug und Recht von einem "*general world view*" sprechen können. Demzufolge sollte insgesamt nicht eine *linguistische* Semantik, sondern eine *metaphysische* Semantik zugrundegelegt werden, die sich über entsprechende *Top-level Kategorien* als cyber-physischen Ausgangspunkt vollzieht.

Bei einer ereigniszentrierten metaphysischen Semantik muss es insgesamt um eine *allgemeine Theorie der Objekte, Ereignisse und Prozesse* gehen. Galtons (2005b, 2006a, 2006b, 2006c, 2008, 2012) in Pkt. 6.1.1 im Einzelnen behandelte Bemühungen um die universale Bestimmung des ontologischen Status von Objekten, Ereignissen und Prozessen

²¹⁷⁸ Vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 6.2.5.

²¹⁷⁹ Als Beispiele zur Untermauerung dieser These sei auf die notwendige, jedoch höchst variable Bestimmung des Verhältnisses von Objekt, Ereignis und Prozess unter Pkt. 6.1.1, auf den damit verbundenen Widerstreit von *Form vs. Materie* unter Pkt. 6.1.2, auf die kategoriale Frage metaphysischer Systeme unter Pkt. 6.1.3, auf den Widerstreit zwischen *Aktualismus vs. Possibilismus* unter Pkt. 6.2.4 oder etwa auf den Widerstreit zwischen *Endurantismus vs. Perdurantismus* unter Pkt. 6.2.5 hingewiesen. Dazu kommen eine ganze Reihe weiterer meta-ontologischer Fragen, die sich in keiner Weise linguistisch, sondern *allein metaphysisch bestimmen* lassen.

²¹⁸⁰ Es existieren *4D-TLO-Ansätze* wie GFO (neu), die Sowa-TLO oder die 4D-Ontologie.

²¹⁸¹ Dies gilt ungeachtet der linguistischen Orientierung, die insbesondere die Arbeiten Bennetts auszeichnen, während sich Galton umfassend mit metaphysischen Fragen auseinandersetzt. Mit *Stückwerktechnologie* sind an dieser Stelle Ansätze wie jener Bennetts (2001, 2002) gemeint, bei denen etwa physikalische Ontologien *ad hoc* gebildet werden, also ohne Konkretisierung des metaphysischen Fundaments. Auf einer solchen Basis ist eine durchgängige Transdisziplinarität kaum zu erreichen. Galton (2006a, 2006b, 2006c, 2008, 2012) ist in dieser Sache mit seinen Bemühungen um die universale Bestimmung des ontologischen Status von Ereignissen und Prozessen zwar ungleich weiter, sieht jedoch nicht die Notwendigkeit eines metaphysischen Referenzsystems als insgesamt Bezugsbasis, vgl. Galton (2000b: 279). An seine Stelle soll von Fall zu Fall eine *methodologische* Entscheidung treten, vgl. Galton (2000a: 206 f.). Somit steht außer Frage, dass es auch hier bei *Stückwerktechnologie* bleiben muss.

²¹⁸² Diese Notwendigkeit nimmt mit dem Einsatz von Agentensystemen bzw. MAS nochmals zu, weil dann etwa das Verhältnis zwischen ontologischer und epistemologischer Ebene zu bestimmen ist und darüber hinaus eine allgemeine erkenntnistheoretische Position einzunehmen ist, was im Sinne Whiteheads ebenfalls allein im Zeichen eines *metaphysischen Gesamtsystems* zweckmäßig erscheinen kann.

bewegen sich dabei unweigerlich in der Sphäre der Metaphysik. Denn in konsistenter Weise lässt sie sich allein auf Basis der konkurrierenden metaphysischen Systeme klären. Dabei setzt ein universales CPSS-adäquates Ontologieverständnis voraus, dass es sich um eine *techno-wissenschaftliche Metaphysik* handelt, die als Systemontologie in besonderer Weise technologischen CPS-Aspekten wie Relationalität, Komplexität oder Wandel gleichermaßen gerecht wird wie als wissenschaftliche Ontologie den darüber hinausgehenden geophysikalischen GIS-Aspekten. Mit Verweis auf Pkt. 4.2 besteht in der Whiteheadschen (1929a) *Prozessmetaphysik* das Referenzsystem aller techno-wissenschaftlichen Metaphysik, indem sie nicht nur deren Ursprung markiert, sondern darüber hinaus das einzig geschlossene System bildet. Entsprechend sollte sich die disziplinäre Diskussion zunächst auf *dieses* universale techno-wissenschaftliche Referenzsystem beziehen. In einem zweiten Schritt ist dann in kritischer Reflexion seine Axiomatik zu hinterfragen, um es dann in einem dritten Schritt unter Beibehaltung seiner Systemkonsistenz ggf. zu modifizieren bzw. weiterzuentwickeln. Diese beständige Hinterfragung ist im metaphysischen Ratio-Empirismus im Zeichen des Whiteheadschen (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« selbstaufgelegte Pflicht. Mit der Autonomie AI-basierter Systeme muss McCarthy (1995) "*general world view*" nicht nur ein umfassender, sondern immer auch ein in sich konsistenter "*world view*" sein. Dass Bennett/Galtons (2004) beabsichtigter Bezug auf 4D-Ontologien dabei nicht auf linguistische 4D-Ontologien, sondern vielmehr auf in sich konsistente *metaphysische 4D-Ontologien* hinauslaufen sollte, wird mit Hayes' (1985b) *Naïve Physics* deutlich, wenn diese eine *4D-Common Sense Ontologie* verkörpern:

»Events happen in time, but also in space – they have a where as well as a when. They are four-dimensional spatio-temporal entities. So are objects, which have a position and shape and composition at a given time or period, which may differ at other times, and have temporal as well as spatial boundaries. All of which suggests that a basic ontological primitive should be a piece of spacetime with natural boundaries, both temporal and spatial. I will call these things *histories*.«²¹⁸³

Das mit Hayes' (1985b) *Naïve Physics* zusammenhängende Problem ist dabei keineswegs sachlicher Natur, denn unter physikalischen Gesichtspunkten ist eine solche 4D-Perspektive unproblematisch. Diese 4D-Perspektive dabei allerdings als "*Common Sense*" zu deklarieren, ist deshalb ein kühner Schritt, weil der Großteil der heutigen formalen Ontologie im Zeichen des klassischen Substanz- resp. Objektgedankens zu einer 3D-Perspektive tendiert.²¹⁸⁴ Auch wenn diese 3D-Sichtweise auf eine überholte metaphysische Position wie auf die Defekte objektzentrischer linguistischer Ontologien zurückgeht, wird damit einmal mehr die insgesamt Problematik von *Common Sense-Ontologien* offensichtlich: sie sind gegenüber *Scientific Ontologies* gerade auch im Begründungszusammenhang wesentlich inferior. Dennoch liegt das eigentliche Problem an ganz anderer Stelle, was zunächst damit zu tun hat, dass Hayes' *4D-Common Sense-Ansatz* tatsächlich genau in die GIS-Sphäre von Bennett/Galtons (2004) beabsichtigtem Bezug auf 4D-Ontologien fällt, indem Hayes' (1985b) *Naïve Physics* auf den GIS-Kontext übertragen und weiterentwickelt worden

²¹⁸³ Hayes (1985b: 24), Hvh. im Orig.

²¹⁸⁴ Vgl. etwa Borgo/Guarino/Masolo (1996, 1997); vgl. dazu auch die in Pkt. 6.2.5 behandelte Kontroverse.

ist.²¹⁸⁵ Problematisch wird das Ganze aber erst dadurch, dass GIS-Funktionalitäten und damit zusammenhängende GIS-Ontologien wiederum eine zentrale Bezugsbasis für Cyber-physische Systeme (CPS) bilden, wie sie bspw. im Rahmen von PEID-Technologien Einsatz finden. Dann nämlich basieren *autonome Systeme* auf Hayes' (1985b) *Naïve Physics*, was bedeutet, dass komplexe AI-Systeme in ihrer *Entscheidungsautonomie* eine ontologische Basis besitzen, die letztlich auf nichts weiterem fußt als auf fragwürdigen *Common Sense-Ontologien*. Wie fragwürdig sie sind wird deutlich, wenn E. Davis (1990) in seiner Expertise diverse *Common Sense Primitive* aus AI-Theorien strikt zurückweist:

»They do not correspond to anything much in the real world; they are arbitrary distinctions made by us, as theory builders, for the purpose of making axioms cleaner and shorter. As a result, our representation becomes less a description of the relations in the world and more a matter of logic programming.«²¹⁸⁶

An solchen Fällen zeigt sich, wie sehr die AI-Ontologieprogrammatik noch immer dem Experimentierstadium der AI-Frühzeit verhaftet ist, indem sie sträflich zwei Aspekte vernachlässigt: dass es sich bei AI-basierten Cyber-physischen Systemen (CPS) um *in die Realität eingebettete interaktive Systeme* handelt, und dass dabei *autonome Systeme* den Gegenstand bilden. Auch wenn sich die Debatte um *Superintelligenz* sicherlich kontrovers gestaltet, sollte nicht übersehen werden, dass der eigentliche Wert von AI-Systemen gerade in dieser liegt: Denn es geht darum, dass solche Systeme bei Entscheidungsautonomie nicht nur keine falschen Entscheidungen, sondern dass sie vielmehr die *bestmöglichen Entscheidungen* treffen. Unter Maßgabe des Autonomiegesichtspunkts gestalten sich also Systeme begrenzter Intelligenz mitunter problematischer als superintelligente Systeme: Beste, umfassend reflektierte Entscheidungen sind regelmäßig besser als schlechte. Es geht um stabile Systeme bei kritischen Prozessen, für die die *Top-level Ontologie* genauso entscheidend ist wie eine wirklich vollumfänglich durchgängige semantische Interoperabilität. Neben dem CPS- bzw. CPPS-relevanten Steuerungsaspekt gilt analoges mit Blick auf die Wissensentdeckung (KDD) bzw. Problemaufdeckung, die gerade für U-PLM-gestützte Engineeringprozesse wesentlich sind: Denn im Zuge umfassender AI-Stützung von Engineeringprozessen lassen sich bei komplexen Produkten in PLM-typischen Industrien wie der Luft- und Raumfahrt oder der Biotechnologie bereits in den PEP-Phasen Probleme aufdecken, die ansonsten ggf. erst in der Nutzungsphase offen zutage treten würden.

Mit der notwendigen Voraussetzung einer Ontologiekonzeption, die den Weg zur *Superintelligenz* nicht – wie die bestehenden – von vornherein verstellt, tritt neben das *Konsistenzargument* damit das *Transdisziplinaritätsargument*, das sich genauso zum einen auf die meta-ontologischen Aspekte wie zum anderen auf das TLO-Kategoriensystem bezieht. Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist mit der notwendigen vollumfänglichen SEI-Interoperabilität volle *ontologische Durchgängigkeit* einzufordern. Demnach impliziert Transdisziplinarität im Sinne universaler Ontologie das Ziel der beliebigen Kombinierbarkeit und Interaktion von Ontologien verschiedenster Felder. Dabei muss es vor allem da-

²¹⁸⁵ Vgl. etwa Hazarika/Cohn (2001, 2002).

²¹⁸⁶ E. Davis (1990: 206).

rum gehen, eine integrierte wissenschaftlich-technologische Ontologiekonzeption zu schaffen, die etwa bis hin zur praktisch eingesetzten Produktontologie reicht. Dieser Bezug wird deshalb unumgänglich, weil in PLM-relevanten Industrien praktische Produkt- resp. Engineering-Ontologien in den PEP-Phasen regelmäßig unmittelbar oder mindestens mittelbar auf rein wissenschaftlichen Ontologien aufbauen, und damit zusammenhängend auch auf technologischen. Entsprechend ist mit Blick auf PLM-relevante Industrien eine ontologische Durchgängigkeit zwischen Wissenschaft, Technologie und Praxis zu fordern: Es steht außer Frage, dass Produkt- resp. Engineering-Ontologien etwa in der Luft- und Raumfahrtindustrie inhaltlich nicht im Widerspruch zu objektivem physikalischen Wissen, z.B. zu jenem der Thermodynamik, stehen können. Analoges gilt etwa für die Medizintechnik im Hinblick auf die Quantenmechanik oder für die Biotechnologie im Hinblick auf die Genetik. Diese Notwendigkeit gilt auch für technologische Ontologien, die *per se* einen prinzipiellen Bezug zu *Scientific Ontologies* aufweisen. Tatsächlich sollten Engineering-Ontologien komplexer technologischer Produkte immer auf relevante wissenschaftliche Ontologien referenzieren, um Inkonsistenzen bzw. potentielle Probleme aufdecken zu können.

AI-Systeme sind auf Basis von *Common Sense-Ontologien* natürlich möglich, doch handelt es sich dann – verglichen mit den eigentlichen AI-Potentialen – um *Systeme begrenzter Intelligenz*, die als solche nicht unproblematisch sind. Im Grunde handelt es sich dabei um die umgekehrte Strategie zum Streben nach *Superintelligenz*. Denn auf Basis von *Common Sense-Ontologien* lassen sich zwar schnell funktionsfähige AI-Systeme realisieren, doch letztlich kommt man damit nicht weit. Gelangen solche Ontologien in intelligenten CPS oder autonomer Robotik zum Einsatz, ist damit impliziert, dass solche Systeme mit Verweis auf E. Davis (1990) nicht zwingend die bestmöglichen Entscheidungen treffen bzw. sich auf ihrer Basis die Wissensentdeckung oder Problemaufdeckung allenfalls sehr begrenzt realisieren lässt. Vor allem aber wird mit solchen Ontologiekonzeptionen zwangsläufig der Weg zur Superintelligenz verbaut, wenn in ihnen mehr gesehen wird als ein Provisorium, das konsequent durch zu entwickelnde *Scientific Ontologies* wie darauf referenzierende technologische Ontologien schnellstmöglich ersetzt wird. Für kritische Prozesse komplexer Systeme sind solche Ontologieansätze in der Tat als überaus problematisch zu werten, weshalb sie nicht die Grundlage der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bilden können. Mit Blick auf ihre TLO-Referenz heißt das, dass solche TLO-Ansätze, die auf dem *Common Sense-Gedanken* gründen, nicht als IoX-adäquat gewertet werden können. Das betrifft etwa die Cyc UCO; obschon diese regelmäßig als TLO-Kandidat für PLM-Systeme gesehen wird, ist sie für den Einsatz in komplexen AI-Systemen in ihren Grundannahmen grundsätzlich defekt bzw. CPSS/SEA-inadäquat.

Tatsächlich schaffen Ontologien, die sich auf wissenschaftsrelevante Sachverhalte beziehen ohne dass sie dabei selbst auf der wissenschaftlichen Methode basieren, eher Probleme als dass sie sich auf dieser Basis lösen lassen. Wissenschaftsrelevante Ontologien erfordern vielmehr eine möglichst umfassende Prüfung objektiven Wissens. Im Sinne der

Idee der Referenzontologie sind es somit die *Scientific Ontologies*, mit denen sich die Informatik eingehender auseinanderzusetzen hat. Da ihre Sachverhalte im Sinne des Ratio-Empirismus mit der *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik zu korrespondieren haben, folgt daraus, dass die Disziplin im Zuge ihrer ontologischen Revolution nicht an entsprechend relevanten methodologischen Fragen vorbeikommt. Das gilt umso mehr, als sich kritische Prozesse, bei denen AI-Systeme gerade am sinnvollsten eingesetzt werden können, bei wissensintensiven Sachverhalten vor allem auf Basis von *Scientific Ontologies*, darauf bezogenen technologischen Ontologien, sowie insbesondere auf der Grundlage ihrer umfassenden Kombination fundieren und absichern lassen. Solche wie alle anderen Ontologien haben auf die *Top-level Ontologie* zu referenzieren, die bei transdisziplinären Sachverhalten erst eine umfängliche semantische Interoperabilität gewährleisten kann. Eine solche TLO-Referenz ist zweifelsohne nur deshalb sinnvoll, weil es sich bei den TLO-Kategorien um tatsächlich *universale Kategorien* handelt. Wenn die Kategorien für wissenschaftliche, technologische und praktische Ontologien gleichermaßen universal sein müssen, lassen sie sich offensichtlich allein auf der Grundlage einer *Technoscientific Metaphysics* bestimmen. Indem fortschrittliche CPS wie U-PLM-Systeme prinzipiell auf allen drei Ontologietypen aufbauen, und ihre Kombination für die in Pkt. 6.3 aufgegriffene Idee der *Superintelligenz* der dritten AI-Generation gerade konstituierend ist, besteht im Rückgriff auf eine solche *Technoscientific Metaphysics* eine Basisanforderung, die die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu gewährleisten hat. Denn andernfalls würde der Weg zu einer solchen *Superintelligenz* der dritten AI-Generation, der ein langfristiger ist, von Anfang an verbaut. Genauso ist ein CPSS-adäquates universales Ontologieverständnis nicht auf andere Weise zu realisieren. Indem grundlegende wissenschaftliche Sachverhalte über lange Zeitabläufe regelmäßig neue Interpretation erfahren und es zuweilen zu neuen wissenschaftlichen Schlüsseltheorien kommt, müssen sich im ratio-empirischen Wechselspiel auch die universalen Kategorien ändern, wenn sie davon tatsächlich betroffen sein sollten.

Nicht nur die Kombination von wissenschaftlichen und technologischen Ontologien ist für intelligente CPS wegweisend. Vielmehr geht es mit Blick auf die Entscheidungsautonomie solcher AI-basierter Systeme darüber hinaus um die Kombination objektiver und subjektiver Ontologien. Selbstverständlich ist auch bei dieser Kombination die Natur des Wissens relevant, weil im Sinne Poppers objektives und subjektives Wissen genauso von grundverschiedener Qualität sind wie es bei wissenschaftlichem, technologischem und praktischem Wissen der Fall ist. Es steht außer Frage, dass es bei der Ontologie der Informatik zunächst um *Wissensontologie* geht, die mit den verschiedensten Ontologietypen und -arten selbstredend mit einer *Theorie des Wissens* zu korrespondieren hat. Gelangen jedoch *realweltliche* KR-Systeme in den Fokus, wie sie notwendig die zentrale Bezugsbasis der Ontologiediskussion bilden, ist gleichermaßen eine Korrespondenz der Wissensontologie mit einer *allgemeinsten transdisziplinären Theorie* erforderlich, d.h. einer techno-

wissenschaftlichen Metaphysik. Diese fragt insbesondere nach den fundamentalen Strukturen der Realität. Analoges gilt insgesamt für den Umstand, dass sich jede Wissensontologie auf Diskursuniversen und damit auf Weltmodelle bezieht, womit die fundamentalen Strukturen dieser Welten offenzulegen sind. Das ist allein Sache der Metaphysik. Damit muss eine langfristig tragfähige Ontologiekonzeption offensichtlich notwendig auf eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* hinauslaufen, wie sie in Pkt. 3.4 bzw. Pkt. 3.5 diskutiert wird. Vor diesem Hintergrund steht auch in dieser Hinsicht außer Frage, dass ein rein linguistischer OE-Ansatzpunkt, wie ihn die Informatik landläufig im Gruberschen Sinne praktiziert, für CPS-bezogene AI-Welten nicht nur zu kurz greift, sondern sich faktisch disqualifiziert. Linguistische *Common Sense-Ontologien* oder der linguistische Physikalismus Carnaps sind für CPS-basierte PLM-Kontexte gleichermaßen inadäquat. Es gibt in der durch große Konfusion bestimmten Ontologiefrage letztlich nur eine dauerhaft tragfähige Lösung; diese wird im folgenden Pkt. 3.4 mit dem IMKO *OCF* näher skizziert.

Mit IoX-basierten Cyber-physischen Systemen (CPS), ebensolchen Produktionssystemen (CPPS) wie entsprechender PEID-Lösungen in der MOL-Phase münden Closed-loop U-PLM-Systeme als PSS-bezogener Integrationsplattform des *Smart Enterprise* automatisch im Gedanken *ubiquitärer PLM-Systeme* (U-PLM). Auf diese U-PLM-Systeme hat die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* als anspruchvollstes Szenario abzustellen; für sie bildet die *Top-level Ontologie* die Referenzbasis in der *Smart Enterprise Integration* (SEI), deren Grundpfeiler in einer langfristig tragfähigen, CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption bestehen muss. Mit der IoX-Vernetzung sollte das universale Ontologieverständnis der Informatik zweifelsohne insgesamt diesem zentralen Kriterium der CPSS-Adäquanz entsprechen. Damit ist die TLO-zentrische *Ontologie komplexer IoX-Systeme realweltlich* zu konzipieren,²¹⁸⁷ wobei der für alle natürlichen wie sozialen Prozesse bzw. für deren Kombination erforderliche universale Unterbau allein in Form einer ratio-empirischen *Technoscientific Metaphysics* zu stellen ist. Denn in CPS-Kontexten scheitert die Strategie Quines, dazu einen Naturalismus bemühen zu wollen genauso im Allgemeinen, wie es für den Physikalismus oder Biologismus im Speziellen gilt. Carnaps Idee der Physik als Einheits-sprache der Wissenschaft ist somit genauso überholt und antiquiert wie der linguistische OE-Ansatzpunkt der Informatik, auch wenn letzter *en vogue* ist. Die Informatik wird über kurz oder lang zu der Erkenntnis gelangen müssen, dass CPS-Kontexte komplexer IoX-Systeme nach einem transdisziplinären Fundament verlangen, welches letztlich allein auf Basis einer *techno-wissenschaftlichen Metaphysik* begründbar ist.

Die in Pkt. 3.1 wie weiter unten thematisierte *linguistische Wende (linguistic turn)*, von der in der Philosophie aus gutem Grund seit langem nicht mehr im rein sprachphilosophischen Sinne die Rede ist, scheitert mit dem Aufkommen realweltlicher CPS wie mit dem auf dieser Basis unlösbaren ontologischen Inkommensurabilitätsproblem auch in der Informatik. Entsprechend ist der linguistische OE-Ansatzpunkt als gescheitert zu erachten,

²¹⁸⁷ Vgl. etwa Anke et al. (2007).

was keineswegs bedeutet, dass linguistische Aspekte damit *per se* für die Ontologiediskussion unwesentlich wären. CPSS-adäquate Ontologien lassen sich nur nicht auf diesem linguistischen Wege erschließen und entsprechend kann sich die Methodik des *Ontology Engineering* genauso wenig auf eine sprachlich-deskriptive Analyse erschöpfen. Ein zukunftsweisendes *Ontology Engineering* hat vielmehr rigoros von der *Top-level Ontologie* auszugehen, die sich ihrerseits durch und durch metaphysisch bestimmt zeigt. Darauf ist aus dem Grunde in besonderer Weise abzustellen, als weite Teile der Informatik weder ihr noch insgesamt den damit zusammenhängenden Sachverhalten besondere Aufmerksamkeit zukommen lassen. Sie sind vielmehr insbesondere auf die naiven Ontologiekonzeptionen von Genesereth/Nilsson (1987) und Gruber (1993, 1995) fixiert, mit denen eine Vielzahl komplizierter Fragen auf einfache Weise vermeintlich entfallen. Zielt die Informatik indessen auf umfassend intelligente, stabile AI-Systeme, was für sie als technologische Disziplin verpflichtend ist, besteht in dieser Fixierung keine gute Wahl, sondern ein Trugschluss.

Es ist eine streitbare Frage, inwieweit die Informatik in ihrer ontologischen Revolution an einer tieferen philosophischen Diskussion vorbeikommt. Es lässt sich jedoch durchaus die Auffassung vertreten, dass das gar nicht der Fall sein kann. Denn diese philosophische Debatte ist allein schon deshalb für jeden Informatiker zwingend, weil AI-Systeme genauso im Zentrum der Disziplin stehen wie Ontologien, und sich ohne eine solche Debatte nicht einmal die mit ihnen zusammenhängenden Kernprobleme oberflächlich begreifen, geschweige denn etwas umfänglicher verstehen lassen. Lösungen dieser Kernprobleme können dabei gewiss nicht an der Oberfläche bleiben, und zumindest diejenigen Informatiker, die sich mit den Lösungen beschäftigen, kommen nicht um einen tieferen Einstieg in die Materie umhin. Wenn heute in realweltlichen CPS-Kontexten die *linguistische Wende* im OE-Ansatzpunkt in Frage steht, wenn es eine Vielzahl konkurrierender Ontologiekonzeptionen gibt, die mit einem realistischen OE-Ansatzpunkt aufwarten und damit vollkommen anders fundiert sind, muss in dieser Debatte zwangsläufig bis auf Wittgenstein (1921) oder Carnap (1931a, 1931b) zurückgegangen werden, um die Zusammenhänge zu realisieren. Heißt es bei McCarthy (2000: 45) als in der gesamten AI-Debatte wohl einflussreichsten Vertreter der Disziplin: »Ontology has been used variously in AI, but I think Quine's usage is best for AI«, ist nicht nur Quines eigene Ontologie in umfassender Weise zu verstehen, sondern auch die damit unmittelbar verknüpften Positionen Wittgensteins, Carnaps, Whiteheads et alii. Denn erst in der Abgrenzung zu diesen und weiteren relevanten Positionen lässt sich die Quinesche formale Ontologie, etwa in ihrem Realismus, ihrem Naturalismus, ihrem Logizismus oder in ihrer Eigenschaft als 4D-Ontologie tatsächlich sachgerecht verstehen: Wenn Ontologiekonzepte mit AI-Systemen im Zentrum der Disziplin stehen, ist ein sachgerechtes Verständnis im Grunde für jeden Informatiker augenscheinlich zwingend. Analoges gilt demnach für die Ansatzpunkte im *Ontology Engineering* (OE), für die alles entscheidende Wahl zwischen dem heute mit Gruber (1993, 1995) allgemein favorisierten *rein-linguistischen OE-Ansatzpunkt* als Position *deskriptiver Meta-*

physik, und dem *realistischen OE-Ansatzpunkt*, der mit der davon untrennbaren Frage nach den *fundamentalen Strukturen der Realität* zwingend als Position *revisionärer Metaphysik* zu verstehen ist. Tatsächlich ist es nicht zuletzt Carnap (1931b), der die logische Analyse der Sprache einleitet, deren Problematik für die formale Ontologie und ihr zentrales Inkommensurabilitätsproblem noch insofern relativ begrenzt bleibt, als sich Carnap (1931a) dabei strikt auf die *exakte physikalische Sprache* als wissenschaftlicher Universalsprache beschränkt. Problematischer wird die *linguistische Wende* in der Konsequenz für die Informatik erst mit Wittgensteins (1953) Spätwerk, denn dieses bedeutet eine Abkehr von wissenschaftlichen Fragen im Sinne objektiven Wissens und eine Hinwendung zu den vergleichsweise unwichtigen *Problemen des Sprachgebrauchs* und seiner Analyse. Das markiert insbesondere den ontologischen Einstiegspunkt Sowas, wie er in Pkt. 2 erörtert wurde. Bunge (2006: 58) kritisiert diese Entwicklung demgegenüber völlig zu Recht als fundamentale Fehlentwicklung, und aus gutem Grund wollte auch Whitehead (1929a) – im Gegensatz zu seinen Schülern wie Russell, Quine oder Davidson – von Sprachphilosophie i.e.S. nie etwas wissen. In der Tat lässt sich das ontologische Inkommensurabilitätsproblem auf ihrer Basis nicht beheben; mit der unzulässigen Reduktion von Ontologie auf Normal-sprache bricht es vielmehr erst richtig aus.

Eine eingehendere philosophische Debatte ist auch deshalb unvermeidbar, als sich die für die Informatik zentrale Diskussion um die OE-Ansatzpunkte weitaus stärker durch epistemologische wie durch wissenschaftstheoretische Gesichtspunkte bestimmt zeigt als es in den Reihen der Disziplin gemeinhin wahrgenommen wird. Dass ihr Grundstoff *Information* nicht mehr syntaktisch, sondern selbst bei M2M-Interoperabilität heute prinzipiell konsequent *semantisch* verstanden wird, dass intelligente AI-Systeme darüber hinausgehend genauso konsequent auf *Wissen* hinauslaufen, führt zu weitreichenden Implikationen, die für die Disziplin umso größere Relevanz entfalten, je intelligenter solche Systeme werden und je mehr man sie gleichzeitig in reale Strukturen einbettet. Denn dann geht es nicht nur mit der Metaphysik darum, die fundamentalen Strukturen der Realität überhaupt zu klären, worin natürlich der methodisch erste Schritt bestehen muss, wenn jede realitätsbezogene wie langfristig wiederverwendbare Wissensrepräsentation zunächst einmal die Klärung der fundamentalen Kategorien voraussetzt. Damit geht es auch um den Erkenntniszusammenhang, um Epistemologie, während die Informatik gerade mit der besonderen Bedeutung von *Scientific Ontologies* auch nicht an einer umfassenderen methodologischen Kontroverse umhinkommt. Wird diese gesucht, wird die Disziplin erkennen müssen, dass ihre *linguistische Wende* nicht nur in ontologischer wie epistemologischer, sondern ebenso in methodologischer Hinsicht vollständig überholt ist. Dann steht auch außer Frage, dass ihr Ontologieverständnis nicht nur ein konfusees ist, sondern dass es durch grundsätzliche Defizite und Defekte geprägt ist, die sich allein auf Basis eines radikal neuen ontologischen Fundaments überwinden lassen. – Wäre in der Disziplin ein Stand erreicht, der diese Erfordernisse anerkennt, würde die *Top-level Ontologie* in ihren Reihen einen vollkommen

anderen Status besitzen müssen. Dann wäre für sie evident, was es heißt, dass es sich bei ihr um ihre *oberste Ontologieebene*, um ihre *Referenzebene*, wie überhaupt um nichts anderes als den Ausgangspunkt des *Ontology Engineering* insgesamt handelt. Nichts davon ist verstanden, wenn sich die Disziplin an der Gruberschen Ontologiekonzeption orientiert.

Erfolgt in der Ontologiediskussion der Informatik darüber hinaus etwa mit Ashenhurst (1996), W. Hesse (2002) oder Varzi (2011) bewusst der *Versuch, Ontologie von der Metaphysik zu separieren*,²¹⁸⁸ sollte man ein solches Ansinnen in seinen weitreichenden Konsequenzen sehr genau durchdenken. Das nicht nur in genereller Hinsicht, weil Ontologie dadurch nicht etwa besser, sondern entscheidend schlechter wird, indem sich die für die CM- wie AI-Sphäre gleichermaßen zentrale Frage nach den *fundamentalen Strukturen der Welt bzw. Diskurswelten (UoD)* und damit jene nach den *fundamentalen Strukturen der Realität* von vornherein gar nicht mehr stellt. Vielmehr gilt dies auch in methodologischer Hinsicht, indem solche Überwindungsversuche der Metaphysik durch die logische Analyse der Sprache letztlich auf einen Logischen Positivismus resp. Logischen Empirismus hinauslaufen, wenn man diese methodologische Auseinandersetzung überhaupt sucht.²¹⁸⁹ Damit geht es um die wissenschaftstheoretischen Positionen des Positivismus Machs (1918), des Wiener Kreises resp. Logischen Empirismus Carnaps, die sich seit langer Zeit allesamt als methodologisch unhaltbar erwiesen haben: Wenn das Reale beim linguistischen OE-Ansatzpunkt resp. der deskriptiven Metaphysik in wissenschaftlichen resp. technologischen Kontexten eine Rolle spielt, und sie den metaphysischen Realismus ablehnen, dann verlagert sich dieser zwangsläufig auf einen Empirismus. Dabei gründet der Logische Empirismus bekanntlich auf der empirischen Verifikationsmethode, die sich jedoch als wissenschaftstheoretisch unhaltbar erwiesen hat. Ersetzt man diese jedoch durch die Poppersche Falsifikationsmethode, gibt es keine Gründe, den realistischen OE-Ansatzpunkt nicht zu teilen.^{2190, 2191} Denn auf ihr baut dieser wie insgesamt die revisionäre Metaphysik auf, wenn

²¹⁸⁸ In aller Regel basieren solche Anstrengungen zudem auf einem unzeitgemäßem Metaphysikverständnis; sie zeichnen sich dadurch aus, dass die zentrale transdisziplinäre wie meta-ontologische Funktion der Metaphysik mitsamt ihrer zentralen Rolle bei der Begründung von TLO-Kategorien erst gar nicht thematisiert wird. Entsprechend findet keine Auseinandersetzung mit *wissenschaftlicher*, geschweige denn *techno-wissenschaftlicher Metaphysik* statt, womit sich solche Anstrengungen selbst disqualifizieren.

²¹⁸⁹ Die Notwendigkeit dazu ist auf Basis der Gruberschen Ontologiekonzeption erst gar nicht ersichtlich, wenn sie nicht das Erfordernis erkennen lässt, dass *Scientific Ontologies* im Popperschen Sinne gesondert abzugrenzen sind. Mit zunehmender Bedeutung der *Semantic E-Sciences* ist es indessen nur eine Frage der Zeit, wann die Disziplin auch dieser grundlegende Defekt ihrer heute mit großem Abstand favorisierten Ontologiekonzeption einholen wird. Solche Defekte werden zur Konsequenz haben, dass mit großem Aufwand erstellte Ontologiebibliotheken bereits mittelfristig nicht mehr wiederverwendbar sind, wenn diese auf grundlegend defekten bzw. defizitären Ontologiekonzeptionen aufbauen.

²¹⁹⁰ Popper hat gezeigt, dass aus der Bewahrheitung einer Behauptung im Sinne der Verifikation nicht automatisch deren tatsächliche Richtigkeit folgt, womit sein Falsifikationsprinzip genau umgekehrt an der *Widerlegung* einer Behauptung ansetzt. Quine (1976c: 3 ff.) unterscheidet schließlich zwischen zwei Klassen von Paradoxa, nämlich solchen, die wahr sind (veridikale Paradoxa) und solchen, die falsch sind (falsidikale Paradoxa). Wesentlich ist dabei der Umstand, dass das veridikale Paradoxon auch bei Quine subjektbezogen und somit *epistemologischer* Natur ist, während das falsidikale Paradoxon eine *methodologische* Natur besitzt. P.M. Simons (1989) greift Quines Differenzierung auf, und mit ihm wird nochmals deutlich, dass die Veridikalität für Aussagen über propositionale Einstellungen sinnvoll ist, also für dezidierte Sachverhalte der Agentenwelt.

sich jede superiore, und damit im Zeichen des *Kritischen Rationalismus* einzig verteidigbare Metaphysik zwingend durch einen *Ratio-Empirismus* bestimmt zeigt.²¹⁹² Auf dieser Basis stellt es sich auch als unproblematisch dar, den metaphysischen Realismus vorauszusetzen, wie es bei Popper bezeichnenderweise auch selbst geschieht. Entsprechend sind solche Separationsversuche zulasten der Metaphysik nicht nur unnötig; vielmehr sind sie insgesamt für eine *realitätsbezogene AI-Konzeption* ganz und gar unzweckmäßig.

Vor diesem Hintergrund entbehrt es nicht einer gewissen Ironie, wenn die Verfechter des linguistischen OE-Ansatzpunkts die Metaphysik gerade deshalb überwinden wollen, weil metaphysische Aussagen nicht mit ihrer antiquierten Verifikationsmethode korrespondieren: Für Carnap (1966) sind die erwähnten *externen Fragen* in negativer Konnotation metaphysische Fragen, zu denen er konstatiert: »This is not science, but pure metaphysics. There is no possibility of confirmation, no correspondence rules for connecting the theory with observable phenomena!«. ²¹⁹³ Damit zeigt sich zugleich, dass Metaphysik gerade auch deshalb abgelehnt wird, weil nicht nur das *methodische Verständnis* ein unzeitgemäßes ist, sondern auch das *metaphysische Verständnis* insgesamt überholt ist. Denn Metaphysik wird durch Carnap ganz offensichtlich im Sinne der in Pkt. 4.1 abgegrenzten *reinen* und *exakten* Metaphysik verstanden, nicht aber im Sinne der *wissenschaftlichen Metaphysik*, wie sie zu Carnaps Zeiten etwa mit Eisler (1905), Burt (1925), Whitehead (1929a), Einstein (1934) oder Apostel (1963) schon lange in der Diskussion war. Im Sinne der *techno-wissenschaftlichen Metaphysik* wird sie erst gar nicht verstanden. Indem diese mit Verweis auf Pkt. 4.1 fallibel ist, geht die Kritik Carnaps nicht nur an dieser vorbei; vielmehr lässt sich Carnaps Kritik auch nicht mehr als Rechtfertigungsargument für den linguistischen Standpunkt heranziehen. Tatsächlich lässt sich dieser überhaupt nicht rechtfertigen, und entsprechend muss es ein Rätsel bleiben, warum die Informatik ihn mit ihren Ontologien heute immer noch vertritt. Indem insbesondere Popper gezeigt hat, dass die Verifikationsmethode wissenschaftstheoretisch unhaltbar ist und diese durch die deduktive Falsifikationsmethode ersetzt hat, entbehrt alle auf der Verifikationsmethode basierende Metaphysikkritik jeder Grundlage. Dies umso mehr, als Carnap nicht zufriedenstellend bestimmt hat, was genau eine metaphysische Behauptung kennzeichnet.²¹⁹⁴ Vielmehr zeigt sich mit Verweis auf Pkt. 4.1 das eigentliche Problem darin, dass metaphysische Sätze strikt im Sinne des Ratio-Empirismus zu halten sind, ohne den die Metaphysik auch nicht von zentralem Einfluss auf die *Top-level Ontologie* der Informatik sein kann.

²¹⁹¹ Vgl. hierzu ergänzend Van Gulick (1987: 742).

²¹⁹² Das ist hier im Sinne Poppers (1979) zu verstehen, wonach sich jeder Metaphysikansatz rationaler Kritik zu stellen hat, und mit rationalen Argumenten kritisiert oder unterstützt werden kann. Dabei impliziert ein solches Unterfangen im Sinne *revisionärer Metaphysik* einen systematisch zu betreibenden Selektionsprozess, für den insbesondere das Argument des *Ratio-Empirismus* für alle verteidigbare Metaphysik genauso konstituierend ist wie gleichzeitig eine insbesondere für Technologien wesentliche *Mögliche-Welten-Semantik*. Insofern läuft jede Metaphysik als transdisziplinärer Ansatz zwingend auf eine *techno-wissenschaftliche Konzeption* hinaus, vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 4.1.

²¹⁹³ Vgl. Carnap (1966: 244).

²¹⁹⁴ Vgl. auch P.M.S. Hacker (2000: 479).

Entsprechend relativiert sich die Position der deskriptiven Metaphysik und ihrer Kritik an ihrem revisionären Pendant grundsätzlich: sie irrt in der Annahme, dass eine revisionäre Metaphysik entweder nicht möglich oder aber nicht sinnvoll sei. Vielmehr gilt umgekehrt, dass erste selbst in all ihren Facetten unhaltbar ist. Denn die für sie maßgebliche linguistische Wende ist nicht nur in erwähnter metaphysischer und methodologischer Hinsicht gescheitert, sondern darüber hinaus auch in epistemologischer: Hierbei ist zunächst hervorzuheben, dass der *Konstruktivismus*, der für die deskriptive Metaphysik und mit ihr für den linguistischen OE-Ansatzpunkt konstituierend ist, in direkter Beziehung zu den bereits *ad acta* gelegten metaphysischen und methodologischen Positionen steht. Es ist kaum bestreitbar, dass die *linguistische Wende* resp. die deskriptive Metaphysik ihren ultimativen Ausgangspunkt in der Fehlinterpretation des Kantischen (1781) Werks besitzt. Denn natürlich steht die *linguistische Wende* im Zeichen von Kants (1781) *Kopernikanischer Wende*; allerdings wird sie mit Whiteheads (1929a) *zweiter Kopernikanischer Wende*, die unter techno-wissenschaftlichen Gesichtspunkten unabdingbar ist, *ad absurdum* geführt. Analoges vollzieht sich in der Informatik im Zuge der CPSS-adäquaten metaphysisch-revisionären *Top-level Ontologie*. Dass die deskriptive Metaphysik im Zeichen von Konstruktivismus, Analyse der Sprache bzw. des Sprachgebrauchs, Konsens als Wahrmacher usf. keine systematische Verbindung mehr zu den modernen Wissenschaften eröffnet, entspricht gewiss nicht der Kantischen Position. Genauso wenig, dass ihre universal vorausgesetzten möglichen Welten, die kontrafaktische Aussagen genauso wie beliebige linguistische Konstrukte oder mögliche Universalien zulassen, den Bruch mit den Wissenschaften ebenso besiegeln. Dem linguistischen OE-Ansatzpunkt wird mit dieser Entwicklung zudem *objektives Wissen* im Sinne einer methodologisch einwandfreien Wissenschaftspraxis unmöglich. Wie erwähnt, geht dies zumeist mit einer Infragestellung der Natur bzw. Möglichkeit objektiven Wissens *an sich* einher. Dabei handelt es sich nicht nur insgesamt um eine Fehlentwicklung, sondern sie ist insbesondere für die Informatik ebenso elementar wie unhaltbar. Denn die Natur der Wissensontologie stellt mit Verweis auf Pkt. 3.3.1 gerade auf die Idee der *Referenzontologie* ab, die in globalen Kontexten weitgehend anonym interagierender Akteure ihrerseits weniger auf einem einfachen Konsensprinzip, als vielmehr auf den methodologischen Prinzipien *objektiven Wissens* beruhen sollte. Das gilt allen voran für *Scientific Ontologies*, genauso für technologische Ontologien, aber auch für praktische Ontologien, weil diese zum einen in vielen Fällen mit den beiden vorgenannten in unmittelbarer oder mindestens mittelbarer Verbindung stehen, zum anderen etwa in global verteilten Strukturen kaum ein Konsensprinzip greifen kann, dessen inhaltliche Aspekte objektivem Wissen widersprechen. Insofern ist dieses Prinzip in Bezug auf alle wissenschaftsrelevanten Fakten, auch entsprechend technologischen, nicht anwendbar, sondern allein auf anderweitige, nicht-wissenschaftsrelevante zu objektivierende Sachverhalte.

Das, was etwa Guarino als kategorischer Verfechter deskriptiver Metaphysik resp. des linguistischen OE-Ansatzpunkts in expliziter Anlehnung an den *Modalen Realismus* von

Lewis (1983, 1986b) als "Realität" versteht, ist gerade zentraler Gegenstand von Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft*. Denn in diesem Modalen Realismus ist letztlich nichts anderes zu sehen als die Fortführung jener rein spekulativen Metaphysik, wie sie für die in Pkt. 4.1 dargestellte *reine resp. exakte Metaphysik* kennzeichnend ist.²¹⁹⁵ Die *analytische Metaphysik* stellt im Zeichen *reiner Modalmetaphysik* mit Van Fraassen (2002) einen Rückfall in den Metaphysikstil des siebzehnten Jahrhunderts dar, und genau diesen hatte Kants (1781) Kritik im Sinn.²¹⁹⁶ Insofern wird deutlich, dass zentrale Verfechter deskriptiver Metaphysik wie Guarino mit ihrem auf den Sichtweisen der analytischen Metaphysik basierendem Modalen Realismus und der daraus hervorgehenden Modallogik in letztlich grundsätzlichem Widerspruch zu ihrem ultimativen Ausgangspunkt, nämlich zu Kant, stehen. Auf Basis des mit der deskriptiven Metaphysik verbundenen Konstruktivismus wie auch auf Grundlage der Sprachanalyse lässt sich das für die Ontologie fundamentalste Problem, nämlich ihr *Inkommensurabilitätsproblem*, nicht überwinden. Insgesamt muss es überraschen, dass dieses Kernproblem im Zuge linguistischer Ontologien im Allgemeinen keine Erwähnung findet, obwohl es sich dabei bereits bei Kuhn (1962) explizit um ein *semantisches* Problem handelt.

Dass das Inkommensurabilitätsproblem im Lager der linguistischen Ontologie nicht weiter verfolgt wird, hat gute Gründe: Denn im Vergleich zu realistischen Ontologien nimmt die ontologische Inkommensurabilität auf Basis linguistischer Ontologien im Allgemeinen ganz erheblich zu, weil es kein eigentliches, prinzipielles Korrektiv gibt. Demgegenüber nimmt es auf der Grundlage realistischer Ontologien wesentlich ab, indem sich diese in direkter Weise mit genau solchen Sachverhalten auseinandersetzen, die die Realität ausmachen. Das setzt wiederum die metaphysische Kontroverse um ihre fundamentalen Strukturen notwendig voraus, womit schließlich deutlich wird, dass die These, wonach sich die Ontologie von der Metaphysik isolieren lässt, nichts weiter als eine Illusion ist. Entsprechend lässt sich das ontologische Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem der Informatik auch nur auf Basis einer einheitlich vorausgesetzten *realistisch-metaphysischen Top-level Ontologie* dauerhaft überwinden, wobei ein solches einheitliches Voraussetzen selbstredend allein über aktiv vollzogene Selektionsprozesse ermöglicht werden kann. In dieser aktiven Selektion, in diesem wissenschaftlichen Streit, besteht indessen gerade eine vordringliche Aufgabe der Informatik als Wissenschaft. Sie ist deshalb von erstrangiger Natur, weil sie in überaus weitreichender Weise ihre Technologie und Praxis berührt, indem nahezu ihre gesamten Systeme *intelligente Systeme* sind, die einen semantischen Informationsbegriff voraussetzen.

²¹⁹⁵ Mit Verweis auf Pkt. 4.1 ist hier etwas genauer zu differenzieren, wenn die *analytische Metaphysik* bzw. *Modalmetaphysik* in Bezug zur reinen bzw. exakten Metaphysik gesetzt wird. *Reine Metaphysik* steht insofern im OLP-Zeichen, als hier jenseits der Formalwissenschaften ein sprachlicher Rationalismus unternommen wird. Demgegenüber ist die *exakte Metaphysik* mit ihrem umfassenden Gebrauch der Formalwissenschaften im genauso übertragenen Sinne der ILP-Tradition verpflichtet.

²¹⁹⁶ Vgl. hierzu auch Fn. 2038.

Das Scheitern der *linguistischen Wende* in Philosophie wie Informatik ist darüber hinaus eng mit der zentralen ontologischen Frage nach der *Existenz von Entitäten* verbunden: Denn nur das, was real existiert, hat vollen ontologischen Status.²¹⁹⁷ Vor diesem Hintergrund gilt auch für die Ontologie der Informatik, was Bergmann (1992: 317 ff.) für die Ontologie insgesamt fordert: »One can, properly speaking, think only what has full ontological status, and conversely. [...] That is why [...] it is high time that the linguistic turn be contained«. ²¹⁹⁸ – Mit den obigen Ausführungen ist beantwortet, was an ihre Stelle zu treten hat, was sich für die Ontologie der Informatik unmittelbar an einzelnen Beiträgen festmachen lässt: An Stelle der *linguistischen AI-Ontologiekonzeption* von Fikes/Nilsson (1971), Neches/Fikes/Finin/Gruber et al. (1991), Cutkosky/Engelmore/Fikes/Genesereth/Gruber et al. (1993), Gruber (1993, 1995) und insbesondere Genesereth/Nilssons (1987) muss wieder die knapp zwanzig Jahre zuvor ebenfalls am *Computer Science Department* der Stanford University entwickelte *metaphysische AI-Ontologiekonzeption* von McCarthy/Hayes (1969) treten, deren metaphysischer Logizismus mit dem *Situationskalkül* das durch McCarthy Anfang der 1960er Jahre begründete *Stanford AI Lab* im prozessualen AI-Sinne von Beginn an bestimmte. Nur eine solche *metaphysische AI-Ontologiekonzeption* ist in der Lage, dem Transdisziplinaritätsgedanken, den *Scientific Ontologies* wie dem Gedanken objektiven Wissens, den CPS-Anforderungen physischer Welten und damit schließlich auch der Superintelligenz gerecht zu werden. Allerdings bedarf es dazu zunächst eines sachgerechten Ontologieverständnisses, das im nachfolgenden Pkt. 3.4 mit dem IMKO *OCF* umrissen wird.

Es wäre eine abwegige Annahme zu glauben, dass sich die linguistische Ontologie im Sinne deskriptiver Metaphysik loslösen ließe von der revisionären Metaphysik, wie sie im Zeichen der wissenschaftlichen Metaphysik steht. Diese Tatsache lässt sich anhand einer Vielzahl von Sachverhalten illustrieren – und sie wird etwa durch Verfechter der *Common Sense-Ontologien*, insbesondere im Kontext der *Naïve Physics*, auch explizit eingeräumt. Das ist bspw. dann der Fall, wenn Hayes (1985c: 16) konstatiert, dass diese nicht ohne eine *Substanzontologie* auskäme: »It really seems that we cannot get away from substances no matter how hard we try«; und natürlich fällt auch die dort behandelte Abgrenzungsfrage von Substanzen und Einzeldingen ebenso in den Bereich revisionärer Metaphysik. Vor allem aber ist die in Pkt. 6.1.1 behandelte Kontroverse zwischen *Substanz- und Prozessontologie* für die revisionäre Metaphysik konstituierend, und auch diese ist für die linguistische *Common Sense-Ontologie* von grundsätzlicher Bedeutung: Während sich Hayes (1985c) auf Substanzen oder die Cyc-Ontologie auf Dinge bezieht, sehen das mit Verweis auf Pkt. 5.7 Forbus (1984, 1993, 2008) wie E. Davis (1992, 2008) ganz anders. Für sie steht außer Frage, dass ihre *Qualitative Process Theory*, die auf der *Naïve Physics* aufbaut, *prozessontologisch* zu konzipieren ist, weil dies für die Repräsentation physikalischer En-

²¹⁹⁷ Vgl. etwa Bergmann (1992).

²¹⁹⁸ Vgl. Bergmann (1992: 317 f.), ohne Hvh. des Orig.

titäten notwendig sei. Bereits dieser Aspekt zeigt, dass sich revisionär-metaphysische Fragen im Zuge *linguistischer Common Sense-Ontologien* genauso stellen wie bei allen anderen Varianten deskriptiver Metaphysik.²¹⁹⁹ Im Grunde laufen sämtliche metaphysische Fragen der deskriptiven Metaphysik auf Fragen revisionärer Metaphysik hinaus, womit der linguistische OE-Ansatzpunkt in Gestalt deskriptiver Metaphysik mit Verweis auf Pkt. 6.2.2 nicht um revisionäre Metaphysik, und damit nicht um den realistisch-metaphysischen OE-Ansatzpunkt umhinkommt.

Dass eine Rückbesinnung auf McCarthy/Hayes (1969) unumgänglich wird, und der linguistische OE-Ansatzpunkt ein Irrtum ist, wird auch durch einen weiteren OE-Linguisten, nämlich durch Fikes, implizit eingeräumt: Im expliziten Rekurs auf McCarthy/Hayes (1969) erkennen Welty/Fikes (2006) im Zuge der Entwicklung einer OWL-Konzeption für das *Semantic Web* das Erfordernis, eine *4D-Ontologie* zugrundezulegen.²²⁰⁰ Ein solches Erfordernis lässt sich allerdings nur im Sinne revisionärer Metaphysik bestimmen, die insgesamt auf den *realistisch-metaphysischen OE-Ansatzpunkt* hinausläuft. Wenn Welty/Fikes (2006: 235) explizit feststellen, dass ihr Ansatz mit dem Perdurantismus der *analytischen Metaphysik* korrespondiert, sei dies um zwei grundsätzliche Anmerkungen ergänzt: (i) Strawsons (1959) Differenzierung zwischen deskriptiver und revisionärer Metaphysik ist auch insofern nicht mehr trennscharf, als die *analytische Metaphysik* diese Differenzierung überbrückt.²²⁰¹ Denn die Analytische Philosophie, in der die eigentliche Grundlage deskriptiver Metaphysik zu sehen ist, hat jene antimetaphysische bzw. metaphysikkritische Haltung, die für den Wiener Kreis, für Carnap (1931b) oder fünfzig Jahre später auch noch für Quine (1981) bestimmend ist, im Grunde vollends aufgegeben.²²⁰² E.J. Lowe (1998: 2) hat es treffend auf den Punkt gebracht: »Analytic philosophers are no longer antipathetic to arguments concerning the nature of substance, the reality of universals or the existence of abstract entities«. Mit diesem Schritt wird implizit eingeräumt, dass linguistische Konventionen für analytische Zwecke, gerade jene der AI-Ontologie, nicht ausreichend sind.

²¹⁹⁹ Bei McCarthy/Hayes (1969) wird entsprechend deutlich, welchen Status solche linguistischen *Common Sense-Ontologien* besitzen; sie können die metaphysisch fixierte Ontologie natürlich nicht ersetzen, wie es die Verfechter der deskriptiven Metaphysik irrtümlicherweise annehmen.

²²⁰⁰ SOWL (Spatio-Temporal OWL) baut dabei explizit auf dem *Perdurantismus* bei Welty/Fikes (2006) auf, vgl. Batsakis et al. (2010); vgl. hierzu ergänzend Kap. 6.2.5.

²²⁰¹ Wenn Thalberg (1985) *analytische Metaphysik* und *deskriptive Metaphysik* gleichsetzt, sei angemerkt, dass dies zwar für einen Großteil der Ansätze gelten kann, jedoch weder alle *analytische Metaphysik* Strawsons (1959) deskriptiver Variante entspricht, noch sich die deskriptive Metaphysik auf die analytische Metaphysik reduzieren lässt. Neo-aristotelische Ansätze (E.J. Lowe, B. Smith usf.) sind zwar deskriptiv, gehören jedoch in keiner Weise in die analytische Metaphysik; vgl. hierzu Pkt. 4.1.

²²⁰² D.M. Armstrong, R. Chisholm, S. Kripke, D.K. Lewis, R. Millikan, H. Putnam und andere plädieren dafür, wieder klassisch ontologische resp. metaphysische Überlegungen in den Fokus der Analytischen Philosophie zu stellen; diese Bewegung wird als *analytische Metaphysik* bezeichnet. Zu solchen klassisch ontologischen Themen gehören etwa Universalien, Kausalität, Möglichkeit und Notwendigkeit, oder abstrakte Objekte. Dieser grundlegende Wandel der Analytischen Philosophie kann neben verschiedenen anderen Einflüssen nicht zuletzt auf die zweite Kopernikanische Wende Whiteheads (1929a) zurückgeführt werden, mit der die maßgebliche Bedeutung der Ontologie resp. Metaphysik in expliziter Kritik Kants (1781) nochmals vor Augen geführt wurde. Whitehead selbst ist allerdings insgesamt ein Kritiker der sprachphilosophischen Richtung.

Im Grunde genommen gehören alle Ansätze der *analytischen Metaphysik* jedoch in die Sphäre *revisionärer Metaphysik*, indem hier der Streit aller konkurrierenden Metaphysiksysteme im Zeichen von McCarthys (1995) "*general world view*" auszutragen ist. Entsprechend ist in der *analytischen Metaphysik* das Eingeständnis linguistischer Ontologen zu sehen, dass man an revisionär-metaphysischen Fragen nicht vorbeikommt. Denn bei der Metaphysik geht es um die für die Bestimmung der Kategorien formaler Ontologie notwendige Frage nach den *fundamentalen Strukturen der Welt*, während mit Strawson (1959: 9) im Vorgriff auf Pkt. 6.2.2 gilt: »revisionary metaphysics is concerned to produce a better structure«. Insofern kann man offensichtlich kaum sagen, *revisionäre Metaphysik* sei nicht möglich: Denn ist sie unmöglich, wären auch kategoriale *formale Ontologien* wie DOLCE, SUMO oder Cyc insgesamt unmöglich, die allesamt unter die *deskriptive Metaphysik* fallen. Wie oben erwähnt, irrt diese genauso in der Annahme, wonach *revisionäre Metaphysik* nicht sinnvoll sei: Denn ist diese nicht sinnvoll, wäre auch jede kategoriale formale Ontologie in Form der oben genannten Ansätze nicht sinnvoll, die deskriptive Metaphysik sind. Entsprechend sind letztlich auch alle Grundsatzpositionen, die Guarino et al. zur Grundlegung der DOLCE-TLO oder ihrer Methodik zur Ontologiekorrektur (OntoClean) beziehen, insofern *revisionäre* Positionen, als sie zum einen solche dezidiert metaphysischer Systeme sind, zum anderen natürlich mit den fundamentalen Strukturen der Diskurswelten zu tun haben: Damit ist etwa ihr Eintreten für eine 3D-Ontologie genauso gemeint wie jenes für eine bestimmte Art von Mereologie oder Topologie, bis hin zu spezifischen Typen von Modallogik. Solche Fragen sind allesamt von metaphysischer Relevanz, wobei divergente Metaphysiksysteme abweichende Positionen implizieren.

Indem nicht-empiristische Metaphysiken – jenseits logischer Inkonsistenz – infallibel sind, muss die Disziplin der Metaphysik mit Popper (1979) darauf hinauslaufen, die Vielzahl konkurrierender metaphysischer Systeme mit rationalen Argumenten entweder zu kritisieren oder zu unterstützen.²²⁰³ Denn anders lässt sich in dieser Disziplin kein Fortschritt erzielen. Es ist jedoch nicht ersichtlich, dass die Verfechter der analytischen Metaphysik an einer rigorosen Selektion metaphysischer Ansätze ein wirkliches Interesse haben. Das muss umso mehr überraschen, als gerade ihre Art von Metaphysik wenig bis gar nichts dazu beiträgt, der oben erwähnten fundamentalen Metaphysikkritik ihrer eigenen Vorläufer auch nur ansatzweise gerecht zu werden. *Analytische Metaphysik*, wie sie hier verstanden wird, verkörpert im Sinne von Maclaurin/Dyke (2012) eine *nicht-naturalistische* – oder in unserer Sache genauer: eine *nicht-empirische* – Metaphysikvariante.²²⁰⁴ In-

²²⁰³ Es erscheint vermessen, wie Simons (2009c) die Fallibilität metaphysischer Hypothesen an *Widerlegungen durch Gegenbeispiele* festmachen zu wollen und die metaphysische Methode hierauf zu beschränken. Vielmehr sollte sich die Methode der Metaphysik auf jene Überlegungen beziehen, die die *wissenschaftliche bzw. techno-wissenschaftliche Metaphysik* mit sich bringt, vgl. hierzu Pkt. 4.1.

²²⁰⁴ Mit Verweis auf Fn. 2038 sei darauf hingewiesen, dass Maclaurin/Dyke (2012) auch eine *naturalistische* Variante der *analytischen Metaphysik* abgrenzen. Solche Varianten fallen hier demgegenüber unter die *wissenschaftliche Metaphysik*, weil für sie nicht mehr in OLP- bzw. ILP-Tradition sprachliche bzw. lo-

dem sie das empiristische Moment außen vor lässt, immunisiert sich die analytische Metaphysik jedoch ganz wesentlich gegenüber jeder Kritikabilität; für Wittgenstein (1921), Einstein (1934), Carnap (1966), Quine (1981) und viele andere besteht indessen gerade im Fehlen dieses empiristischen Moments der Zentraleinwand gegenüber jeder Form von Metaphysik. Entsprechend muss auch diese jüngere Entwicklung der Analytischen Philosophie als überaus bedenklich erachtet werden.

Somit lässt sich (ii) darüber hinaus in genauso grundsätzlicher Weise anmerken, dass in dem angezeigten Verständnis der analytischen Metaphysik als *revisionärer Metaphysik* Poppers (1979) Kritikabilität dennoch greift: Denn jede Art von Metaphysik lässt sich, wie oben dargelegt, mindestens in rationaler Analyse einer Kritik unterziehen. Und dann steht die analytische Metaphysik nach Maßgabe von Strawsons (1959: 9) *revisionärer Metaphysik* in der Auseinandersetzung um die "bessere Struktur" in der Frage der fundamentalen Strukturen der Diskurswelten unmissverständlich in einem Konkurrenzverhältnis zu jenen Metaphysikansätzen, die als *wissenschaftliche Metaphysik* oder gar als *techno-wissenschaftliche Metaphysik* zu kategorisieren sind. Indem sich die Informatik im Zuge der deskriptiven Metaphysik ihres linguistischen OE-Ansatzpunkts auf die *analytische Metaphysik* bezieht, wird in Bezug auf wissenschaftliche und technologische Ontologien, in Bezug auf eine CPSS-adäquate metaphysische Fundierung der Top-level Ontologie genauso wie in Bezug auf realweltliche AI-Systeme im Vorgriff auf Pkt. 4.1 deutlich, dass jede Form analytischer Metaphysik jeder wissenschaftlichen Metaphysik in dem für jede Metaphysikkritik wichtigsten Aspekt des *Ratio-Empirismus* vollständig unterlegen ist. Das gilt insbesondere dann, wenn techno-wissenschaftliche Metaphysiken prinzipiell auch *mögliche Welten* adressieren. Damit ist die Modalmetaphysik keineswegs auf die Tradition der analytischen Metaphysik beschränkt, für die sie besonderen, jedoch im Zeichen ihres abschließlichen Rationalismus völlig einseitigen Stellenwert hat.

Insbesondere in Anbetracht der Positionen Wittgensteins, Carnaps und Quines, auf die sich jeder Verfechter linguistischer Ontologie maßgeblich beruft, muss es paradox erscheinen, wenn bei Manley (2009: 3 f.) von einer "neo-Quinean metaphysics" die Rede ist, zu der er insbesondere auch Van Inwagens (2009) analytische Metaphysik zählt.²²⁰⁵ Denn das wird weder der durchweg metaphysikkritischen Position Quines noch seinem strikten Empirismus resp. Naturalismus in irgendeiner Weise gerecht. Genauso bedenklich muss es erscheinen, wenn Manley (2009) diese "neo-Quinean metaphysics" als "*mainstream metaphysics*" versteht, indem die analytische Metaphysik grundsätzlich anders akzentuiert ist als die wissenschaftliche Metaphysik in ihrem strikten Ratio-Empirismus. Schließlich muss es drittens genauso fraglich erscheinen, zu dieser "neo-Quinean metaphysics" solch unterschiedliche Metaphysiken wie jene Van Inwagens (2009) einerseits und Siders (2009) an-

gico-mathematische Momente kennzeichnend sind, sondern in erster Linie jene *ratio-empiristischen*, die gerade für die *wissenschaftliche Metaphysik* konstituierend sind.

²²⁰⁵ Vgl. zur "*neo-Quinean metaphysics*" auch Thomasson (2015).

dererseits rechnen zu wollen.²²⁰⁶ Manley (2009) übersieht mit seiner "neo-Quinean metaphysics" offensichtlich vieles; vor allem aber den Umstand, dass sie im Zeichen einer CPSS-adäquaten formalen AI-Ontologie wie auch insgesamt nur eines bedeuten kann, nämlich den Weg von Quine zurück zu Whitehead. Denn allein auf Basis der wesentlich *empiristisch* verfassten *wissenschaftlichen Metaphysik* haben sich alle Überwindungsversuche der Metaphysik, also etwa jener Wittgensteins, Carnaps und schließlich auch insbesondere jener Quines, vollständig erledigt.

Die Ausführungen in diesem Pkt. 3.3.2 haben offenbart, dass die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* und mit ihr die *Smart Enterprise Integration* (SEI) allein auf dem *realistischen OE-Ansatzpunkt* aufbauen kann. Sie waren aus dem Grunde umfassend zu führen und zu begründen, weil die Informatik – insbesondere auf der Grundlage von Gruber (1993, 1995) – mit dem *linguistischen OE-Ansatzpunkt* das genaue Gegenteil favorisiert. Analoges gilt mit Blick auf die lange im Diskredit stehende Metaphysik, was allerdings im Allgemeinen auf Unkenntnis der Zusammenhänge um die *wissenschaftliche Metaphysik* bzw. auf einer Fehlinterpretation Kants (1781) beruht. – Indessen wurde festgestellt, dass eine vollumfängliche semantische Interoperabilität ein tatsächlich *universales Ontologieverständnis* voraussetzt, womit sich die eigentlich im Mittelpunkt stehende Kontroverse um die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* letztlich doch auf die Informatik insgesamt erstrecken muss. Somit bleibt in der an sich abgeschlossenen Diskussion der konkurrierenden OE-Ansatzpunkte noch eine letzte Bastion: das *Semantic Web* (SW), das für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* mit dem *Smart Web* nicht weniger als eine potentielle Schlüsseltechnologie markiert.²²⁰⁷ – Betrachtet man die hier relevanten Ontologieaspekte, wie sie sich etwa auch im *Semantic E-Commerce* oder in der *Semantic SEO* stellen, spricht auf den ersten Blick tatsächlich vieles für Gruber und den linguistischen OE-Ansatzpunkt. Im Grunde genommen könnte man – wiederum auf den ersten Blick – sagen, dass Gruber (1993, 1995) mit seiner Ontologiekonzeption das sich erst mit Berners-Lee et al. (2002) seit Anfang dieses Jahrhunderts herausbildende *SW-Ontologieverständnis* vorweggenommen hat.^{2208, 2209} Auch wenn sich Berners-Lee/Hendler/Lassila (2002) nur implizit auf Gru-

²²⁰⁶ Diese Unterschiede bestehen nicht nur darin, dass Van Inwagen (2001: 111 ff.) – im Widerspruch zu Quine – einen *Dreidimensionalismus* und somit eine *3D-Ontologie* vertritt, während es sich bei Sider (2001) – analog zu Quine – um einen ausgewiesenen Verfechter des *Vierdimensionalismus*, und damit um eine *4D-Ontologie* handelt, vgl. hierzu bereits Sider (1997). Indem für Quine (1960a) der *Vierdimensionalismus* vollkommen außer Frage steht und konstituierend ist, kann es offenbar jenseits der generellen Abneigung Quines gegenüber der Metaphysik nicht richtig sein, den Ansatz Van Inwagens als "*neo-Quinean metaphysics*" kategorisieren zu wollen. Es handelt sich also um einen doppelten Widerspruch.

²²⁰⁷ Vgl. Berners-Lee (1999) sowie Berners-Lee et al. (2002).

²²⁰⁸ Indem das Grubersche Ontologieverständnis ideell maßgeblich auf Genesereth/Nilsson (1987) abstellt, kann es selbstredend nicht auf das *Internet der Dinge* resp. darauf basierende CPS abgestellt haben. Das gilt genauso im Grunde für alle anderen bisherigen Ontologieverständnisse. Etwas anders stellt sich die Sachlage für solche Ansätze dar, die sich fundamental als *Systemontologien* verstehen. Das sind insbesondere die älteren Ansätze von Bunge (1977a, 1979a) und Whitehead (1929a). Dabei wird sich mit Pkt. 5.3 zeigen, dass das Bungesche Ontologiekonzept zwar systemisch ist und auch die *physisch-materiellen* CPS-Aspekte abdeckt, jedoch insgesamt CPSS-inadäquat ist. CPSS-adäquat ist nur das Whiteheadsche.

ber berufen,²²¹⁰ so hat dieser ihr Ontologieverständnis insofern maßgeblich beeinflusst, als man im Großen und Ganzen sagen kann, dass jenseits der TLO-basierten Ontologiekonzeptionen der allgemeine Konsens der Disziplin weitestgehend in dem besteht, was Gruber (1993, 1995) dargelegt hat. Das gilt zumal die Disziplin in dieser Sache bisher auf eine ins Detail gehende Reflexion ihrer Position im Allgemeinen verzichtet: die vereinzelt vorgebrachte Kritik an dieser Position kommt etwa mit Guarino oder B. Smith aus dem Lager jener TLO-basierten Ansätze, denen die breite Masse der Informatiker bisher eine eher abwartende bis skeptische Haltung entgegenbringt. Dabei kann diese durch Guarino oder B. Smith vorgebrachte Kritik allein schon deshalb nicht *Mainstream* werden, als es bisher auf breiter Basis den zu ihrem Verständnis notwendigen fachlichen Voraussetzungen ermangelt. Tatsächlich besteht in methodologischer, epistemologischer oder logizistischer Hinsicht oftmals die gleiche allgemeine Unkenntnis wie in Sachen der Metaphysik. Ohne diese Kenntnis und ohne ein tiefergehendes, systematisches Hinterfragen der Anforderungen einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption ist es nachvollziehbar, wenn Grubers Ontologiekonzeption für die meisten Fachvertreter problemlos wie hinreichend erscheint. Zudem ist sie simpel, was ihre Diffusion im Sinne positiver Netzwerkeffekte begünstigt. Allerdings nimmt das reale Geschehen keine Rücksicht auf solche Unzulänglichkeiten.

Der implizite Einfluss Grubers auf das SW-Ontologieverständnis ist auch deshalb nicht von der Hand zu weisen, als für beide folgende zehn elementare Aspekte gelten: (i) die Funktion von Ontologien besteht jenseits von Pkt. 3.2.1 bei Gruber allein, und bei Berners-Lee (1999) bzw. Berners-Lee et al. (2002) vor allem in *Kommunikationsprozessen*, die sich im SW-Fall noch dazu vor allem auf die *Kommunikation von Websites* beschränken – demgegenüber geht es bei Gruber (1995) nicht, und bei Berners-Lee et al. (2002) erst in längerfristiger Perspektive um Wissensrepräsentation, auch wenn diese im letzten Fall explizit hervorgehoben wird; (ii) in globalen Kontexten sollte sich die *ontologische Verpflichtung* im Sinne Grubers auf ein Minimum beschränken; (iii) Ontologie ist einfach das, was sich – (in OWL) – repräsentieren lässt; (iv) Ontologie ist als *Lightweight-Ontologie* richtig verstanden; (v) der Gedanke der *Referenzontologie* ist für das Ontologieverständnis nicht entscheidend, *Scientific Ontologies* resp. technologische Ontologien spielen keine besondere Rolle und Ontologie ist vielmehr primär *Anwendungsontologie*; (vi) Ontologie der Informatik ist AI-Ontologie bzw. SW-Ontologie, nicht aber philosophische Ontologie; (vii) sämtliche philosophischen, mithin metaphysischen Fragestellungen stellen sich nicht – an Stelle der Universalienfrage treten sprachliche Konzepte; (viii) *Top-level Ontologien* sind verzichtbar bzw. unerheblich; (ix) der *realistische OE-Ansatzpunkt* fällt zugunsten des *linguistischen OE-Ansatzpunkts*; (x) insgesamt sollte "Ontologie" im Zeichen eines pragmatischen Ontologieverständnisses wie im Sinne eines Kompetenzarguments in ihrer

²²⁰⁹ Während Berners-Lee (1999) bereits seine Vision des *Semantic Web* entwirft, und wiederholt auf den Aspekt der *Semantik* abstellt, ist hier von *Ontologie* noch keine explizite Rede; *implizit* allerdings schon. Das ist explizit erst bei Berners-Lee et al. (2002) der Fall, und dann gleichermaßen umfassend.

²²¹⁰ Das ist so zu verstehen, dass sich bei Hendler (2001) diese Referenz auf Gruber explizit findet.

Konzeption einfach sein, was für den Durchbruch von Berners-Lees (1999) SW-Vision tatsächlich entscheidend sein mag – "*Ontologie für Jedermann*" ist gewissermaßen die Vision Berners-Lees (1999) – und mit einigen Abstrichen auch Grubers (1993, 1995), indem die Idee des *Semantic Web* (Web 3.0) nicht zuletzt auf dem "Mitmachgedanken" des *Social Web* (Web 2.0) gründet.

Die SW-Ontologie ist dabei nicht nur mit Blick auf ein universales Ontologieverständnis von zentralem Belang, sondern auch insofern, als sie für IoX-Umgebungen gesetzt ist, die gerade auch für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wesentlich sind. Entsprechend ist die Situation nicht zuletzt insofern zu klären, als mit Verweis auf den folgenden Pkt. 3.4 gerade die *Top-level Ontologie* wie auch gewiss der damit zusammenhängende *realistisch-metaphysische OE-Ansatzpunkt* durch maßgebliche Protagonisten des *Semantic Web* als Web 3.0 abgelehnt wird. – Sind also alle vorstehenden Ausführungen in diesem Pkt. 3.3.2 mit Verweis auf die oben genannten zehn Aspekte zu revidieren oder zumindest zu relativieren, wenn in SW-Technologien auf Basis des derzeitigen Entwicklungsstands eine wesentliche Infrastruktur der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* besteht? – Ungeachtet der Tatsache, dass die zehn genannten Aspekte auf den ersten Blick entscheidend sind, ist diese Frage deutlich zu verneinen: Berners-Lee (1999) liegt in dieser speziellen SW-Sache genauso falsch wie Gruber (1993, 1995) insgesamt, und die Gründe dafür liegen nicht in der Vision des *Semantic Web* (Web 3.0), sondern vielmehr in der nächsten Web-Evolutionsstufe (Web 4.0) begründet. Das Web 4.0 ist das *IoX-basierte Smart Web*, und mit ihm relativieren sich nicht etwa die in diesem Pkt. 3.3.2 gemachten Ausführungen als vielmehr die zehn genannten Aspekte in ganz grundsätzlicher Weise:

Ad (i): Die Funktion von Ontologien beschränkt sich im *Smart Web* weder im Sinne Grubers auf Kommunikationsprozesse noch im Sinne Berners-Lee (1999) dabei speziell auf die *Kommunikation von Websites*. Vielmehr adressieren IP-Adressen gerade auch verschiedenste *Smart Objects*,²²¹¹ mithin physisch-funktionale Geräte, wie es anhand der *Smart Factory* besonders deutlich wird. Vor allem aber sind alle in Pkt. 3.2.1 aufgezeigten Funktionen von Ontologien im *Smart Web* von grundsätzlicher Bedeutung. Dazu zählt insbesondere auch die *Wissensrepräsentation* resp. die *Inferenz* als eigentlicher AI-Kern, wie es Berners-Lee et al. (2002) und später Hendler/Van Harmelen (2008) auch unterstreichen. Genauso gehören dazu auch alle Zwecke konzeptueller Modellierung, wie es insgesamt mit der *Smart Enterprise Integration* (SEI) deutlich wird, die sich auf Grundlage des *Smart Web* vollzieht. In seiner IoX-Basis muss eine tragfähige Ontologiekonzeption für das *Smart Web* dem Kriterium der CPSS-Adäquanz gerecht werden, indem sich das *Internet der Dinge* (IoT) auf CPS erstreckt und mit dem MAS-Aspekt die soziale Agentendimension eröffnet. Mit der in CPS- bzw. IoT-Kontexten notwendig werdenden Stabilität und Präzision bzgl. der Interoperabilität kritischer Prozesse sind der Idee der anhand von ermittelten Häufigkeitsmerkmalen (Klassen und Relationen) automatisch generierten *Con-*

²²¹¹ Vgl. hierzu etwa Vasseur/Dunkels (2010) sowie T.S. López et al. (2012).

sensus Ontologies in SW-Kontexten engste Grenzen gesetzt.²²¹² Als Lösung des Inkommensurabilitätsproblems ist diese Methode deswegen ungeeignet,²²¹³ weil häufige Merkmalsausprägungen keinesfalls vor Irrtum bzw. Inkonsistenzen schützen, was in komplexen *real-physischen* CPS- bzw. IoT-Kontexten inakzeptabel erscheinen muss.

Ad (ii): Mit der Intelligenz von *Smart Web Szenarien* nimmt auch das erforderliche Maß an ontologischer Verpflichtung zu. Diese ist allein schon in dem Sinne zwingend, als sich auch mit Blick auf das *Semantic Web* bzw. *Smart Web* die Frage nach der zentralen Kategorie stellt. Jede eingehendere Reflexion offenbart, dass es sich mit Blick auf die CPSS-Adäquanz der Ontologie auch in diesem Fall als unzuweckmäßig erweist, mit Gruber (1993, 1995) an *Objekten* ansetzen zu wollen, wie es im *SW-Ontologieverständnis* Berners-Lees et al. (2002) tatsächlich geschieht. Von *Ereignissen* ist hier genauso wenig die Rede wie bei Gruber,²²¹⁴ und darin besteht auch in diesem Fall ein grundlegender Defekt, der bis auf gängige SW-Technologien wie OWL resp. RDF durchreicht. Denn auch diese sind nicht *primär ereigniszentriert* konzipiert, wenngleich sie es eigentlich mit Blick auf eine dauerhafte IoX-Stabilität zwingend sein müssten. Tatsächlich sind die Möglichkeiten von OWL gerade dann unzureichend, wenn es um wesentliche *ereigniszentrierte Konzepte* geht,²²¹⁵ womit sie vor dem Hintergrund des in Pkt. 6.2.1 behandelten CEP- bzw. SCEP-Paradigmas zu modifizieren wäre.²²¹⁶ Nicht umsonst wird mit Jain (2007) die fundamentale Frage nach der Priorität von *Objekten oder Ereignissen* auch im dezidierten SW-Kontext gestellt – und mit seinem *EventWeb* zugunsten der *Ereignisse* klar beantwortet. Dabei steht diese Antwort noch nicht einmal im umfassenden CPS-Zusammenhang,²²¹⁷ für den das Votum noch deutlicher ausfallen müsste. Mit Blick auf die Defekte in Technologien wie OWL resp. RDF ist dabei besonders herauszustellen, dass bei Jain (2007) *Objekte in Ereignissen* *situieren* sind, was – wie erwähnt – auf einer Linie liegt mit ihrer *universalontologischen* Behandlung bei Whitehead (1919). Mit ihr zeigt sich, dass Jains (2007, 2008, 2013) *EventWeb-Konzept* insofern nicht CPSS-adäquat ist, als es lediglich an der Semantik, nicht aber an der Ontologie, geschweige denn an universaler Ontologie bzw. der Top-level Ontologie ansetzt. Diese Notwendigkeit erkennen erst Sheth/Perry (2008), indem sie Jains (2008) *EventWeb* in den Kontext der *Top-level Ontologie* setzen. Insgesamt wird somit auch mit Blick auf die SW-Ontologie deutlich, dass nicht etwa – wie landläufig angenommen – Gruber die generelle Richtung für das Ontologiekonzept der Informatik vorgeben kann, sondern dass die erforderliche Orientierung vielmehr allein auf Basis einer umfassenden TLO-Evaluierung zu erreichen ist, der eine meta-ontologische IoX-Spezifikation notwendig vorauslaufen hat. Denn erst dann geht es um die Frage der Kategorien, erst

²²¹² Vgl. etwa Stephens/Huhns (2001); vgl. hierzu im Einzelnen auch Fn. 2474.

²²¹³ Für analytische Zwecke – etwa zur Divergenz von Ontologien – ist diese Methode hingegen wesentlich.

²²¹⁴ Vgl. dazu Fn. 2240.

²²¹⁵ Grundsätzlich lassen sich *Ereignisse* resp. *Aktivitäten* natürlich einschließlich partizipierender Objekte in OWL repräsentieren, vgl. hierzu bspw. Batres et al. (2005).

²²¹⁶ Y. Liu et al. (2008) weisen auf die Notwendigkeit *hybrider Ansätze* hin, die etwa SWRL einbeziehen.

²²¹⁷ Jain (2007) bezieht sich zwar auf *Sensoren*, jedoch nicht auf die CPPS-, CPS- oder PEID-Problematik.

dann sind Fragen wie *Objekte vs. Ereignisse* zu beantworten, die sich auf Basis des linguistischen OE-Ansatzpunkts erst gar nicht stellen. Ein von den *Top-level Ontologien* losgelöstes *Ontology Engineering* ist entsprechend fehlleitend, insbesondere wenn sich dieses *Engineering* auf das komplexe Systemverständnis und seine fundamentalen Strukturen an sich bezieht, wie es in IoX-Umgebungen bzw. CPS-Kontexten unabdingbar ist. Mit anderen Worten ist kein sachgerechtes SW-Ontologiekonzept möglich, wenn diese Systeme nicht an sich in ihrer Vernetzung und sonstigen Eigenschaften als *komplexe Systeme* richtiggehend verstanden werden, wobei die *Theorie komplexer Systeme* mit Verweis auf Pkt. 4.3 entsprechend zu berücksichtigen ist. Dann wird deutlich, dass die Informatik die notwendige Orientierung gewiss nicht in Grubers (1993, 1995) oder anderen linguistischen Ontologiekonzepten finden kann, sondern sie mit Blick auf dieses Engineering komplexer Systeme vielmehr in Whiteheads (1929a) *Prozessontologie* zu suchen ist, indem diese eine universalontologische wie kategoriale Perspektive auf *komplexe Strukturen* eröffnet.

Ad (iii): Indem IoX-Umgebungen bei CPPS und anderen Szenarien *kritische Prozesse* komplexer Systeme zum Gegenstand haben, ist eine Repräsentation *beliebiger Sachverhalte* auszuschließen. CPS sind als autonome Systeme bei kritischen Prozessen nicht nur unter dem Gesichtspunkt der *Superintelligenz*, sondern im Sinne Polis (2010b) auch unter jenem der *Superkomplexität* zu entwickeln. In Abgrenzung *komplexer vs. einfacher Systeme* und *kritischer vs. unkritischer Prozesse* wird deutlich, dass die Problematik dabei weniger in *komplexen Systemen* als solchen besteht, indem diese auch für Berners-Lees (1999) SW-Vision charakteristisch sind. Entscheidend ist vielmehr, dass es sich um (potentiell) *kritische Prozesse* handelt, wie sie schon in der CPS-Autonomie begründet liegen.

Ad (iv): Im *Smart Web* tritt an Stelle der Lightweight-Ontologien, die für Berners-Lees (1999) SW-Idee ausreichend sein mögen, die *Heavyweight-Ontologie*.

Ad (v): Ontologie ist im *Smart Web* wesentlich *Referenzontologie*; je mehr sich solche Systeme in Richtung Superintelligenz entwickeln, desto mehr geht es um die variable transdisziplinäre Kombination verschiedenster Ontologietypen, insbesondere von *Scientific Ontologies* resp. technologischer Ontologien. Anwendungsontologien sind entsprechend nachrangig. In technischer Hinsicht ist zu betonen, dass in OWL nicht nur *pragmatische* Ontologien entwickelt werden, sondern dass auch die meisten *Scientific Ontologies* wie im Fall der OBO-Foundry auf OWL basieren,²²¹⁸ genauso wie *technologische* Ontologien etwa im Rahmen des Mappings von *CAEX-Modellen zu OWL-Ontologien* in der *Smart Factory*.²²¹⁹

Ad (vi): Ontologie im *Smart Web* ist *universale Ontologie*; AI-Ontologie, SW-Ontologie und philosophische Ontologie fallen in einer *integrierten Ontologiekonzeption* vor dem Hintergrund Cyber-physischer Systeme bzw. des CPST-Hyperspace notwendig zusammen.

²²¹⁸ Vgl. <http://www.obofoundry.org/>.

²²¹⁹ Vgl. hierzu etwa Abele/Legat et al. (2013).

Ad (vii): Indem kritische Prozesse komplexer Systeme für das *Smart Web* bestimmend sind, müssen relevante philosophische, insbesondere metaphysische, aber auch epistemologische, wissenschaftstheoretische wie logico-mathematische Fragestellungen in umfassender wie rigoroser Weise geklärt werden. Indem die Universalienfrage darüber bestimmt, was wie repräsentiert wird, ist sie zu beantworten. Sprachliche Konzepte, die etwa im Zeichen von Ansätzen wie *Structured English* stehen, sind von nachrangiger Bedeutung, indem sie auf eine ereignis- bzw. situationszentrische Grammatik zu stellen sind.

Ad (viii): Die *Top-level Ontologie* (TLO) ist für das *Smart Web* in vielfältigster Weise elementar; hierzu zählen meta-ontologische Aspekte, fundamentale Kategorien mitsamt des über diese realisierten Transdisziplinaritätsmoments, ihre allgemeine Referenzfunktion, ihre Funktion als OE-Ansatzpunkt, oder ihre CPS-Funktion im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*". Wie bereits in Pkt. 3.2.2 erwähnt, weisen für IoX-Umgebungen unabdingbare *Sensorontologien* wie die W3C SSN Ontology bereits eine TLO-Referenz auf, womit sich die kritische TLO-Sicht von Berners-Lee et al. offensichtlich relativiert. Das mit Verweis auf obigen Pkt. (ii) auch nicht zuletzt im Hinblick auf die *Ereigniskategorie*, die durch Sheth/Perry (2008) in den notwendigen TLO-Zusammenhang gestellt wird. Insgesamt ist das für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) entscheidende Postulat *vollumfänglicher semantischer Interoperabilität* ohne die *Top-level Ontologie* nicht einlösbar; sie ist für diese unabdingbar.

Ad (ix): Der linguistische OE-Ansatzpunkt fällt mit der CPSS-Adäquanz von SW-Ontologien in IoX-Umgebungen zugunsten des *realistisch-metaphysischen OE-Ansatzpunkts*.

Ad (x): "Ontologie" bildet aus dem Grunde kein einfaches Unterfangen, weil diese im *Smart Web* so zu konzipieren ist, dass eine Entwicklung in Richtung *Superintelligenz* nicht von vornherein verbaut wird. Das aber ist mit Verweis auf (vii) nur möglich, wenn sie im Zuge der *Top-level Ontologie* als OE-Ausgangspunkt umfassend fundiert wird. Dennoch muss es gelten, die *Top-level Ontologie* im letzten Schritt so zu vereinfachen, dass sie auch für Anwender mit geringen Vorkenntnissen nutzbar wird. Somit stellt sich das Gebot der Einfachheit insofern, als die *Top-level Ontologie* nur dann einen praktikablen OE-Ausgangspunkt stellen kann, wenn entsprechende TLO-fixierte Ontologie-Editoren selbst im Sinne von *Smart Web-Lösungen* entwickelt werden.

3.4 Ontologie im cyber-physischen IoX-Hyperspace: Gruber vs. IMKO OCF

»Unfortunately, the kind of terminological shifts concerning the word “ontology”, and practiced e.g. by Gruber and Guarino, have caused more confusion than clarification in the field of information systems and conceptual modelling. Accordingly, it should be better to use the word “ontology” in its traditional philosophical sense only, whereas our aim in the field of information systems and conceptual modelling is to reach a conceptual clarity.«

— Jari Palomäki (2009: 12)

Mit Geller et al. (2004: 377) ist die in Pkt. 1.1 beschriebene große Konfusion um den Ontologiebegriff und das Ontologiekonzept der Informatik nach wie vor ungelöst: »Contrary to the assumptions of some researchers, there is to date no universal agreement on how the landscape of ontologies looks«. Das wird ähnlich durch Musen (2004: 77) bekräftigt: »After more than a decade of discussion, the AI community still hasn’t reached complete consensus on what, precisely, an ontology is«. Indem sich daran auch fünfzig Jahre nach Mealys (1967) expliziter Übernahme des Ontologiedenkens aus der Philosophie nichts geändert hat, ist es an der Zeit, diese Konfusion insgesamt aufzulösen. Denn die gegenwärtige Situation konkurrierender Ontologiekonzepte ist für die Informatik inakzeptabel, indem sich bei dieser Ausgangslage keine vollumfängliche semantische Interoperabilität herstellen lässt, die jedoch mit Blick auf den natürlichen Integrationsanspruch der Disziplin wie zur *Smart Enterprise Integration* (SEI) im IoX-Hyperspace unverzichtbar ist. Sowohl der ambivalente Gebrauch des Ontologiebegriffs als auch die mangelnde Bereitschaft zur Aufgabe der oftmals höchst disparaten Ontologiepositionen erklärt sich neben den heterogenen Philosophie- bzw. Metaphysikpositionen trivialerweise in erster Linie aus den völlig unterschiedlichen Verwendungszwecken bzw. Einsatzkontexten von Ontologien, die sich nicht in ein enges Ontologiekorsett zwängen lassen. Wissen, formale Weltmodelle, Künstliche Intelligenz und agentenbasierte Automatisierung spielen heute in nahezu allen Bereichen des Lebens, in Wissenschaft, Technologie und Praxis eine elementare Rolle. Auf diesen Umstand, dass es ein ganzes Spektrum vielfältigster ontologischer Anwendungs- und Integrationsszenarien im Rahmen einer *allgemeingültigen* Lösung zu berücksichtigen gilt, stellt indessen keines der bisherigen Ontologiekonzepte und keiner der bisherigen Ontologiebegriffe in systematischer Hinsicht ab.

Ontologien beziehen sich in gleicher Weise auf die *physikalisch-materielle Realität* wie auf unterschiedlichste technologische resp. soziale *Artefakte* oder aber gar auf das *Fiktive*; sie sind *subjektiv* dem Individuum genauso zu eigen wie im Konsens *objektiviert* einzelnen Technologien, oder *objektiv* dem Wissen ganzer Wissenschaftsdisziplinen verpflichtet und zielen dabei auf die Repräsentation aller *universalen* wie auch aller *regionalen* Sachverhalte in der *aktualen* oder in *möglichen Welten*. Sie können im Zeichen der Referenzontologien auf systematische Wissensteilung zielen, oder aber im Zeichen von Anwendungsontologien allein den Sichtweisen und dem Konsens vergleichsweise kleiner Praxiskollaborationen bzw. techno-wissenschaftlicher Paradigmen entsprechen. Demgegenüber baut *Wissen als Produktions- und Wettbewerbsfaktor* darauf auf, dass solche Ontologien jen-

seits spezifischer System- oder Organisationsgrenzen gerade *nicht* geteilt werden. Dieser Wettbewerbsaspekt ist in der Ontologiekonzeption gewiss genauso zu berücksichtigen wie der an sich gesetzte Gedanke der öffentlichen Wissensteilung. Denn dieser Gedanke hat natürlich nicht nur mit Blick auf die Wahrmacher, sondern auch etwa auf die Frage der repräsentierbaren Objekte bzw. Ereignisse wesentlichen Einfluss. Es spielt im Hinblick auf die Repräsentationsfreiheitsgrade zweifellos eine wesentliche Rolle, ob es um *öffentliche* oder um *private* Ontologien geht, wobei auch dieser zentrale Unterschied in der Ontologiediskussion nicht richtig thematisiert wird. Beziehungsweise wird er jeweils völlig einseitig betont, etwa bei Smithens BFO-TLO streng im rein *öffentlich-wissenschaftlichen* Sinne, während die Grubersche Ontologie die damit zusammenhängenden Herausforderungen erst gar nicht aufgreift. Mit dem *Internet of Vehicles* (IoV) oder der *Smart City* sind genauso Ontologien im *öffentlich-technologischen* Sinne, schließlich etwa mit dem *Semantic Web* Ontologien auch Ontologien im *öffentlich-praktischen* Sinne von Relevanz.

Geht es demgegenüber um das Engineering *privater* Ontologien, ergeben sich ggf. in der Tat jene Spielräume, die Gruber (1993: 199) im Sinn hat, wenn bei ihm einfach all das existiert, was sich repräsentieren lässt. Bei epistemischen Ontologien, die nicht nur *privat*, sondern gar *rein subjektiv*, d.h. *vollständig subjekt- bzw. akteursbezogen* sind, es also im Fall natürlicher Agenten um so etwas wie *persönliche* Ontologien als erkenntnisbezogene Weltmodelle geht, ist schon allein mit Blick auf imaginative Momente Grubers (1993: 199) Position nicht falsch. Strenge methodologisch einzuhaltende Leitlinien wie bei *öffentlich-wissenschaftlichen* Ontologien sind hier ggf. völlig fehl am Platze. Aber eben nur in diesem Fall, in dem es etwa um Wyssuseks (2006b: 143) "*fairy ontology*" geht. Denn etwa bei ODIS-Ontologien, die zwar ebenso privat sind, jedoch z.B. in Konzernstrukturen im Kontext *realweltlicher AI-Systeme* global geteilt werden, sieht die Sache insbesondere bei wissenschaftsnahen Industrien schon ganz anders aus. Darüber hinaus ist festzustellen, dass der Wettbewerbsgedanke, wenn er auch gerade für praktische Ontologien konstituierend ist, ähnlich für konkurrierende techno-wissenschaftliche Paradigmen gelten kann. Für Wettbewerbsvorteile, die sich im Zuge der *Smart Factory* realisieren lassen, werden gerade *Ontologien* zur intelligenten Prozesssteuerung zentral.

Die ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarien sind also offenbar hochgradig divergent; die Ontologieinhalte genauso heterogen – und dennoch ist eine *allgemeingültige* Lösung zu finden. Denn ein allgemeines Ontologieverständnis, eine universale Ontologiedefinition wie eine integrierte Ontologiekonzeption ist aus dem Grunde unabdingbar, weil all die oben genannten Fälle, die auf den ersten Blick so grundverschieden sind, in komplexen IoX-Szenarien *de facto* zusammenspielen. Das gilt insbesondere für Systeme, die darauf angelegt sind, Innovation in Präzision umsetzen, wie es bei dem *Smart Enterprise* mitsamt der in dieses inkorporierten *Smart Factory* der Fall ist. Indem die bisherige Ontologiediskussion vollkommen an solchen *Smart Web Szenarien* vorbei geführt wird, diese jedoch die eigentlichen Anforderungen an die Ontologiekonzeption be-

dingen, ist ein anderes Vorgehen notwendig als jenes, das in den vergangenen fünf Jahrzehnten praktiziert worden ist: Will man vor dem Hintergrund der großen Konfusion in der Ontologiediskussion wirklichen Fortschritt erzielen, ist diese auf ein adäquates *Referenzszenario* zu beziehen. Dieses kann selbstredend nicht im einfachsten, sondern allein im komplexesten wie diffizilsten Fall semantischer Systemintegration bestehen. Die Direktive kann in dieser Sache nur lauten: vom Komplexen zum Einfachen, und nicht umgekehrt. Denn die komplexen Kontexte, an denen sich die Ontologiekonzeption der Informatik zu bewähren hat, lassen sich hier keineswegs aus dem Einfachen erschließen.

In Reflexion der Frage, welches ontologische Anwendungs- und Integrationsszenario über die gesamte Disziplin gesehen tatsächlich den komplexesten wie diffizilsten Fall semantischer Systemintegration darstellt, gelangt man unweigerlich zur *Smart Enterprise Integration* (SEI), wenn diese im U-PLM-Sinne mit der Produktionsphase die *Smart Factory* notwendig inkludiert. Entsprechend bilden komplexe U-PLM-Systeme das sachgerechte Referenzszenario, womit die TLO-zentrische *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in ihrer generischen Veranlagung für die gesamte Ontologiediskussion der Informatik zentrale Stellung besitzt. Tatsächlich besteht mit Pkt. 1.5 ff. darin das einzige Referenzszenario, das alle Ontologieaspekte effektiv in integrierter Weise abdeckt, etwa den gleichzeitigen Innovations- wie Präzisionsgedanken, die CPSS- resp. IoX-Thematik, mit wissenschaftsnahen Industrien wie der Luft- und Raumfahrt oder der Biotechnologie *Scientific Ontologies* genauso wie technologische oder praktische Ontologien. Dieses Referenzszenario deckt auch alle weiteren der diversen zu berücksichtigenden Gegensätze ab, etwa jenen zwischen öffentlichen und privaten Ontologien, jenen zwischen subjektivem und objektivem Wissen bis hin etwa zu jenem zwischen aktuellen und möglichen Welten. Das gilt genauso in der Hinsicht, dass sämtliche der in Pkt. 3.3.1 abgegrenzten Ontologiearten und -typen hier *gleichzeitig* von Relevanz sind, und damit nicht nur theoretisch, sondern auch in praxi faktisch aufeinander zu beziehen sind, wie es bislang kaum thematisiert wird. Das zeigt sich indessen auch im Rahmen der *Smart Enterprise Integration* (SEI) selbst, wenn die Bemühungen noch ganz am Anfang stehen, tatsächlich eine systematische TLO-Referenz von EO-Ansätzen als Kernontologien zu bewerkstelligen, wie es Heavyweight-Ontologien implizieren. Im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist demgegenüber die TLO-Debatte zwingend parallel mit der EO-Debatte zu führen. Denn dies ist mit Blick auf die Konvergenz von BPM, BRM, WfM, SCEP usw., die für die verschiedensten Umsetzungsfragen im *SEI-Vollzug* elementar ist, gar nicht anders möglich.

Mit dem für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) entscheidenden Postulat *vollumfänglicher semantischer Interoperabilität* ist nicht nur die *Top-level Ontologie* an sich, sondern damit zusammenhängend ein *allgemeines Ontologieverständnis* inklusive einer *universalen Ontologiedefinition* unabdingbar: Besteht – wie eingangs von Pkt. 1.1 betont – in diesem komplexesten wie diffizilsten Fall semantischer Systemintegration keine Klarheit darin, was "Ontologie" überhaupt ist, lässt sich eine solche Systemintegration erst gar

nicht in sachgerechter Weise weiter verfolgen. Eine weitreichende Ontologiesynthese, die die oben genannten Aspekte mit einbezieht, wird also unumgänglich, weil eine umfassende semantische Interoperabilität ansonsten in ganz grundsätzlicher Weise scheitert. Wenn eine *allgemeingültige* Lösung in der Ontologiefrage zwingend zu realisieren ist, sollte nicht der Fehler begangen werden, an etwaigen linguistischen Gemeinsamkeiten anzusetzen; vielmehr gilt es genau umgekehrt, die jeweiligen Unterschiede zu identifizieren und die Lösung an ihnen zu orientieren. Denn eine integrierte Ontologiekonzeption hat nur dann Aussicht auf Erfolg, wenn diesen Unterschieden hinreichend Rechnung getragen wird; und es sind auch genau diese, die auf den gemeinsamen Nenner *universaler Ontologie* zu bringen sind. – Damit ist im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" an den *Weltmodellen* anzusetzen, auf die sich Ontologien immer beziehen. Denn in ihnen besteht das eigentlich *heterogene Moment*, indem es sich um ganz verschiedene Welten handelt, die Ontologien zugrundeliegen, wie es auch Studer et al. (1998: 184) betonen:

»Artificial Intelligence (AI) deals with reasoning about models of the world. Therefore, it is not strange that AI researchers adopted the term 'ontology' to describe what can be (computationally) represented of the world in a program«.

Entsprechend hat die Ontologiedefinition *universal* auf *TLO-referenzierende formale Weltmodelle* abzustellen. Dieser Gedanke wird nachfolgend weiterentwickelt, um ihn dann in Pkt. 3.5 in Form *disparater Welttypen* im Einzelnen zu spezifizieren. Darin liegt der Schlüssel zu einem *universalen Ontologieverständnis*, weil sich die Anforderungen vielfältigster ontologischer Anwendungs- und Integrationsszenarien nicht in ein enges Ontologiekorsett zwängen lassen. Schon gar nicht in eines, das dabei – wie bei Gruber (2004: 5) – auf einen einzigen Wahrmacher (Truthmaker) setzt, der zudem für seine epistemische Ontologie im Kontext von *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) allein partiell, und dann auch nur nachgelagert Sinn macht. Genauso wenig wie seine Ontologiekonzeption kann auch sein Wahrmacher insofern nicht genereller Natur sein, als diese Ontologiekonzeption im Zeichen der *subjektiven Ontologie*, die solche *Belief Systems* nach erstem Erfassen auszeichnet, im Zuge formallogischer Verarbeitung intelligenter autonomer Automaten zunächst einmal einen *subjektiven*, nicht einen intersubjektiven Wahrmacher erfordern. Für Grubers *Epistemological Ontology* (E-Ontology) ist sein Wahrmacher also genauso ungeeignet wie gleichermaßen für Smithens realweltliche *Scientific Ontologies* (R-Ontology),²²²⁰ worauf wir in Pkt. 6.2.8 mit einem Spektrum von Wahrmachern zurückkommen. Insofern überrascht es nicht, dass alle bisherigen Ontologieansätze zwar immer den Allgemeingültigkeitsanspruch stellen, diesen aber regelmäßig nicht erfüllen, weil sie letztlich allesamt in der einen oder andern Hinsicht zu eng fokussiert sind. Wie oben erwähnt, kommt man bei genauerer Analyse zum Ergebnis, dass etwa das Grubersche Ontologiekonzept für Zwecke wissenschaftlicher Ontologie genauso wenig qualifiziert ist, wie etwa jenes Smithens für Zwecke technologischer Ontologie. Da die Informatik im Allgemeinen und Ontologien im Speziellen mit Blick auf eine *vollumfängliche IS-Interoperabilität und*

²²²⁰ Diese wesentliche Unterscheidung von *E-Ontology* und *R-Ontology* findet sich bei B. Smith (1998a).

KS-Transdisziplinarität letztlich immer der Integration verpflichtet sind, kann eine wegweisende Ontologiekonzeption nur in einer *integrierenden Ontologiekonzeption* bestehen, die Feyerabends (1975) "*anything goes*" tatsächlich zu entsprechen vermag.

Diesem "*anything goes*" sind jedoch insofern klare Grenzen gesetzt, als wissenschaftliche, technologische und praktische Ontologien eines Integrators bedürfen, indem sie in vielen Fällen umfassend zusammenspielen. Das wird bei U-PLM-zentrischen Innovationsprozessen besonders deutlich, gilt jedoch prinzipiell immer. Dieser Integrator kann allein in einem gemeinsamen TLO-Fundament als oberster Ontologie und universaler Referenzbasis bestehen. Die Top-level Ontologie ist auch insofern verpflichtend, weil Ontologie als *Heavyweight-Ontologie* zu verstehen ist, die notwendig eine TLO-Referenz impliziert, während eine *vollumfängliche IS-Interoperabilität resp. KS-Transdisziplinarität* nur auf ihrer Basis realisierbar ist. Entsprechend nehmen auch Stock/Stock (2008: 256) richtigerweise eine Einschränkung des Ontologiebegriffs auf *Heavyweight-Ontologien* vor, die zwingend auf die Top-level Ontologie und entsprechende Top-level Kategorien referenziert. Mit der Notwendigkeit sicheren Schließens bei kritischen Prozessen steht es außer Frage, dass ein CPSS-adäquates AI-Ontologieverständnis in IoX-Umgebungen allein auf die *Heavyweight-Ontologie*, ergo auf die *Top-level Ontologie* als Referenzebene hinauslaufen kann. Schon damit kommt die Informatik in keiner Weise um die *Top-level Ontologie* als ihrer obersten Ontologieebene umhin, wenn sie auf expressiven Ontologien aufbauen muss. Da sicheres Schließen in komplexen Situationen resp. Kontexten im Sinne von Prozessintelligenz regelmäßig einen interaktiven Bezug der AI-Ontologie zur Außenwelt impliziert, ist sie im Grundsatz gleichsam *philosophisch-realweltlich* zu konzipieren. Tatsächlich muss die Informatik in ihrer AI-Fundierung Abschied nehmen von ihren "*toy problems*" und sich "*nontoy worlds*" zuwenden,²²²¹ wie es schon Hayes (1979) postuliert. Mit Brooks (1991b: 139) ist damit der Anspruch ein ganz anderer: »we should build complete intelligent systems that we let loose in the real world with real sensing and real action. Anything less provides a candidate with which we can delude ourselves«. ²²²² Entsprechend fordern auch Agre/Horswill (1997), dass sich die AI-Agententheorie an "*real lifeworlds*" zu orientieren hat. Somit ist insgesamt offenbar nicht weniger einzufordern als "*a new type of computer*", und dieser besteht mit D. Moore (1992) in "*Reality Machines*".

Daraus folgt zugleich, dass sich der AI-Ontologiebegriff offensichtlich nicht auf eine *epistemische Ontologie* reduzieren lässt, wie es im Allgemeinen geschieht. Vielmehr geht es dann vor allem auch um die klassische metaphysische Ontologie, wie sie insbesondere im CM-Kontext an sich immer gesetzt ist. Insofern werden gerade im Rahmen der *Smart Enterprise Integration* die grundsätzlichen Defekte der bisherigen AI-Ontologiekonzeption in ihrer ganzen Breite greifbar. Da ein dem eigentlichen Zweck entsprechender mächtiger TLO-Integrator heute nicht existiert und alle bisherigen inkommensurablen TLO-Ansätze

²²²¹ Vgl. zum Kontext dieser "*toy problems*" etwa H.A. Simon (1987c).

²²²² Vgl. hierzu auch Brooks (1992: 5).

an dieser elementaren Integrationsaufgabe scheitern, ist die Ontologie der Informatik im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in Richtung einer *CYPO-konformen Top-level Ontologie* weiterzuentwickeln. Diese These wird im Folgenden im Einzelnen anhand sechs Schritten dargelegt: In ersten Schritt werden zehn elementare Anforderungen definiert, die eine integrierte Ontologiekonzeption erfüllen muss, um als IoX- resp. CPSS-adäquat verstanden werden zu können. Dies lässt sich am *U-PLM-Referenzszenario* testen: Bewährt sich eine Ontologiekonzeption nicht am U-PLM-Referenzszenario als komplexesten wie diffizilsten Fall semantischer Systemintegration, ist sie nicht allgemeingültig und in diesem Sinne defekt. Insofern stellen diese zehn elementaren Anforderungen die generelle Leitlinie zur Entwicklung der im folgenden Pkt. 3.5 dargelegten integrierten CYPO-Ontologiekonzeption dar, mit der die ontologische Architektur jeden CYPO-konformen TLO-Ansatzes im CPSS/SEA- bzw. MAS/CAS-Sinne vorgegeben wird. Sie werden in einem zweiten Schritt durch eine fünfzehn elementare Punkte umfassende Generalkritik der zwar überaus populären, in Wirklichkeit jedoch defekten linguistischen Ontologiekonzeption Grubers ergänzt. In einem dritten Schritt werden ihre maßgeblichen Unterschiede zur integrierten, CPSS-adäquaten CYPO-Ontologiedefinition herausgearbeitet. In einem vierten Schritt werden mit Chandrasekaran et al. (1999) neun allgemein akzeptierte grundlegende Ontologieaspekte diskutiert, die um einen zehnten zu ergänzen sind, der letztlich aus ihren neun Punkten resultiert. Im fünften Schritt wird nochmals das generelle Erfordernis der *Top-level Ontologie* erörtert, indem es sowohl durch Gruber als auch durch die Protagonisten des *Semantic Web* auf Basis der deskriptiven Metaphysik samt ihrer alltagssprachlichen Ontologien nicht gesehen wird. Schließlich wird im letzten sechsten Schritt das IMKO *OCF* als metaphysische Alternative zum Gruberschen linguistischen Ontologieverständnis herausgearbeitet. Auf diesem metaphysischen Ontologieverständnis, wie es der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik entspricht, basiert die im folgenden Pkt. 3.5 umrissene CYPO-Ontologiekonzeption, die sich damit korrespondierend wesentlich durch die *Drei-Welten-Lehre* Poppers geprägt zeigt. Die durch Leibniz, Whitehead und Popper entwickelten Grundlagen werden mit CYPO *FOX* in eine moderne Ontologiearchitektur gebracht, die sich als Ontologie im IoX-Hyperspace universal für sämtliche Ontologiezwecke der Informatik voraussetzen lässt. Allein auf diese Weise, in der an den digitalmetaphysischen Fundamenten der Informatik angesetzt wird, ist das Inkommensurabilitätsproblem als metaphysisches Problem zu überwinden und die gesamte Ontologieproblematik der Disziplin zu lösen. Kommen wir vor diesem Hintergrund im ersten Schritt zunächst auf die zehn elementaren Anforderungen zu sprechen, die jede sachgerechte Ontologiekonzeption in ihrer IoX-, CPSS- resp. U-PLM-Adäquanz zu erfüllen hat:

- 1) Nicht der aus dem Kontext primitiver *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) bzw. naiver *Common Sense-Anwendungen* hervorgegangene linguistische AI-Ontologiebegriff kann für die Zwecke der Informatik bestimmend sein, sondern vielmehr ein grundsätzlich realistischer bzw. philosophischer,

der im Zeichen der Konvergenz die CM- und AI-Ontologie vollumfänglich zu integrieren versteht. Dabei kommen allerdings jene realistischen Ontologiebegriffe der bisherigen TLO-Ansätze nicht in Frage. Indessen impliziert das linguistische Ontologiekonzept im Zuge des *Ontology Engineering* ein vollständig anderes methodischen Vorgehen als das realistische Ontologiekonzept. Für CM-Ontologien steht dies mit ihrer Realitätsbezogenheit vollends außer Frage; für AI-Ontologien mit Blick auf die Transdisziplinarität wie etwa mit Blick auf die Prozessintelligenz. Ein nicht zwingend auf die Realität referenzierendes Ontologieverständnis ist deshalb fragwürdig, weil sich AI-basierte Wissenssysteme regelmäßig mindestens im Sinne bedingter Modalitäten auf die Realität beziehen. Im Allgemeinen beziehen sie sich aber *unmittelbar* auf die Realität. – Insgesamt gilt, dass die *Top-level Ontologie* sowohl für die CM- als auch für die AI-Sphäre unentbehrlich ist, dass die Integration der CM- und AI-Ontologiekonzepte erst durch die Referenz auf eine *einheitlich vorausgesetzte Top-level Ontologie* erreichbar ist und damit schließlich, dass sich das zentrale *TLO-Inkommensurabilitätsproblem* gleichzeitig umfassend im CM- wie im AI-Bereich stellt.

- 2) Mit der Bedeutung subjektiver Ontologien im Innovations- resp. NPD-Prozess zeigt sich indessen, dass nicht nur die bisherige linguistische Ontologiekonzeption defekt ist, sondern auch die bisherigen realistischen Ansätze. Das schon aus dem Grunde, als sie nicht über eine systematische Integration epistemischer Ontologien verfügen. Sie besitzen also gerade nicht jene subjektivistische Ontologieebene, die für die AI-Prozessintelligenz mit Verweis auf Multiagentensysteme zwingend einzufordern ist. Ansonsten erweisen sich solche realistischen Ontologiekonzeptionen ebenfalls als nicht CPSS-adäquat. Vor diesem Hintergrund zeigt sich, dass *beide* tradierten Ontologiekonzepte, die die Ontologiediskussion bis heute bestimmen, aufgrund ihrer jeweils fehlenden Allgemeingültigkeit rigoros zu ersetzen sind durch eine integrierte und durchgängige avantgardistische Ontologiekonzeption. Auf Basis von *CYPO FOX*, die im *IMKO OCF* zugleich *metaphysische Ontologie* wie *Wissensontologie* ist, lässt sich nicht nur der elementare Unterschied qualifiziert darstellen, der zwischen *Wissenssystemen* (knowledge systems) und *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) besteht, sondern es lassen sich im Sinne Poppers auch beide Modi ontologisch nutzen. Dabei sind Wissenssysteme gemäß des zentralen Wissensaspekts weiter auffächern, indem sich zwischen wissenschaftlichem, technologischem und Alltagswissen bzw. praktischer Heuristik differenzieren lässt.
- 3) Realistische Ontologien (nicht linguistische) sind in Innovationsprozessen komplexer Güter wie etwa in der Luft- und Raumfahrtindustrie, Biotechno-

logie, petrochemischen Prozessindustrie oder Medizintechnik für die real- bzw. erfahrungswissenschaftliche Ontologie (*Scientific Ontology*) maßgebend. Genauso sind sie für die technologische Ontologie im Zeichen von CPS-Prozessintelligenz erforderlich. Dies gilt jeweils insgesamt insbesondere vor dem Hintergrund des *Transdisziplinaritätsmoments*, das eine *universale Ontologie* erfordert, die linguistische Ontologiekonzeptionen mit der in ihnen angelegten Inkommensurabilität jedoch nicht erfüllen können. Transdisziplinarität lässt sich allein über die universale *realistische Top-level Ontologie* realisieren. Damit steht zugleich außer Frage, dass sich eine integrierte Ontologiekonzeption nicht an beliebigen linguistischen Konzepten und entsprechenden linguistischen Konzeptualisierungen orientieren kann, sondern vom Grundsatz her im Wechselspiel der realitätsbezogenen konzeptuellen Modellierung und primär realitätsbezogenen Universalien im Sinne philosophischer Ontologie zu entwickeln ist. Auch müssen wissenschaftliche wie technologische Ontologien im Kontext sicherheitskritischer Prozesse von CPS bzw. CPPS in global verteilten Produktionsumgebungen Kontrafaktisches gerade systematisch vermeiden, was sich auf Basis eines linguistischen Ontologiekonzepts resp. damit regelmäßig verbundenen Lightweight-Ontologien keineswegs garantieren lässt. Im Gegenteil: aus den Fakten der Sprache lässt sich keineswegs auf Realfaktisches schließen, was mit Dyke (2007) insgesamt im Sinne des metaphysischen Fehlschlusses linguistischer Ontologie zu verstehen ist. Die globale, oftmals organisationsübergreifende Kollaboration im *Cross Enterprise Engineering* (CEE) macht es bei der Entwicklung komplexer Güter erforderlich, dass Ontologien nicht im Widerspruch zu präzisiertem wissenschaftlichen Wissen stehen, weil sonst die Wahrscheinlichkeit ihrer Dysfunktionalität exponentiell steigt. Denn im Engineering wird allgemein von der Wahrheit wie allgemeinen Verbindlichkeit grundlegender Theoreme, wie etwa den Hauptsätzen der Thermodynamik, ausgegangen. Daraus folgt, dass Ontologien im Engineering zwingend im Zeichen *präzisen* wissenschaftlichen Wissens entwickelt werden sollten. Linguistische Ontologien, die letztlich auf dem Konsens des jeweiligen Sprachparadigmas beruhen, laufen damit allgemein Gefahr, im Widerspruch zu solch präzisen Ontologien zu stehen. Folgerichtig sind sie im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* als OE-Ausgangspunkt abzulehnen.

- 4) Moderne IKS, CPS sowie CPPS der *Smart Factory* sind einschließlich autonomer Robotik als *Smart Embedded Systems* regelmäßig in komplexe reale Situations- und Entscheidungskontexte eingebunden, die allein in engster Systeminteraktion mit der realen Umwelt beherrschbar sind. Als Prozesssysteme stehen sie im Zeichen von konzeptueller Modellierung und Enter-

prise Architecture; bei CPS demgegenüber etwa im Zeichen situativer oder kontextueller SAW- oder CAW-Ontologien sowie insgesamt von Sensorontologien. Solche *Smart Embedded Systems* sind selbst interaktiver Bestandteil ihres Diskursuniversums. Insofern greift offenbar die Kantische Kopernikanische Wende zu kurz, weil der Agent als Subjekt zwar eine konstruktive Erkenntnisleistung erbringt, dabei aber nicht selbst als systematischer Bestandteil der evolutionär voranschreitenden Diskurswelt gedacht wird, wie es für CPS-Kontexte zwingend ist. Insofern ist eine zweite Kopernikanische Wende zu vollziehen, mit der auch dieser zweite, elementare Schritt gelingt.

- 5) Die Informatik ist gut beraten, sich in der Ontologiefolge tatsächlich an Wissenssystemen und damit an der *Natur des Wissens*, nicht an primitiven Überzeugungssystemen mit ihren bloßen "*beliefs*" zu orientieren: Die AI-Ontologie sollte sich vielmehr mit agentenbasierten AI-Systemen sowie AI-basierten IKS und CPS systematisch am postklassischen CM- und AI-Verständnis ausrichten. Auch wenn Multiagentensysteme (MAS) nach wie vor epistemische Ontologien erforderlich machen, sind diese doch im Sinne höherer Informationsfusion (HLIF) bei modernen IKS und CPS in ein insgesamtes Ontologiekonzept einzubetten, das gleichzeitig allen Ontologiearten, allen Ontologietypen wie auch allen Wissenswelten gerecht wird.
- 6) Engineering- resp. Innovationsprozesse benötigen ebenfalls nicht nur objektive, sondern gleichzeitig auch subjektive Ontologien; sie erfordern nicht nur den Bezug auf die aktuelle Welt, sondern im Sinne von Imagination oder echter Invention auch *mögliche Welten*. Auch jenseits aller konkreten Wissensrepräsentation handelt es sich bereits beim Prozess des *Ontology Engineering* an sich zunächst immer um *subjektive Ontologieentwürfe*, die sich zudem auf Entitäten beziehen können, die real (noch) gar nicht existieren. Innovation bedeutet *per definitionem* Neuartiges, also Dinge resp. Objekte, die es noch gar nicht gibt. Letztlich können rein realistische Ontologieansätze, wie sie etwa in Form der BFO- oder der BWW-TLO bestehen, solche NPD-Ontologien nicht subsumieren, ohne ihre grundsätzlichen Positionen aufzugeben. Analoge Probleme bestehen hinsichtlich der in Pkt. 4.6 behandelten Artefakte. Das gilt insbesondere für solche Artefakte, die im Zeichen spezifischer technologischer Ontologien stehen, deren Wahrmacher zuweilen lediglich auf Konsens beruhen. Realistische Ontologien haben ihre Stärke in bestimmten Feldern, namentlich in jenen, bei denen es faktisch um *reale* Weltmodelle geht. Das ist etwa im Zuge der Wissensrepräsentation *wissenschaftlichen* Wissens im Sinne von Referenzontologien der Fall, auf die insbesondere die *Scientific Ontologies* Smithens abstellen, oder bei der CM-Ontologie, die den primären Fokus der BWW-TLO bildet. Für den Innova-

tionsprozess selbst wie für technologische Ontologien, die sich zumeist ebenso auf reale Weltmodelle beziehen, sind sie indessen wenig bis gar nicht nutzbar, indem ihr Engineering über *mögliche Welten* führt.

- 7) Die Ontologiekonzeption der Informatik muss offensichtlich vielfältige Gegensatzpaare, etwa wissenschaftlich vs. technologisch, Naturalismus vs. Kulturalismus, objektiv vs. subjektiv, Präzision vs. Innovation, aktuelle vs. mögliche Welten, reale vs. definitorische Existenz, Seins-Kategorien vs. Denk-Kategorien, ontische vs. epistemische Welten usf. in sich vereinigen können. Eine vollumfängliche semantische Interoperabilität läuft letztlich auf eine solche faktische Vereinigung hinaus. Realisierbar ist diese nur, indem alles auf eine einheitlich vorausgesetzte *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene referenziert. Damit aber muss ein solcher TLO-Integrator entsprechend mächtig sein. Er kann dann darüber hinaus nicht mehr rein auf (statische) Objekte fixiert sein, sondern muss im Sinne von Prozessintelligenz gerade auch *prozessuale Ereignisse* wie *Prozesse* berücksichtigen können. Indem das moderne AI-Verständnis auf Multiagentensystemen (MAS) aufbaut und es sich dabei um komplexe adaptive Systeme (CAS) handelt, muss die Ontologiekonzeption der Informatik mit Verweis auf Pkt. 4.3 insbesondere auch dem Komplexitätsgesichtspunkt gerecht werden. Vor allem muss sie auf einem *einheitlichen* Ontologieverständnis aufbauen, in dem die Grundvoraussetzung für umfassende semantische Interoperabilität besteht. Dieses muss im Sinne *intelligenter Materie* sowohl den Cartesischen Dualismus als auch damit zusammenhängend die Subjekt-Objekt-Dichotomie überwinden können, die die heutigen CM- und AI-Konzeptionen noch prägen. Damit ist der Anforderungskatalog, den eine integrierte Ontologiekonzeption der Informatik zu erfüllen hat, grob umrissen. Es ist zu unterstreichen, dass es sich dabei nicht etwa um optionale Aspekte handelt, sondern in komplexen ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarien wie jenem der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* sämtliche Anforderungen tatsächlich gleichzeitig zu berücksichtigen sind, weil sie interdependent sind.
- 8) Mit Blick auf den philosophisch-realistischen Ontologiebegriff, die notwendige Klärung zahlreicher meta-ontologischer Aspekte sowie die Zugrundelegung eines geschlossenen transdisziplinären Kategoriensystems im Sinne universaler Ontologie kommt die Informatik nicht um eine wissenschaftlich-metaphysische Fundierung umhin. Diese Fundierung kann sie allein über ihre *Top-level Ontologie* als oberste Ontologieebene erfahren, in der zugleich der ontologische Schnittpunkt von Philosophie und Informatik besteht.
- 9) Es liegt auf der Hand, dass die Integrationsleistung in einer solchen integrierten Ontologiekonzeption allein durch eine omnipotente *Top-level On-*

tologie erbracht werden kann, die allen vorgenannten Aspekten auch tatsächlich gerecht wird. Die *ontologische Verpflichtung* (ontological commitment) hat sich zunächst einmal auf die grundsätzlichen Fragen und fundamentalen Kategorien und damit auf die *Top-level Ontologie* zu beziehen, und dann erst auf nachgeordnete Ontologien wie Domänenontologien usw. Es ist damit die *Top-level Ontologie*, die den ontologischen Kern der Informatik ausmacht. Alle bisherigen TLO-Ansätze scheitern an dieser Aufgabe; sie alle sind jeweils einseitig auf bestimmte Aspekte fixiert, nicht aber auf Feysers (1975) "*anything goes*", das für komplexe ontologische Anwendungs- und Integrationsszenarien wie der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Zeichen einer integrierten Ontologiekonzeption unerlässlich ist. Insofern läuft die Zukunft der Ontologie der Informatik darauf hinaus, mit einem CYPO-konformen TLO-Neuentwurf eine gänzlich neue ontologische Perspektive zu eröffnen, die zugleich einzig den eigenen Grundlagen der Disziplin entspricht.

- 10) Es ist insofern von einer doppelten Natur des Ontologiebegriffs auszugehen, als sich dieser einmal, nämlich im CM-Sinne, auf ein *metaphysisch erschließbares, zumeist reales Diskursuniversum* (UoD) bezieht, zum anderen, nämlich im AI-Sinne, auf einen *Wissensbereich* (knowledge domain). Allerdings wird zumeist übersehen, dass es sich dabei im wissenschaftlichen, technologischen wie im praktischen Kontext jeweils um zwei Seiten derselben Medaille handelt: jeder Wissensbereich bezieht sich immer auf ein Diskursuniversum, das im Sinne von Pkt. 3.5 weltentypisch einzuordnen ist. Insofern müssen epistemologische Denk-Kategorien auch immer mit metaphysischen Seins-Kategorien korrespondieren. Dafür sorgt in elementarer Weise die *Top-level Ontologie*; in ihr ist der universale Mittler zwischen Diskurswelten und Wissenswelten zu sehen, womit sie gleichzeitig den Kern der im sechsten Schritt erörterten *integrierten metaphysischen Wissensontologie* (IMKO OCF) markiert. Begriffe beziehen sich immer auf Entitäten resp. Objekte. Infolgedessen geht es gleichzeitig um *metaphysische Ontologie* und *Wissensontologie* (Ontologie des Wissens), wobei Systeme wie CPS oder IKS zeigen, dass die Informatik zwingend dieser Doppelnatur des Ontologiebegriffs mit einer *integrierten Ontologiekonzeption* gerecht zu werden hat.

Kommen wir vor dem Hintergrund dieser zehn elementaren Anforderungen in einem zweiten Schritt zu einer Generalkritik der heute gängigen Gruberschen linguistischen AI-Ontologiekonzeption. Tatsächlich erscheint das Grubersche Ontologieverständnis populär in einer Weise, dass man zuweilen selbst in Forschungsbeiträgen meint, dass das Ontologiekonzept der Informatik insgesamt von Gruber (1993) stamme bzw. durch Gruber in die Informatik eingeführt wurde.²²²³ Allerdings negiert man damit *de facto* nicht weniger als

²²²³ So etwa bei Kornyschova/Deneckère (2010: 106) oder bei Partridge/Mitchell/de Cesare (2013: 35).

zweieinhalb Jahrzehnte – und somit in etwa die zeitliche Hälfte – der Ontologieentwicklung der Disziplin. Zwar ist es richtig, dass mit der exponentiellen Zunahme der Beiträge erst in diesem Jahrhundert von einer *ontologischen Revolution der Informatik* gesprochen werden kann, doch sind gerade die frühen Beiträge zur Ontologie wesentlich, um ihre Fragen, ihre Probleme, ihr Wesen wie ihre disziplinäre Genese sachgerecht einordnen zu können. Dass die Grubersche Ontologiekonzeption in weiten Teilen der Informatik mittlerweile als Absolutum gesetzt wird hat auch damit zu tun, dass sich zeitlich in etwa parallel zu Genesereth/Nilsson (1987) und Gruber (1993, 1995) konstruktivistische Positionen gerade in der angewandten Informatik durchgesetzt haben. Ungeachtet seiner Popularität sind folgende fünfzehn elementare Defekte an Grubers Ontologiekonzept zu bemängeln, die es für die *Smart Enterprise Integration* im IoX-Hyperspace wie generell disqualifizieren:

- i. Bei Gruber von "*Ontologie*" zu sprechen, ist insofern verfehlt, als es gerade nicht dem entspricht, was als philosophische Ontologie durch Mealy (1967) in die Informatik eingeführt wurde. Vielmehr entspricht es nicht mehr als Mastermans (1961) *semantischen Netzen*, die ihrerseits unmittelbar auf Wittgenstein II basieren. Denn bei Gruber konstituiert sich eine Ontologie lediglich aus *Konzepten* bzw. *linguistischer Termini*: »we can describe the ontology of a program by defining a set of representational terms«. ²²²⁴ Es ist auf den ersten Blick erkennbar, dass dieses naive Ontologieverständnis nicht für Computer als *cyberphysische "Reality Machines"* bzw. als Grundlage für ein realitätsorientiertes *Autonomic Computing* hinreichend ist. Dabei ist zu sehen, dass Masterman (1984) im Rekurs auf Haack (1979) selbst die grundlegenden Defizite sowohl der semantischen Netze im Speziellen als auch der deskriptiven Metaphysik im Allgemeinen, in der auch Gruber (1993, 1995) steht, erkannt hat. Für Masterman (1984) ist evident, dass die semantische Lösung der Informatik in einer Normalsprache besteht, die im Paradigma von Whiteheads revisionärer Metaphysik zu entwickeln ist.
- ii. Bei der Gruberschen Ontologiekonzeption handelt es sich um eine linguistische, nicht um eine revisionär-metaphysische Variante: »If the specification of a standard declarative language is like a grammar of English, ontologies are reference works akin to dictionaries«. ²²²⁵ Als solche unterstellt die Grubersche Ontologiekonzeption *keinen metaphysischen Realismus*. Damit aber fehlt jeder systematische Realitätsbezug; implizit wird diesem die *Harmonie-These* linguistischer Realitätserschließung entgegengesetzt. Ontologie ohne eine umfassende Analyse der fundamentalen Strukturen der Realität vollziehen zu wollen, also jenseits der *metaphysica generalis*, kann nur auf den ersten Blick vorteilhaft erscheinen. Tatsächlich lassen sich auf einer solchen Grundlage weder aktuelle und

²²²⁴ Vgl. Gruber (1993: 199).

²²²⁵ Vgl. Gruber (1991: 2 f.).

mögliche Welten richtig trennen, noch die fundamentalen Strukturen der Welt in der Wissensrepräsentation sachgerecht berücksichtigen.

- iii. Der philosophische Unterbau fehlt jedoch nicht nur in metaphysischer, ontologischer und epistemologischer Hinsicht, sondern genauso unter methodologischen Gesichtspunkten. Mit dem Gruberschen Ansatz wird der richtige Zugang zur *Natur des Wissens* verstellt, die im Sinne Poppers von stark divergierender Gestalt ist. Alles Wissen zielt letztlich auf *objektives Wissen*, indem nur das als echtes Wissen erachtet werden kann, was sich gegenüber umfassenden Falsifizierungsversuchen bewahrheitet hat. Demgegenüber zeigen die disparaten Überzeugungswelten paradigmatischer Glaubensbekenntnisse, dass Konsens kein Wahrmacher objektiven Wissens darstellen kann. Konsens kann nur objektivieren im intersubjektiven Sinne; Konsens ist ein Wahrmacher regionaler Intelligenz, wie er typischerweise bei Schwarmintelligenz zum Einsatz gelangt. Es handelt sich jedoch nicht um einen Wahrmacher globaler Intelligenz, womit diese eigentlich, insbesondere mit Blick auf *Superintelligenz* entscheidende AI-Intelligenzform für die Grubersche Ontologiekonzeption unerreichbar bleibt.
- iv. Auch wenn es bei Gruber nicht um Epistemologie geht, wird deren Voraussetzung bei ihm mit Ontologie verwechselt, d.h. konzeptuelles Schema mit Ontologie; Grubers Ontologie ist prinzipiell *konzeptuelles Schema* im Sinne Kants (1781), allerdings ohne Kantische Kategorien. Es bildet bei Gruber nicht mehr als eine Vereinbarung für Kommunikationszwecke von Agenten, allerdings wird dabei übersehen, dass in dieser Kommunikationsfunktion nicht mehr als eine nachgeordnete AI-Funktion kognitive Agenten bestehen kann, die als tatsächlich intelligente Agenten jedoch zuvorderst epistemologische Kompetenzen besitzen müssen. Schon insofern, d.h. rein auf den Agenten bezogen, greift der Grubersche Ontologiegedanke zu kurz, zumal er sein Ontologieverständnis explizit auf der *epistemologischen Ebene* von McCarthy/Hayes (1969) verortet.²²²⁶ An anderer Stelle bezeichnet Gruber (1989: 128 f.) diesen selbst als "epistemic ontology". Auch wenn diese eigentliche AI-Agentenkompetenz dem Gruberschen Ontologiekonzept ergänzend zugebilligt würde, ist dessen AI-Ontologiebegriff von vornherein inkompatibel mit dem etymologisch einzig sachgerechten philosophischen, für den mit E.J. Lowe (2001: 1) in direkter Kritik des tradierten AI-Ontologieverständnisses gilt: »Ontological categories are categories of being, not categories of thought. Ontology is the science of being, not the science of our thought about being«. Wenn auch ungeplant, ist diese Verwechslung demgegenüber letztlich insofern unproblematisch, als sich epistemologische Prozesse tatsächlich im Wechselspiel mit Weltmodellen vollziehen, indem sich ihre

²²²⁶ Das bezieht sich bei Gruber (1992, 1993) zwar auf das *Knowledge Interchange Format* (KIF), auf dem er jedoch selbst wiederum unmittelbar aufbaut.

semantisch explizite Spezifikation allein in Form von Ontologien realisieren lässt. Im Sinne des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* wird die Doppelnatur des Ontologiebegriffs zwingend, da es selbst integrativer Teil der Natur ist, wobei es mit dieser in einem Interdependenzverhältnis steht. Das wird auch durch Poppers damit korrespondierender *Drei-Welten-Lehre* betont. Insofern ist Grubers *epistemologische* Ontologie nicht vollends unangebracht, sondern als *einer* der diversen Ontologiemodi gerade für agentenbasierte Systeme unverzichtbar. Allerdings ist dieser dann in einer tatsächlich durchgängigen Variante integrierter Ontologie zu konzipieren. Genauso steht außer Frage, dass eine Reduktion *aller* Ontologie auf *epistemologische* Ontologie, wie sie im Zeichen eines fundamentalen Idealismus stünde, nicht nur unzweckmäßig, sondern vor allem auch unzulässig ist. Analoges gilt für die damit verbundene Reduktion aller Ontologie auf eine *Monoweltenontologie*, die ebenfalls abzulehnen ist. In der Tat sind solche Reduktionen gerade mit Blick auf AI-basierte Cyber-physische Systeme (CPS) inakzeptabel, weil diese Systeme mit McCarthy (1995) einen "*general world view*", mithin eine Ontologie im klassischen Sinne benötigen. Grubers (1995) Designkriterium einer *minimalen ontologischen Verpflichtung*,²²²⁷ an dem er "gute" Ontologien messen will,²²²⁸ ist für nahezu sämtliche Ontologien verfehlt.^{2229, 2230} Insbesondere gilt dies mit Blick auf die *Superintelligenz*, auf die McCarthys (1995) "*general world view*" etwa im Zeichen kognitiver Robotik letztlich in langfristiger Perspektive von vornherein auszulegen ist. Genau Gegenteilig zu Gruber (1995) ist eine *maximale ontologische Verpflichtung* erforderlich,²²³¹ um eine solche Superintelligenz der dritten AI-Generation zu erreichen. Dies geschieht wesentlich auf TLO-Grundlage, die demgegenüber für Gruber allenfalls eine untergeordnete Rolle spielt. – Cyber-physische Systeme (CPS) bewegen sich in mehreren Welten, womit sie auch eine *Mehrweltenontologie* erfordern. Grubers *Monoweltenontologie* läuft entsprechend Gefahr, dass

²²²⁷ Vgl. Gruber (1995: 910): »An ontology should require the minimal ontological commitment sufficient to support the intended knowledge sharing activities. An ontology should make as few claims as possible about the world being modeled, allowing the parties committed to the ontology freedom to specialize and instantiate the ontology as needed«.

²²²⁸ Geht es indessen bei Gruber/Olsen/Runkel (1996) um Ontologien im *technologischen* Kontext, wird auch für Gruber eine umfassende ontologische Verpflichtung erforderlich.

²²²⁹ Vgl. hierzu auch kritisch Borst (1997: 15, 51) sowie Morbach et al. (2009: 1552 f.).

²²³⁰ Bei dieser Frage ist zum einen zwischen den *Ontologiearten* (z.B. Domänen- vs. Aufgabenontologie) zu differenzieren, zum anderen, ob es sich um *wissenschaftliche* oder um *technologische* Ontologien handelt. Wenn bei Borst (1997) die *ontologische Verpflichtung* in den Kontext ihrer Gültigkeit für (alle) *mögliche Welten* gerückt wird, stellt sich diese Frage selbstredend bei Smithens *Scientific Ontologies* ganz anders, wenn diese allein die *aktuelle Welt* adressieren.

²²³¹ Auch Mora et al. (2011: 164) erkennen im Zeichen des *kritischen Realismus* Bhaskars (2008), dass Grubers "*commitment principle*" genau umzudrehen ist, woraus folgt, dass das maßgeblich auf genau diesem Prinzip beruhende Ontologieverständnis Grubers schlichtweg ungeeignet und für alle ontologischen Integrationsbelange unzweckmäßig ist. Entsprechend kommt die Informatik fünfzig Jahre nach Mealy (1967) offensichtlich nicht um eine metaphysische Grundsatzdiskussion zur Ontologiefrage umhin, die u.a. mit Pkt. 6.2.6 epistemologische Aspekte mit umschließt.

Sachverhalte, die nicht zusammengehören, miteinander unzulässig vermischt werden. Die gesamte, für die Informatik in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen elementare CPS-Forschung, wie sie im U-PLM-Kontext etwa mit der *Smart Factory* oder PEID-Technologien zentrale Relevanz hat, ist mit Grubers Ontologiekonzept schlichtweg inkompatibel. Denn im Zeichen von Sensorontologien, von SAW- oder CAW-Ontologien wird im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" in einem AI-Kernbereich explizit auf einem *philosophischen* Ontologiebegriff wie auf entsprechenden metaphysischen Systemen aufgebaut, deren Bedeutung Gruber verkennt. Somit ist die Grubersche Ontologiekonzeption nicht nur defekt, sondern sie verfehlt auch eklatant das *Prinzip der Allgemeingültigkeit*, die für eine zentrale Konzeption einzufordern ist. Dabei ist darauf zu verweisen, dass sie zu allen realistischen TLO-Ontologiekonzeptionen in fundamentalem Widerspruch steht, allen voran zur BWW-TLO oder zur BFO-TLO. Diese TLO-Ansätze kommen jedoch einschließlich ihrer philosophischen Ontologiekonzepte in weiten Teilen der Informatik, etwa in der konzeptuellen Modellierung (BWW) oder etwa in AI-Ontologien der biomedizinischen OBO-Foundry (BFO) zum Einsatz. Dabei sei nochmals an die fundamentale Gegenposition erinnert, die B. Smith (2004) zu Recht zu Grubers Ontologiekonzeption z.B. im Sinne instantiiert Universalien vs. linguistischer Konzepte bezieht. Tatsächlich ist es nicht unproblematisch, wenn die grundsätzliche wie gänzlich offenbare Inkompatibilität, wie sie mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 zwischen Grubers *linguistisch-konstruktivistischem Konzept* und *realistischen TLO-Ansätzen* in metaphysischer, epistemologischer und methodologischer Hinsicht *de facto* gegeben ist, in der AI-Tradition übersehen wird.²²³² Das Grubersche Ontologiekonzept ist darüber hinaus inkompatibel mit der initialen Begriffsverwendung von Ontologien in der Informatik: es handelt sich mit seiner Fixierung auf Linguistik um etwas vollständig anderes als bei Mealy (1967) oder McCarthy/Hayes (1969); es ist auch insgesamt inkompatibel mit der Ontologieauffassung McCarthys als zentralem Begründer der AI-Disziplin. Die Linguistik ist von ontologischer Relevanz, kann indessen nicht den erforderlichen fundamentalen Rahmen bilden. Denn dieser besteht immer in der *metaphysischen Verfasstheit der Ontologie*, die mit den bestehenden unterschiedlichen *Weltauffassungen*, wie sie mit dem breiten Spektrum an Top-level Ontologien ersichtlich werden, zwingend zu explizieren ist. Ein rein epistemologisches Ontologieverständnis greift also insgesamt deutlich zu kurz. Vor allem aber kann es sich dabei nicht um den Mittelpunkt des ontologischen Universums handeln. Vielmehr ist die epistemologische W2-Konstruktionsleistung und mit ihr ein subjektivisti-

²²³² Vgl. exemplarisch Herre/Heller (2006), die Grubers Konzept mit ihrer *realistischen* GFO-TLO kombinieren, oder Poole/Mackworth (2010), die es mit der *realistischen* BFO-TLO verknüpfen.

ches Moment im Zeichen Kants (1781) wie der modernen Physik zwar von grundlegender Relevanz, aber letztlich jenseits kausaler Eingriffe in die Natur nicht zwingend relevant für den Fortgang ontischer W1-Prozesse, die sich in allen natürlichen Sphären vielfach jenseits von ihnen vollziehen.²²³³

- v. Die universale Auslegung von *Ontologien als Weltmodelle* erscheint nicht nur angezeigt, sondern sie wird in Philosophie und Informatik seit langem *de facto* praktiziert. Allerdings geschieht dies bisher nicht systematisch, und auch wenig explizit; die Frage, was Weltmodelle überhaupt sind und was sie methodisch implizieren, wird jenseits der konzeptuellen Modellierung eigentlich kaum gestellt. Indessen kann tatsächlich die erforderliche Integration von Ontologien nur an dieser universalen Auslegung von *Ontologien als Weltmodelle* ansetzen, wie es in der CYPO-Ontologiekonzeption in Pkt. 3.5 geschieht. Wenn auch Gruber an sich ein universales Ontologieverständnis im Sinn zu haben scheint, offenbart es gerade vor dem Hintergrund dieses Anspruchs zwei elementare Fehler: zum ersten die ausschließliche Fixierung auf die *epistemologische Ontologie*, mit der gerade die im CPS-Kontext entscheidenden ontologischen Kategorien als *Kategorien des Seins* fehlen; zum zweiten verfügt die Grubersche Ontologiekonzeption genau besehen aber auch nicht im Kantischen (1781) Sinne über *Kategorien des Denkens*, vielmehr entbehrt sie überhaupt jedweden Kategorienschemas. Damit verkennt Gruber jedoch das Wesen der Ontologie; denn ganz gleich um welche Art von Weltmodell es geht, ist Ontologie immer insofern *kategorial*, als sie auf eine *Kategorisierung von Entitäten* zielt. Tatsächlich wird eine Entität erst genau dadurch zu einem Ereignis, Objekt usw., indem sie in geeignete Kategorien gefasst wird. Während *Entitäten* (entitas, von "ens" – "seiend") als umfassender ontologischer Begriff *keine* Kategorie formieren, sondern vielmehr Alles überhaupt *Entitäten* darstellt, bilden Ereignisse, Objekte usw. oberste Kategorien. Ontologische *Kategorien* verkörpern dabei mit Meixner (2004: 18 f.) allgemeinste Einteilungsbegriffe, wobei die Ontologie der Informatik spezifische, CPSS-adäquate Kategorien benötigt, weil realweltlich eingebettete AI-basierte Systeme bei kritischen Prozessen ansonsten nicht problemlos funktionieren werden: Das muss sich nicht immer auf Anhieb zeigen, irgendwann aber treten die Fehler auf, die bei *nicht-explikativen* Gruberschen Konzepten prinzipiell unvermeidlich sind. Es sollte außer Frage stehen, dass dies bei realweltlichen CPPS der *Smart Factory* etwa der petrochemischen Prozessindustrie oder bei realweltlichen CPS wie Verkehrsleitsystemen usw. genauso wenig die erforderliche Ontologiebasis darstellen kann wie insgesamt bei realweltlichen IoX-Umgebungen, die eine Vielzahl gerade auch physikalischer *Smart Objects* miteinander

²²³³ Diese pointierte Darlegung ist insofern zu relativieren, als jedes *Subjekt-Superjekt* selbst integrierter Bestandteil der Natur ist.

verbinden. Es sollte Einsicht in die Tatsache bestehen, dass Grubers Ontologie nichts für Hayes' (1979) "*nontoy worlds*" ist. Genauso sollte klar sein, dass sie nicht allgemeingültig voraussetzbar ist, was eine Ontologiekonzeption mit Blick auf die semantische Interoperabilität in ihrer Universalität jedoch zwingend verlangt. In dieser Kategorisierung besteht eine wesentliche Funktion der *Top-level Ontologie*, indem sie die *Top-level Kategorien* im Wechselspiel mit der Spezifikation zahlreicher meta-ontologischer Dispositionen bestimmt.²²³⁴ Das geschieht in den alternativen TLO-Ansätzen auf unterschiedliche Weise, womit deutlich wird, dass sie im metaphysischen Widerstreit stehende *disparate Welt-auffassungen* verkörpern, deren tatsächliche universale Geeignetheit vor dem Hintergrund der verschiedensten ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarien zu reflektieren ist. Zwar spricht auch Gruber (1993, 1995) von *Entitäten*, doch begeht er den Fehler, dass er sich nicht mit deren Kategorisierung beschäftigt, die wiederum die fundamentalen Weltstrukturen spiegelt.

- vi. Das Ontologieverständnis Grubers steht mit seiner *Ontolingua*, die sich explizit auf objektorientierte *Frame Systems* bezieht,²²³⁵ im unmittelbaren Kontext des unter Pkt. 1 erörterten *Frame Problem* und seiner Fehlinterpretation der ersten AI-Generation.²²³⁶ Denn zum einen wird eine 3D-objekt- statt 4D-ereigniszentrische CEP-basierte Weltauffassung vertreten und damit verbunden wird die falsche Metaphysik bemüht: Im Sinne der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* eine Cartesische und in Bezug auf die semantischen Netze die deskriptive Metaphysik samt ihrer falschen *Harmonie-These*. Beides ist verfehlt wenn es gilt, die Agent-Umweltinteraktion in der AI-Disziplin realitätsgerecht umzusetzen. Dazu muss die Informatik bzw. AI-Disziplin zunächst einmal eine adäquate Realitätstheorie voraussetzen, die dem *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigma*, dem damit direkt verbundenen Gedanken komplexer Systeme sowie des exakt-objektiven, falliblen Wissens zu entsprechen hat. Entsprechend führt die erste AI-Generation, die etwa mit Fikes/Kehler (1985), Gruber (1991, 1993) oder Karp (1992) ihre Objektorientierung als "*Furniture of the World*" gerade mit *Frames* umsetzt,²²³⁷ genauso in die Irre wie die zweite AI-Generation, die das *Frame Problem* phänomenologisch-subjektivistisch als direkte Umweltinteraktion lokaler Agenten ummünzt. Die Informatik ist vielmehr auf den AI-Kern der dritten

²²³⁴ Vgl. hierzu Sowa (1995).

²²³⁵ Vgl. dazu etwa Gruber/Cohen (1987) sowie Gruber (1989, 1991).

²²³⁶ Vgl. dazu Stefik et al. (1982: 146 f.): »Actions in the situational calculus are represented by functions whose domains and ranges are situations. For each action, a set of frame axioms characterizes the set of assertions (i.e., 'the frame') that remain fixed while an action takes place within it. In a robot planning task, an example of an action would be the *Move* action for moving an object to a new location. A frame axiom for *Move* would be that all objects not explicitly moved are left in their original location«.

²²³⁷ Vgl. hierzu etwa Fikes/Kehler (1985: 904): »A frame provides a structured representation of an object or a class of objects«. Entsprechend bauen KR-Repräsentationssprachen gerade auf dem Frame-Gedanken auf, vgl. etwa Stefik (1979). Dabei lassen sich auch *Frames* mit *Rules* kombinieren, vgl. Aikins (1984).

AI-Generation zu stellen, die auf dem digitalmetaphysischen Fundament der Cyber-Physik Whiteheads steht. Indem Gruber in der Logik seines linguistischen Ontologieansatzes *Entitäten* naheliegender Weise unmittelbar auf *Objekte* fixiert, verkennt er nicht nur deren Natur, sondern vielmehr die *Natur der Ontologie* insgesamt. Denn die Natur der Ontologie ist kategorial, und die auch durch Gruber angestrebte Wiederverwendbarkeit von Ontologien ist auf Grundlage seines Ontologieverständnisses schon deshalb kaum möglich, weil nicht nur die kategoriale Ausdifferenzierung der Entitäten fehlt, sondern im Umkehrschluss Objekte bei Gruber (1993, 1995) bzw. in seiner Tradition bei Genesereth/Fikes (1992) gleichzeitig alles repräsentieren. Wenn Objekte jedoch in dieser Tradition explizit wahlweise abstrakt oder konkret, aktual oder fiktional usw. behandelt werden,²²³⁸ was direkt auf die fehlenden TLO-Kategorien zurückzuführen sind, mögen zwar dem jeweiligen *Ontology Engineer* ihre meta-ontologischen Dispositionen klar sein. Solche Ontologien, die von einer klaren TLO-Zuordnung absehen, eignen sich jedoch nicht für eine allgemeine Wiederverwendbarkeit von Ontologien, indem mit der fehlenden ontologischen Verpflichtung gleichzeitig die ontologische Klarheit fehlt. Der Grubersche Ansatz verfügt zwar nicht über metaphysische bzw. epistemologische Kategorien, dennoch setzt er Kategorien implizit voraus, nämlich jene linguistischen Kategorien, die der Grammatik Alltagssprache inhärent sind. Insofern trifft Gruber gewiss eine kategoriale Entscheidung, nämlich für 3D-Objekte und gegen 4D-Ereignisse. Tatsächlich handelt es sich bei der Gruberschen Ontologie um einen *objektzentrischen Ansatz*.²²³⁹ Diesem fehlt eine spezifisch abgegrenzte *Ereigniskategorie*,²²⁴⁰ wie sie für die Whiteheadsche Semantik gerade elementar ist, indem sie den Kern jeden *cyber-physischen Computing* ausmacht. Natürlich ist alle kategoriale Ontologie *metaphysische Ontologie*, da sie auf *metaphysischen Kategorienschemata* basiert, was selbst für die deskriptive Metaphysik gilt. Dabei ist eine *explikative* Ontologie, in der das Wesen der Ontologie überhaupt besteht,

²²³⁸ Vgl. dazu Genesereth/Fikes (1992: 13) bzw. Fn. 339.

²²³⁹ Dass es sich um einen *objektzentrischen Ansatz* handelt, wird vor dem Hintergrund der wesentlich durch Gruber mitentwickelten *Ontolingua* deutlich, in die wiederum die *Frame Ontology* inkorporiert ist. Vgl. Gruber (1993: 215): »The Frame Ontology defines these object-centered concepts in a declarative form that is stylistically compatible with pure relation-centered usage. The vocabulary for these concepts defines what can be translated, and offers a succinct form for users to write portable ontologies. In these ways, the Frame Ontology is a specification of the ontological commitments of Ontolingua«. *Ontolingua* basiert in Syntax und Semantik auf dem *Knowledge Interchange Format (KIF)* von Genesereth/Fikes (1992), das auf einer *relationsorientierten* Sprache aufsetzt, während *Frame Systems* auf *objektorientierten* Repräsentationssprachen beruhen. Vgl. zur Objektorientierung des *Ontolingua Server* auch Farquhar/Fikes/Rice (1997).

²²⁴⁰ Bei Gruber (1991, 1992, 1995) geht es in keiner Weise um *Ereignisse*; bei Gruber (1993) finden sie demgegenüber allein im Beispiel wissensbasierter Planungssysteme Verwendung; damit stellt sich bereits ein Widerspruch zwischen Grubers objektzentrischer Semantik und seinem eigenen Anwendungsfall. Denn es geht zwar um linguistische Ontologie, jedoch nicht um die Ereignis- bzw. Situationssemantik bei D. Davidson (1967) bzw. Barwise/Perry (1983).

ohne einen Rekurs auf solche metaphysische Kategorienschemata letztlich unmöglich. Somit ist eine *explikative Ontologie* auf Basis der Gruberschen Ontologiekonzeption an sich unmöglich, woraus folgt, dass sich diese insgesamt zu Zwecken der Ontologiefundierung disqualifiziert. Denn ohne diese Fundierung bleibt letztlich jede Klassifikation kategorial unbestimmt, womit sie unterspezifiziert ist. Eine explikative Prozesssemantik etwa kommt nicht ohne ein prozessmetaphysisches System aus, weil mit ihr umfassendste, etwa auch mereologische Aspekte innerhalb eines in sich konsistenten Systems zu fassen sind. Diese lassen sich zwar im Zweifel linguistisch repräsentieren, allerdings nicht linguistisch begründen, womit jede linguistische Ontologie sich selbst nicht genügt. Vielmehr setzt die Begründung von Kategorienschemata immer metaphysische Theorien unter Zuhilfenahme formaler Methoden voraus. Offenbar verwechselt Gruber nicht nur beliebig abgegrenzte *linguistische Konzepte* mit Objekten, indem Objekte – jenseits der Linguistik – in der Ontologie immer Bestandteile einer *Theorie der Objekte* sind, die jenseits Meinongs (1913) metaphysisch ist.²²⁴¹ Vielmehr verwechselt er auch linguistische Konzepte mit metaphysischen Kategorien bzw. meint diese faktisch gleichsetzen zu können. Auf diese Weise können Ontologien aber tatsächlich nicht funktionieren, weil Grubers Konzeption zum einen im direkten Konflikt mit dem Transdisziplinaritätsmoment steht, das gerade für *Scientific Ontologies* von großem Belang ist, schon allein, weil repräsentierte wissenschaftliche Sachverhalte durch einfache Aufschaltung verschiedenster Domänenontologien in eine unmittelbare Relation zueinander treten. Insofern ist eine Konsistenz im Sinne einer transdisziplinären Strukturierung unabdingbar; mit anderen Worten haben die universal relevanten TLO-Kategorien *die gleichen* zu sein. Damit zusammenhängend steht sie zum anderen in direktem Konflikt mit der Notwendigkeit einer sachgerechten Repräsentation der fundamentalen Strukturen der Welten, was dann insbesondere auch im Hinblick auf technologische und praktische Ontologien von Bewandtnis ist. Das gilt nicht zuletzt für jene der Realität als solcher, was angefangen von autonomer Robotik, über CPSS und IoX-Umgebungen bis hin zu allen anderen realweltlich eingebetteten Systemen inakzeptabel ist. Eine integrierte Ontologiekonzeption benötigt dabei Kategorien des Seins *sowie* damit korrespondierende Kategorien des Denkens über das Sein: während sich erste auf die empirisch bestätigbaren Grundstrukturen des Seins beziehen, allen voran hinsichtlich grundsätzlicher Annahmen zur fundamentalen Trias von Ereignis, Prozess und Objekt sowie damit verkoppelter nachgelagerter Fragen, zielen die Kategorien

²²⁴¹ Indem Meinongs (1913) *Gegenstandstheorie* wesentlich die Sichtweise der *analytischen Metaphysik* bestimmt, wird Meinongs (1913) Differenzierung zwischen dieser und der Metaphysik hinfällig. Auch im Sinne deskriptiver Metaphysik ist jede *Theorie der Objekte* an sich metaphysischer Natur, womit sich die Frage nach der sachgerechten *Theorie der Objekte* auf die metaphysische Ebene verschiebt.

des Denkens auf konkret gegebene situativ-kontextuelle Sachverhalte bei kognitiver Robotik, MAS-Agenten, semantischen Maschinen bzw. intelligenten Automaten, also etwa auf Entscheidungsstrukturen. Entsprechend ist eine der Linguistik entlehnte begriffliche Klassifizierung, wie sie Gruber zugrundelegt, nicht ausreichend. Das wird bei CPS schon daran ersichtlich, dass hier Objekte in Raumzeit zu erfassen sind, was ohne die konventionelle Ontologie als Grundlage nicht machbar ist. Genauso sind in IoX-Umgebungen *Objekte* als *Smart Objects* eingebettet, was insbesondere eine situations- wie kontextsensitive *Ereignisontologie* erfordert, die wiederum nach einer Konkretisierung der Grundstrukturen der Welt verlangt. Das alles übersieht Gruber sträflich, womit seine Ontologiekonzeption offensichtlich weder CPSS- bzw. IoX-adäquat noch schließlich überhaupt adäquat für intelligente realweltliche AI-Systeme ist. Es steht vor diesem Hintergrund außer Frage, dass eine systematische, realitätsbezogene Kategorisierung von Entitäten im Sinne der philosophischen Ontologie als Kategorienlehre erforderlich ist. Denn nur in ihrer Bezogenheit auf ein Kategorienschema kann eine begriffliche Klassifikation jene Systematik erfahren, wie sie für die semantische Interoperabilität und Transdisziplinarität unverzichtbar ist. Mit Grossmann (1992: 2) gilt also, dass Entitäten nicht nur zu klassifizieren, sondern zunächst einmal zu kategorisieren sind, was insofern einen wesentlichen Unterschied markiert, als erstes linguistisch machbar ist, während zweites jenseits aller Linguistik allein der Metaphysik vorbehalten bleibt. Indem immer zunächst die Kategorisierung, dann erst eine Klassifikation vorzunehmen ist, sollte die fundamentale Konsequenz, die aus diesem Umstand zu ziehen ist, evident sein: es kann keinen linguistischen Zugang zur Ontologie geben, genauso wenig wie einen linguistischen OE-Ansatzpunkt. Beides scheitert letztlich am Wesen der Ontologie, welches sie als *explikative Ontologie* ausweist. Gerade im PLM-relevanten CPS-Kontext ist somit klar: jedes technologische Ontologiekonzept der Informatik ist auf die kategoriale Ontologie der Philosophie zu beziehen – es gibt nur *eine Ontologie*, auch wenn diese – wie in Pkt. 3.5 vollzogen – in verschiedensten Weltmodi operiert.

- vii. Auf der linguistischen Ontologiebasis Grubers lassen sich keine *integrierten Ontologiekonzepte* realisieren, mit denen die notwendige Zusammenführung von CM- und AI-Ontologien gelingen kann. Insofern ist das erforderliche Wechselspiel von konzeptuellen und semantischen Modellen hier von vornherein unmöglich. Denn linguistische Ontologiekonzeptionen beziehen sich im Allgemeinen nicht auf konzeptuelle Modelle, sondern auf letztlich beliebige *linguistische* Konzepte resp. Konzeptualisierungen. Die Zusammenführung von CM- und AI-Ontologien ist mit Verweis auf Pkt. 3.2.4 mit der *Smart Enterprise Integration* (SEI) im IoX-Hyperspace obligat, indem die AI-Prozessintelligenz in den kon-

zeptuellen Modellen verankert ist. Das gilt nicht nur mit Blick auf das Enterprise Model insgesamt, sondern konkret auch mit Blick auf Prozessmodelle, indem konzeptuelle Modellierungssprachen resp. Notationen wie BPMN über integrierte *Workflow-* resp. *Process Engines* direkt ausführbar sind. Hierbei ist die erwähnte Kombination von BPMN-Engine und SCEP-Engine zu berücksichtigen, und insofern erfährt die BPMN-Ontologie eine weitaus umfassendere Funktionalität als bisher gemeinhin angedacht.

- viii. Der Gruberschen Ontologie fehlt jede systematische Referenz auf die *Top-level Ontologie*; sie ist weder verpflichtend noch wird sie überhaupt in den Fokus gerückt. Wenn die eigentliche Ontologie in der explikativen Heavyweight-Ontologie zu sehen ist, handelt es sich in ihrer strikten TLO-Referenz offenbar um einen kritischen Punkt. Diese fehlende systematische TLO-Referenz verwundert deshalb nicht, weil diese in ihrer philosophischen Fundierung auch entsprechend an einem philosophischen Ontologiebegriff orientiert ist, der in Grubers linguistischem Ansatz nicht präsent ist. In diesem Sinne erfolgt auch das *Ontology Engineering* auf ganz beliebige Weise. Wenn bei Gruber (1993) oder etwa bei Wielinga/Schreiber (1994) von *ontologischer Verpflichtung* die Rede ist, so bezieht sich dies auf alle möglichen Ontologien, jedoch gerade nicht auf die systematischen Belange der *Top-level Ontologie* und entsprechender *Top-level Kategorien*. Indessen ist die Rede von *ontologischer Verpflichtung* ohne ihre Berücksichtigung letztlich wenig sinnvoll – und im Grunde kaum angemessen. Zwar sieht auch Gruber (1993) TLO-relevante Aspekte, verweist in dieser Sache jedoch allein auf Neches et al. (1991) wie auf R.S. Patil et al. (1992), wo zwar jeweils bereits explizit von *Top-level Ontologie* die Rede ist, diese sich jedoch mit Verweis auf *Cyc UCO*, dem *Penman Upper Model* sowie dem Top-level von *LILOG* auf rein *linguistische* TLO-Ansätze beziehen. Diese sind für Zwecke der fundamentalen Strukturierung von Weltmodellen jedoch ungeeignet. Entsprechend überrascht es nicht, wenn Gruber (1993: 215) erklärt, dass es eine empirisch zu klärende Frage sei, ob Top-level Ontologien, die bei ihm – wenig treffend – als *Content ontologies* bezeichnet werden,^{2242, 2243} beim Design speziellerer Ontologien tatsächlich helfen. Dabei ist zusätzlich zu beachten, dass Gruber (1993) damit lediglich *linguistische* TLO-Ansätze meint. Bereits der gesunde Menschenverstand legt nahe, dass hochautomatisierte Systeme bei kritischen Prozessen nicht ohne eine im kategorialen Zeichen *techno-wissenschaftlicher*

²²⁴² Wenig treffend ist diese Bezeichnung deshalb, weil TLO-Ansätze gerade keinen "Content" im Sinne von Wissensontologien tragen, sondern vielmehr auf die Grundstrukturen der Diskursuniversen und ihre Repräsentation zielen.

²²⁴³ Grubers (1993) *Content ontologies* sollen vorgeben, wie die Welt (oder eine Konzeptualisierung von dieser) beschrieben werden sollte und somit muss es selbst mit Blick auf das bloß *linguistische* TLO-Verständnis Grubers verwundern, dass eine Referenz auf solche *Content ontologies* bei ihm *nicht* systematisch angelegt bzw. zwingend ist, während er gerade auf *ontologische Portabilität* abzielt.

Metaphysik konzipierte fundamentale Ontologie auskommen. Nicht umsonst beschäftigen sich Akteure etwa der Petrochemie wie Shell seit Jahren umfassend mit Metaphysik und Top-level Ontologie auf Basis eines philosophischen Ontologieverständnisses.²²⁴⁴ Empirisch wird man Grubers Frage letztlich nur insofern sinnvoll beantworten können, indem *ex post* die Ursachen größerer ontologisch bedingter Fehlschlüsse bei hochautomatisierten resp. autonomen Systemen untersucht werden. Es überrascht nicht, wenn auch M. West als Shell-Verantwortlicher explizit mit dem Gruberschen Ontologiekonzept bricht.²²⁴⁵ Auch für ihn steht außer Frage, dass es um die *sachgerechte Repräsentation der Realität geht*, und *nicht* – wie bei Gruber – um einen auf linguistische Konstrukte bezogenen Konsens, bei dem grundsätzlich all das "existiert", was repräsentiert werden kann. Hier sei nochmals angemerkt, dass in einem solchen Ontologieverständnis tatsächlich *nicht das primär relevante* bestehen kann, dieses aber mit Verweis auf Pkt. 3.5 und mit Blick auf Innovationsprozesse dennoch in modifizierter Form mit zu berücksichtigen ist. – Tatsächlich gelangt mit dem fehlenden systematischen TLO-Bezug aber eine vollumfängliche semantische IS-Interoperabilität als auch eine KS-Transdisziplinarität wie insgesamt eine umfassende ontologische Integration außer Reichweite. Indessen muss eine *ad hoc* flexibel kombinierbare, realitätsadäquate transdisziplinäre Wissensrepräsentation die Leitlinie vorgeben, wenn es für die AI-Disziplin gilt, die Ontologiekonzeption so auszugestalten, dass sie in grundsätzlicher Weise mit superintelligenten Systemen korrespondiert. Mit Grubers Ontologiekonzept käme man dabei nicht weit, weil das dazu notwendige kategoriale Schema fehlt. Insofern ist es nicht nur für Zwecke der konzeptuellen Modellierung vollkommen ungeeignet, sondern auch für den AI-Kernbereich der Wissensrepräsentation.

- ix. Indem Gruber ein rein pragmatisches bzw. rein instrumentales Ontologieverständnis vertritt, setzt er sich entsprechend auch nicht mit den ontologisch gerade maßgeblichen fundamentalen Fragen auseinander. Gruber (1993) beschäftigt sich weder mit meta-ontologischen Kriterien noch etwa mit Mereologie und verwandten Aspekten wie Identität, Einheit, Starrheit oder Abhängigkeit usf. Denn diese setzen ein philosophisches Ontologieverständnis voraus, dem die Grubersche (1993) Ontologiekonzeption entbehrt. Eine semantische Systemintegration ist aber auf einer solchen Basis nicht sachgerecht zu vollziehen. Erwähnenswert ist dabei, dass sich Gruber (1995) zwei Jahre später gegenüber diesen Aspekten zu öffnen beginnt; dabei sollte ihm die *grundsätzliche* Diskrepanz, die zwischen seinem *linguistischen* und dem *realistischen* Ansatzpunkt im *Ontology Engineering* (OE) besteht, aufgefallen sein. Denn hier wird im Gegensatz

²²⁴⁴ Vgl. etwa West (2002, 2003, 2004, 2008, 2009, 2011), Stell/West (2004) sowie Batres et al. (2007).

²²⁴⁵ Vgl. West/Partridge/Lycett (2006).

zu Gruber (1993) nun etwa mit Takagaki (1990) auf die *realistische* BWW-TLO, auf Sowas (1995) *metaphysische* TLO-Kategorien, aber auch auf die grundsätzliche Bedeutung metaphysischer Aspekte wie Mereologie, Zeitkonzepte, Kausalität oder Wandel hingewiesen.²²⁴⁶ – Gemeinhin wird die AI-Ontologie im Zeichen der *Wissensrepräsentation* (KR) gesehen; allerdings nicht bei Gruber (1995). Denn für ihn geht es im linguistischen Sinne allein um die *Teilung von Wissen* ("communication of knowledge"), nicht aber um die *Repräsentation von Wissen*.^{2247, 2248, 2249} Darin besteht mit Verweis auf Pkt. 3.2.1 jedoch ein vollkommen fehlgeleitetes Ontologieverständnis, und es muss unklar bleiben, warum Gruber dieses als *AI-Verständnis* deklariert, wenn es gerade an dem zentralen AI-Grundgedanken, nicht allein an den zukunfts-offenen Anforderungen der Superintelligenz vollkommen vorbeiläuft: Für die Ontologie qua *Heavyweight-Ontologie* sind weniger Kommunikationsprozesse entscheidend als vielmehr die auf der formalen Wissensrepräsentation aufbauende Möglichkeit automatischen logischen Schließens (Inferenz), die damit verbundene Möglichkeit zur Generierung neuen Wissens und der mit der formalen Wissensrepräsentation ebenso verbundenen Möglichkeit zur Wiederverwendung von Wissen. Kommunikationsprozesse sind wesentlich im Sinne semantischer Interoperabilität, etwa der M2M-Interoperabilität der *Smart Factory*. Doch besteht die Intelligenz der *Smart Factory* im Kern weniger in der semantischen Interoperabilität als solcher, also kaum in den Kommunikationsprozessen an sich, sondern vielmehr in erster Linie in der Inferenz. Offensichtlich werden damit – gänzlich jenseits der Gruberschen Position – die Frage der Wissensrepräsentation und insgesamt die Wissensfrage entscheidend. Damit kommen die bereits bei McCarthy/Hayes (1969) behandelten metaphysischen Fragestellungen im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" ins Spiel. Diese sind nicht nur für superintelligente CPS unverzichtbar, sondern vielmehr für alle realweltlichen AI-Systeme. – Allerdings wird auch diese entscheidende Einschränkung des Gruberschen Ansatzes auf die *Wissensteilung* im Sinne eines formalisierten bloßen Vokabulars für Kommunikationsprozesse, das komplett jenseits aller Wissensrepräsentation steht, in der Ontologiedebatte völlig übersehen. Vielmehr baut man regelmäßig explizit auf dem Gruberschen Ontologiekonzept auf, gerade auch wenn es um Wissensrepräsentation, etwa speziell um Wissensdatenbanken bzw. KBS (KS)

²²⁴⁶ Vgl. Gruber (1995: 925).

²²⁴⁷ Dabei ist mit Blick auf die Grubersche Vokabular-Fixierung und seine fragwürdige Trennung von Wissensteilung und Wissensrepräsentation darauf hinzuweisen, dass bei komplexeren Sachverhalten nicht einmal eine absolut fehlerfreie semantische Übersetzung ohne Wissensrepräsentation möglich ist.

²²⁴⁸ Grubers Ontologiekonzeption ist nicht einmal für Zwecke des *Semantic Web* geeignet, weil auch hier der KR-Gedanke zunehmend eine Rolle spielt, vgl. hierzu etwa Hendler/Van Harmelen (2008).

²²⁴⁹ Damit ist das Ontologieverständnis Grubers (1995) letztlich doch anders akzentuiert als jenes von Gene-sereth/Nilsson (1987), auf dem es eigentlich aufbaut.

geht, wie es etwa im Fall der REA-EO geschieht.²²⁵⁰ Gruber (1995) weist jedoch in dieser Sache explizit darauf hin, dass er hier eine ganz andere Position vertritt als McCarthy/Hayes (1969),²²⁵¹ die demgegenüber mit ihrer metaphysischen KR-Konzeption in grundsätzlicher Hinsicht die diesbezüglich einzig sachgerechte AI-Position vertreten, die als solche den Zugang zur KR-basierten *Superintelligenz* nicht von vornherein verschließen. Insgesamt wird deutlich, dass das Grubersche Ontologieverständnis als Grundlage der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* gerade auch im Hinblick auf seine elementare KR-Dimension gänzlich verfehlt ist. Wenn für Gruber (1993: 199) gilt: »An *ontology* is an explicit specification of a conceptualization« übersieht die Informatik vor diesem Hintergrund in ihrem Festhalten an Gruber sträflich das, was Gruber (1995: 925) an späterer Stelle selbst dazu ergänzt: »whether the conceptualization is a good model of the world was not the dominant criterion. In any case, an ontology is only a specification, and the utility of an ontology ultimately depends on the utility of the theory it represents«. Für Kommunikationsakte in virtuellen Welten, wie sie auch noch die Anfangsvision des *Semantic Web* bei Berners-Lee (1999) bilden, mag Grubers Ontologieverständnis im Modus der Alltagssprache ggf. noch ausreichend sein. Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* benötigen jedoch im *Autonomic Computing* überaus präzise Modelle aller Welten, insbesondere jener der Realität. Indem dabei ebenso evident ist, dass sich diese Modelle nicht *ad hoc* durch die lokale Umweltinteraktion eines einzelnen Agenten begründen lassen, steht die elementare Funktion einer auf Ebene der *Klasse-4-Metaphysik* verankerten *Top-level Ontologie* für die Informatik genauso außer Frage wie die primäre Stellung Popperscher *Scientific Ontologies* im ganzen System der Ontologien. Demgegenüber können Ontologien, die sich auf die Alltagssprache *menschlicher* Agenten beziehen, in diesem System nur nachgeordnet für die H2H-, M2H- bzw. H2M-Interaktion sein.

- x. Grubers konzeptuelles Ontologieverständnis zentriert sich nicht um die Welt *kategorial gefasster, realitätsbezogener Objekte*, sondern es orientiert sich mit seinen *linguistischen Konzepten* an der Sprache und den mentalen Modellen einer letztlich *beliebigen* ontologischen Vereinbarung.²²⁵² Diese Beliebigkeit besteht hier insofern, als die Entitäten nicht zwingend real zu existieren brauchen; d.h. jede spezifizierte Konzeptualisierung steht bei Gruber prinzipiell völlig losgelöst von der Realität. Es handelt sich bei Gruber folglich nicht um einen metaphysischen Realismus, also um die vorausgesetzte Existenz einer bewusstseinsunab-

²²⁵⁰ Vgl. Geerts/McCarthy (1992, 1999, 2000, 2002).

²²⁵¹ Vgl. Gruber (1995: 910): »Since an ontology serves a different purpose than a knowledge base, the concept of *representational adequacy* (McCarthy & Hayes, 1969) differs. A shared ontology need only describe a vocabulary for talking about a domain, whereas a knowledge base may include the knowledge needed to solve a problem or answer arbitrary queries about a domain«.

²²⁵² Vgl. hierzu auch B. Smith (2003a).

hängigen Außenwelt. Es handelt sich auch nicht um einen ontologischen Realismus, wie er durch Quine oder Smith/Ceusters (2010) vertreten wird, indem es im empirischen Sinne strikt um Realitätsrepräsentationen geht. Grubers Position ist eine grundsätzlich andere; bei ihm handelt es sich um einen *pragmatischen Konzeptualismus*,²²⁵³ bzw. im Sinne von Rortys (1967) *Linguistic Turn* entsprechend um eine Spielart eines *linguistischen Pragmatismus* oder *linguistischen Konzeptualismus*. Auf seiner Grundlage lässt sich entweder gar nicht oder allenfalls nur sehr aufwändig überprüfen, ob sich eine spezifizierte Konzeptualisierung im Gruberschen Sinne an der Realität bewährt, also wahr ist.²²⁵⁴ Mit Grubers (1995) Verweis auf Takagaki (1990) steht dabei außer Frage, dass es demgegenüber bei dem *realistischen* Ansatzpunkt gerade nicht um *linguistische Konzepte* geht, sondern mit seinem im Zeichen der Bungeschen (1977a) metaphysischen Objekt- oder Substanzontologie stehenden *Ontology/Object-Based Information System (OBIS) Framework* explizit um *Objekte*, die unmittelbar wie strikt *Entitäten der Realität* repräsentieren. Mit der etwa auch durch Greenspan/Mylopoulos/Borgida (1994) favorisierten *objektzentrischen Wissensrepräsentation* und der damit einhergehenden methodisch notwendigen Integration der CM- und AI-Sphäre handelt es sich um einen fundamental anderen OE-Ansatzpunkt, als er auf Basis beliebiger Gruberscher *linguistischer Konzepte* gegeben ist. Mit Borgida/Greenspan/Mylopoulos (1985) ermöglichen *objektorientierte Frameworks* eine direkte, natürliche Korrespondenz zwischen Modell und realer Welt, was auch hier keineswegs im Sinne eines naiven Realismus zu verstehen ist. Damit sind keine Meinongschen (1913) Objekte gemeint, sondern jene *Naturobjekte*, die Husserl (1917b: 85) in ihrer Eigenschaft als "bewußtseinsjenseitige Objekte" gerade als Gegenpol zur Phänomenologie erachtet. Dabei steht mit der *Natur der Objekte* außer Frage, dass ein solcher Ansatzpunkt nicht nur auf ein realistisches Ontologieverständnis, sondern genauso notwendig auf einen philosophischen Ontologiebegriff hinausläuft, der seinerseits dem Ratio-Empirismus verhaftet ist. Mit philosophischer Ontologie ist also immer *wissenschaftliche Philosophie* impliziert, wobei mit Pkt. 4.1 das Verhältnis von Philosophie bzw. Metaphysik als Erster Philosophie zu den Wissenschaften unterschiedliche Akzentuierungen aufweisen kann.²²⁵⁵ Ein gesonderter AI-Ontologiebegriff, der sich allein mit einem primär linguistischen Ansatzpunkt legitimieren kann, wird

²²⁵³ Vgl. Sesé et al. (2006).

²²⁵⁴ Vgl. hierzu auch B. Smith (2003a: 162).

²²⁵⁵ Es finden sich drei Varianten: erstens, etwa bei Leibniz oder Schelling, das Primat der Philosophie bzw. Metaphysik, wobei Schelling (1794: 51 f.) die *Unbedingtheit der Philosophie* herausstreicht. Demgegenüber unterstreicht Bunge (1977a) die Funktion der Metaphysik als allgemeinste Theorie, die damit umgekehrt ihre Prägung durch die Erfahrungswissenschaften besitzt. Die dritte Variante besteht im Whiteheadschen (1929a) stetigen *Wechselspiel von Metaphysik und Wissenschaft*, dessen Grundideen sich partiell etwa bei Kant finden. Der Ratio-Empirismus ist mit dieser dritten Variante richtig ausgelegt.

damit hinfällig. Mit Grubers (1995) Referenz auf Takagakis (1990) ontologisch-objektorientierten Rahmenwerk ist evident, was es mit den *metaphysisch adäquaten Repräsentationen* bei McCarthy/Hayes (1969) auf sich hat, und dass vor ihrem Hintergrund in einer *metaphysisch fundierten Top-level Ontologie* der einzig richtige Ausgangspunkt für ein sachgerecht verstandenes *Ontology Engineering* bestehen kann, wenn es um einen transdisziplinären Zugang zu komplexen Systemen geht. In den heute für IoT-Kontexte geltenden CPS-Welten, die weder um fundamentale GIS-Aspekte noch insgesamt um grundlegende physikalische Fragestellungen umhinkommen und letztlich immer eine metaphysische Fundierung voraussetzen, ist die Grubersche Konzeption völlig unhaltbar. Da solche GIS-relevanten Ontologien wie etwa SWEET auf das *Semantic Web* (SW) setzen, kann die Grubersche Ontologiekonzeption folglich auch keine universale Grundlegung für SW-Ontologien bilden, wie es gemeinhin angenommen wird. Vielmehr gilt mit Tripathi/Babaie (2008: 1022): »Although ontology has been defined as 'a formal, explicit specification of a shared conceptualization' (Gruber, 1993), it is used to encode the reality rather than our conceptualization of it«. Eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption benötigt im MAS-Sinne Whiteheadscher (1929a) *Subjekt-Superjekte* dennoch beides: sowohl die primäre ontische als auch die sekundäre epistemische Dimension.

- xi. Wie in Pkt. 3.3.2 erörtert, ist das Grubersche Konzeptualisierungsverständnis insofern defekt als es ein *extensionales*, kein *intensionales* ist. Mit Guarino/Giaretta (1995) und Sowa (2000: 99) ist die semantische Basis ihrer Natur nach jedoch *intensional* gefasst, indem sich der Bedeutungsgehalt *primär* nicht aus dem *Begriffsumfang*, also aus der Menge der Denotate eines Begriffs,²²⁵⁶ sondern vielmehr *primär* aus dem *Begriffsinhalt*, also aus dem Designat erschließen lässt.²²⁵⁷
- xii. Gruber stellt mit der Beliebigkeit der Repräsentation wie der fehlenden TLO-Referenz bzw. kategorialen Grundlegung sowie im Verzicht auf Klärung der meta-ontologischen Dispositionen insgesamt auch dann einseitig auf *Anwendungsontologien* ab, wenn es ihm offiziell gerade um die *Wiederverwendbarkeit* von Ontologien geht.²²⁵⁸ Indessen ist sein Ansatz unter dem Gesichtspunkt dieser fehlenden Aspekte bzw. im Verzicht auf eine echte Klärung der metaphysischen Grundlegung gewiss nicht systematisch auf *Referenzontologien* angelegt. Dabei zielt der Ontologiedanke mit Blick auf die Wiederverwendbarkeit, Präzision, semantische Interoperabilität oder die transdisziplinäre Einheit des Wissens auf gerade letztere. Hinzu kommt, dass Anwendungsontologien schon aus Effizi-

²²⁵⁶ Alternativ kann hier im Sinne von Morris (1938) von *Elementen der Klasse* gesprochen werden.

²²⁵⁷ Wie in Pkt. 3.3.2 gezeigt, gilt dies allein im Hinblick auf die Frage des Primats; die semantische Basis wäre unterspezifiziert, würde man diese auf die Intension beschränken wollen. Vielmehr ist das *Zusammenspiel mit der Extension* letztlich immer entscheidend.

²²⁵⁸ Diese Wiederverwendbarkeit, auf die Gruber abzielt, ist im Sinne des linguistischen *Common Sense* zu verstehen, wie sie etwa durch die Cyc-Ontologie angestrebt wird, auf die Gruber (1995) abstellt.

enzgründen so weit wie möglich aus Referenzontologien zu generieren sind. Daraus folgt, dass nicht die Anwendungsontologie, sondern die Referenzontologie den zentralen Gesichtspunkt jeder sachgerechten AI-Ontologiekonzeption bilden muss. Der Umstand, wie die repräsentierten Objekte genau auszulegen sind, ob sie etwa konkret oder abstrakt, aktual oder fiktional usf. gemeint sind, muss sich für autonome Computer aus der Repräsentation selbst unmittelbar erschließen lassen. Das aber ist nur dann möglich, wenn autonome Computer die Ontologie zuvorderst als fundamentales, d.h. metaphysisches Weltmodell behandeln können. Eine integrierte Ontologiekonzeption wie die in Pkt. 3.5 erörterte *CYPO Vier-Welten-Ontologie* eröffnet samt ihrer Submodi dabei eine eindeutige Differenzierung sämtlicher Weltstrukturen des CPST-Hyperspace, an dem das Grubersche Ontologieverständnis scheitert. Mit dem Fokus auf Anwendungsontologien besitzt der Grubersche Ansatz einen deutlichen Schwerpunkt in technologischen resp. praktischen Ontologien, da er keine Grundlage für methodologisch einwandfreie *wissenschaftliche* Ontologien und entsprechende Referenzontologien darstellen kann. Mit seinem Fokus auf Anwendungsontologien kommt darüber hinaus jene Kritik ins Spiel, die wir in Pkt. 3.3.1 mit Verweis auf Menzel (2003) herausgearbeitet hatten: in der Tat geht auch die Grubersche Ontologie in Richtung Pragmatismus, Instrumentalismus und Konstruktivismus. Ihr Wahrmacher (Truthmaker) besteht mit Menzel (2003) in der *Glaubwürdigkeit* (fidelity) *der praxiskollaborativen Überzeugungen* (beliefs), worin nur in wenigen Fällen eine geeignete Basis für Referenzontologien bestehen kann. Für die Repräsentation von Sachverhalten, die etwa bei *wissenschaftlichen Ontologien* im Zeichen objektiven Wissens stehen, ist die Grubersche Konzeption hochproblematisch. Denn diese operiert neben dem fehlenden systematischen Realitätsbezug mit möglichen Welten, und kann dabei auch Fiktion oder Phantasiewelten zum Inhalt haben, ohne diese vom aktualen Modus sachgerecht zu trennen. In diesem Sinne kann eine solch defekte Ontologiekonzeption nicht systematisch auf existenzbezogene Aussagen im realen Sinne abzielen; mit Verweis auf den Empirismus Quines ist darauf hinzuweisen, dass der Grubersche (1993, 1995) Existenzbegriff nichts gemein hat mit dem an Quine angelegten Existenzbegriff in Mealys (1967) originärem Beitrag zur Ontologie der Informatik. Vor diesem Hintergrund kann die Grubersche Ontologiekonzeption auch keinen wissenschaftsadaquaten Wahrmacher (Truthmaker) aufbieten. Im Sinne von B. Smith (2008b) muss es sich bei Ontologien, die auf Basis der Gruberschen Ontologiekonzeption verfasst sind, zwangsläufig um *schlechte Ontologie* handeln, weil auf ihrer Grundlage allgemeinen Ausdrücken die Beziehung zu korrespondierenden Universalien in der Realität und dadurch auch zu korrespondierenden In-

stanzen fehlt.²²⁵⁹ Damit lässt sich die Qualität der Realitätsrepräsentation von Ontologien auf ihrer Basis entsprechend erst gar nicht überprüfen.

- xiii. An die Stelle der durch Popper gesehenen Superiorität eines systematisch realitätsbezogenen *objektiven Wissensbegriffs* rückt bei Gruber insgesamt ein *konstruktivistischer Wissensbegriff*; mit dem bei ihm erkennbaren Pragmatismus erinnert dieser gar an die *viablen Begriffsstrukturen* bei Glasersfeld (1992); Produkte der Reflexion und Deduktion müssen sich im Erfahrungsbereich lediglich als *viabel* erweisen, um als "Wahrheit" angesehen werden zu können. Das impliziert ein entsprechendes *Wahrheitskonzept*; die Wahrheit ontologisch repräsentierter Sachverhalte werden mit Gruber (2004) zu einem "*treaty*" bzw. "*social agreement*" verklärt, wie es insgesamt für Überzeugungs- oder Glaubensgemeinschaften kennzeichnend ist. Glasersfelds (1992) *viabile Begriffsstrukturen* lassen sich entsprechend im Konsens objektivieren, wobei es nicht unwahrscheinlich ist, dass mit diesem Konsens zu ontologisch repräsentierten Sachverhalten lediglich die jeweilige praxiskollaborative Gemeinschaft einverstanden ist. Ggf. läuft man Gefahr, dass solche im Konsens als "wahr" empfundenen Sachverhalte außerhalb der engen ontologischen Kollaboration weder nachvollzogen noch geteilt werden können, womit sich gleichzeitig das Problem von Fehlinterpretationen eröffnet. Mikas (2007) "*ontologies are us*", die deutlich im Zeichen Grubers stehen, bringen das Problem auf den Punkt. Denn in gängigen CPSS/MAS-basierten IoX-Szenarien wie dem *Internet of Vehicles* (IoV) muss ein solches Ontologieverständnis zwangsläufig scheitern. In solch einer epistemologischen Position besteht letztlich das Prinzip, das für subjektivistisch operierende *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) an sich kennzeichnend ist: es geht nicht um Wissen, sondern um *Überzeugungen*; es geht um Anwendungsontologien, nicht um Referenzontologien, die mit Menzel (2003) vollkommen anderer metaphysischer, epistemologischer und vor allem auch methodologischer Voraussetzungen bedürfen. – Alle Referenzontologie ist gänzlich anders akzentuiert, denn mit Verweis auf Pkt. 3.2.3 kommt es dabei auf präzises, intersubjektiv nachprüfbares Wissen an, das transdisziplinär teilbar ist. Das methodologische Vorgehen steht mit dem wissenschaftstheoretisch allgemein akzeptierten *Falsifikationismus* dabei außer Frage.
- xiv. Es ist kein Zufall, dass Wysuseks (2006b: 143) "*fairy ontology*" gerade explizit auf der Gruberschen Ontologiekonzeption aufbaut. Wenn Glasersfeld (1992) die Forderung aufgibt, dass Erkenntnis im Sinne objektiven Wissens »wahr« ist, es mithin eine objektive Wirklichkeit und deren Erschließbarkeit im metaphysischen resp. epistemologischen Sinne nicht gäbe, heißt das in der Konsequenz: alle ontologischen Projekte wissenschaftlicher Referenzontologien sind aufzu-

²²⁵⁹ Vgl. hierzu auch B. Smith (2004).

geben. Denn sie lassen sich mit den metaphysischen, epistemologischen und vor allem auch methodologischen Positionen des Konstruktivismus nicht vereinbaren. Solche konstruktivistischen Ontologiekonzeptionen helfen nicht nur nicht, das alles entscheidende *ontologische Inkommensurabilitätsproblem* zu lösen. Vielmehr ist zu konstatieren, dass sie dieses noch erheblich verschärfen.²²⁶⁰ Demgegenüber sind im Zeichen Cyber-physischer Systeme (CPS) *Scientific Ontologies* im Popperschen Sinne, also solche, die *methodologisch* geprüftes objektives Wissen repräsentieren, nicht nur problemlos möglich, sondern im Sinne globaler Intelligenz auch vorauszusetzen. Über die Kritik an Gruber hinausgehend gilt diese methodologische Kritik für die Informatik insgesamt. Denn ihr scheint weder die elementare Bewandnis von *Scientific Ontologies* klar zu sein noch der Umstand, dass diese nicht in der Variante von Smithens BFO-TLO sachgerecht gefasst sind. Denn Smithens *kognitionswissenschaftliches Prinzip der Veridikalität* weist auf sein phänomenologisches Ontologieverständnis im Sinne Husserls, wobei die Phänomenologie Husserls gerade explizit nicht als objektive Wissenschaft verstanden wird. Dass mit der Referenz auf die BFO-TLO etwa die wesentlichen *Open Biomedical Ontologies* (OBO) letztlich auf einem solch fragwürdigen *phänomenologischen*, und nicht auf einem eigentlich angezeigten *techno-wissenschaftlichen* Ontologieverständnis stehen, scheint den Beteiligten gar nicht klar zu sein. Damit ist seine Problematik unter Pkt. 5.6 näher herauszuarbeiten, indem sie nicht nur in der *Natur des Wissens* bzw. der fehlenden direkten Durchgängigkeit zu den Wissenschaften und Technologien gegeben ist, sondern auch darin, dass es ein Trugschluss ist, die AI-Disziplin bzw. ihre kognitiven *maschinellen* Agenten auf der phänomenologischen Tradition aufbauen lassen zu wollen, die tatsächlich genau auf die Bewußtseinsstrukturen *menschlicher* Agenten zielt. Vom Grundsatz her gilt diese Kritik genauso für den Gruberschen Ontologiegedanken, indem der linguistische Standpunkt genauso auf *menschliche* Agenten und im Sinne Wittgensteins auf ihre Denkstrukturen zielt.

- xv. Hochautomatisierte und autonome Systeme, wie sie im U-PLM-Kontext etwa für die Smart Factory oder für PEID-basierte Produkte kennzeichnend sind, verlangen ein vollkommen sicheres Schließen, das nur auf Basis einer TLO-referenzierenden explikativen Heavyweight-Ontologie möglich ist. Da die Grubersche Ontologiekonzeption dies nicht leistet, lässt sie sich auch nicht in solchen Systemen einsetzen, wenn diese sachgerecht zu konzipieren sind. Sie ist damit für die AI-Disziplin nicht wegweisend, was bereits für ANI-Intelligenz gilt, während sie für Superintelligenz völlig indiskutabel ist. Somit ist sie weder zukunfts offen noch investitionssicher.

²²⁶⁰ Vgl. dazu auch Seppälä/Hicks (2015: 179).

Insgesamt zeigt sich: der Grubersche Ansatz ist in seiner Funktion als allgemeingültiges Ontologiekonzept der Informatik im Allgemeinen wie für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Besonderen völlig unbrauchbar. Er ist darüber hinaus unter wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkten unhaltbar. Seine Funktion beschränkt sich auf einfache semantische Netze, die jedoch echten Ontologien entgegenstehen bzw. zu ihnen inkommensurabel sind. Die Informatik ist vor diesem Hintergrund insgesamt gut beraten, von linguistischen Ontologiekonzeptionen wie der Gruberschen Abstand zu nehmen. Denn auf ihrer Basis sind in integrierten Prozess- und Wissenssystemen schwerwiegende *ontologisch bedingte Fehlschlüsse* nicht auszuschließen, die ein entsprechendes Fehlverhalten AI-basierter Systeme wie CPS oder autonome Robotik implizieren. Ein solch technologisches Fehlverhalten besäße damit letztlich seine zentrale Ursache in nicht einwandfreien Konzepten der Informatik. – Allerdings ist bei dieser Kritik zu beachten, dass auch alle anderen bisher vorgelegten Ontologieansätze fehlerhaft sind. Bspw. scheitern umgekehrt *realistische* Ontologiekonzepte im Allgemeinen daran, dass sie über keinen dualen objektivistisch-subjektivistischen Ontologiemodus verfügen, was sie für den MAS-basierten CPS-Einsatz ebenso disqualifiziert. Realistische Ontologien können also nicht nur auf objektives Wissen, auf Referenzontologien im Sinne von *Scientific Ontologies* reduziert werden. Bei aller Kritik des Gruberschen Ontologieverständnisses darf nicht übersehen werden, dass auch ein subjektivistischer bzw. intersubjektivistischer Ontologiemodus notwendig ist: *epistemologische Ontologie* ist mit ihrer Subjektivität allein schon für eine MAS-adäquate Ontologie erforderlich. Für diese sind wiederum die tradierten realistischen Ontologiekonzeptionen, die allein auf objektives Wissen abzielen, unbrauchbar. Damit lässt sich die große Konfusion um den Ontologiebegriff und das Ontologiekonzept der Informatik nur über eine Strategie auflösen, die im nachfolgenden Pkt. 3.5 näher dargelegt wird: über eine *Mehrweltenontologie*, die zugleich eine *emergentistische Mehrebenenontologie* verkörpert, wie sie insbesondere im CPSS-Kontext von IoX-Umgebungen unverzichtbar ist.

Vor dem Hintergrund der fünfzehn elementaren Defekte der Gruberschen Ontologiekonzeption lassen sich nun in einem dritten Schritt die wesentlichen Unterschiede herausarbeiten, die zwischen der defekten Ontologiedefinition Grubers und der in Pkt. 3.5 umrissenen CYPO-Ontologiedefinition bestehen. Mit Gruber (1993: 199) gilt: »An *ontology* is an explicit specification of a conceptualization«, womit er die Ontologie auf eine *linguistische Konzeptualisierung*, d.h. auf *rein sprachliche Konstrukte*, fixiert. Wenn *Ontologien* demgegenüber im Zeichen der *Cyber-Physical Ontology* (CYPO) als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* definiert werden, zeigen sich CYPO-Ontologien im Hinblick auf drei elementare Aspekte vollständig anders konzipiert als Grubersche Ontologien: (i) *semantisch explizit spezifiziert* meint in der CYPO-Ontologiekonzeption, dass die Ontologie grundsätzlich im Sinne von *Heavyweight-Ontologien* zu verstehen ist, die wiederum mit Blick auf die fundamentalen Kategorien und verschiedene meta-ontologische Aspekte zwingend eine realistische TLO-Referenz implizieren. Mit Verweis auf

Pkt. 3.3.2 besteht der OE-Ansatzpunkt von CYPO-Ontologien zwingend in der *Top-level Ontologie*, von der sie *top-down* entwickelt werden. Im Unterschied dazu entsprechen Grubersche Ontologien insofern primär der nicht sachgerechten Idee der *Lightweight-Ontologie*, als diese TLO-Referenz mit ihrem linguistischen OE-Ansatzpunkt weder systematisch verankert noch überhaupt zwingend ist. Indem Grubersche Ontologien an *sprachlichen Konstrukten* orientiert sind, zeichnen sie sich im Sinne des linguistischen *Subjekt-Prädikat-Objekt-Schemas* durch eine allgemeine Objektorientierung aus. Die nicht vorhandene Ereigniszentrierung lässt sich auch nicht durch eine sprachliche Dynamisierung im Sinne von Davidson (1967) heilen,²²⁶¹ auch wenn mit den verschiedenen Beiträgen bei Higginbotham et al. (2000) oder etwa bei Tenny/Pustejovsky (2000) genau dies versucht wird. Dagegen steht die CYPO-Ontologiekonzeption mit ihrem Rekurs auf eine ereigniszentrierte metaphysische *Top-level Ontologie* in dieser grundsätzlichen Ereignis- resp. Prozesszentrierung, wie sie im Zeichen des *Complex Event Processing* (CEP) vorauszusetzen ist. Grubers deskriptive Metaphysik ist somit durch die revisionäre Metaphysik zu ersetzen, weil nur in einem revisionären System die Kategorien im Sinne des Ratio-Empirismus disponibel sind.

(ii) Jede *semantisch explizite Spezifikation* setzt in der CYPO-Ontologiekonzeption darüber hinaus eine konzeptuelle Spezifikation voraus, indem der Interdependenz von konzeptuellem und semantischem Modell Rechnung zu tragen ist. Beide Modelle werden in fundamentaler Hinsicht über die *Top-level Ontologie* gekoppelt, was mit der Doppelnatur des Ontologiebegriffs erforderlich, und mit der integrierten Ontologiekonzeption möglich ist. Die Instanzen der kategorial gefassten Klassen bestehen also immer zweifach, nämlich konzeptuell wie semantisch, indem jedes Weltmodell aller in Pkt. 3.5 abgegrenzten vier Welttypen diese Doppelnatur besitzt. Der Schnittpunkt zwischen konzeptuellem und semantischem Modell besteht im *Referenten*, wie er im Kontext des *semiotischen Dreiecks* in Pkt. 3.3.2 abgegrenzt wurde. Insofern liegen Ogden/Richards (1923) einerseits und Ullmann (1962) andererseits nicht richtig, indem erster den *Referenten* als rein linguistisches Charakteristikum erachten, während ihn zweiter dagegen genau umgekehrt zwingend jenseits der Linguistik sieht: »[T]he referent, the non-linguistic feature or event as such, clearly lies outside the linguist's province«. ²²⁶² In Wirklichkeit aber ist diese Ausschließlichkeit auf beiden Seiten falsch, indem der *Referent* einerseits Teil des *semiotischen Dreiecks* ist, andererseits jedoch das Element jener Diskurswelten (UoD) bildet, welche sich wiederum durch die metaphysische *Top-level Ontologie* fundamental bestimmt zeigen.

Der Referent weist also ebenfalls eine Doppelnatur auf, die für beide Seiten zwingend ist. Das gilt für die diskursweltliche resp. konzeptuelle Seite der Weltmodelle insofern von vornherein, als Ontologie ansonsten im Sinne einer *semantisch expliziten Spezifikation* nicht möglich wäre, weil diese immer die Klärung von Intension wie Extension voraus-

²²⁶¹ Vgl. dazu Fn. 2240.

²²⁶² Vgl. Ullmann (1962: 56 f.).

setzt. Umgekehrt gilt dies in Kritik von Ogden/Richards (1923) genauso für die linguistische Seite, als sich bereits der Begriffsumfang – wie in Pkt. 3.3.2 gezeigt – allein auf Grundlage der Elemente im Extensionsbereich bestimmen lässt. Dabei entspricht der Extensionsbereich nichts anderem als der Diskurswelt (UoD), die allerdings nicht notwendig real ist. Vielmehr ist mit Verweis auf Pkt. 3.2.2 zu beachten, dass es im neutralen UoD-Sinne ganz verschiedene Arten von Diskurswelten gibt, etwa auch solche, die als Fiktivmodelle einzustufen sind. Somit wird deutlich, dass der Extensionsbereich fiktionaler Begriffe wie "*Pegasus*" nur dann leer ist, wenn das Diskursuniversum im Sinne eines Realmodells auf die aktuelle Welt – nicht etwa auf mögliche Welten – bezogen ist. In einem Fiktivmodell muss dieser demgegenüber nicht zwingend leer sein; dennoch würde es dabei bleiben, dass es sich dann um einen fiktionalen Begriff handelte.

In diesem Sinne muss der primäre Modus des Extensionsbereichs bzw. der Diskursuniversen allein schon deshalb in *aktualen* resp. *Realwelten* bestehen, weil ansonsten eine *semantisch explizite Spezifikation* – und damit Ontologie – unmöglich wäre. Entsprechend sollte es sich auch bei der *Top-level Ontologie* um einen grundsätzlich *realistischen* TLO-Ansatz handeln, nicht etwa um einen linguistischen. Allerdings sollte dieser auch mögliche Welten eröffnen, damit er im UoD-Sinne als tatsächlich universaler Integrator fungieren kann. Insofern wird deutlich, dass die CYPO-Ontologiekonzeption der in Pkt. 3.2.4 betonten Notwendigkeit zur Konvergenz der CM- und AI-Ontologien entspricht, während dies bei der Gruberschen Variante nicht der Fall ist. Linguistische Konzepte und Konzeptualisierungen, die prinzipiell *völlig beliebiger Natur* sein können, sind für industrielle Anwendungen ungeeignet. Denn hier werden Welten rein von sprachlicher Warte ausgehend erbaut. In der integrierten CYPO-Ontologiekonzeption stehen demgegenüber konzeptuelle und semantische Modelle im Wechselspiel, so dass die Weltmodelle zunächst im Sinne *konzeptueller Modelle* mit Hilfe konzeptueller Modellierungssprachen faktenbasiert zu modellieren sind. Dabei hat die konzeptuelle Modellierungssprache mit Verweis auf Pkt. 3.2.2 dezidiert der jeweiligen *Top-level Ontologie* in ihrer Eigenschaft als Modellintegrator zu entsprechen; d.h. meta-ontologisch wie mit Blick auf die TLO-Kategorien.

(iii) *Formale Weltmodelle* zur Wissensrepräsentation stellen in der CYPO-Ontologiekonzeption im Zuge der *semantisch expliziten Spezifikation* eine *Wissensontologie* dar, womit die disparate *Natur des Wissens* relevant wird. Diese ist für das Grubersche Ontologieverständnis hingegen kaum von Interesse, wenngleich die AI-Ontologie im Allgemeinen vor allem auf die Wissensrepräsentation abzustellen hat. Gruber versucht seine Konzepte resp. Konzeptualisierungen vielmehr in *einen* logischen Raum zu zwingen, den er nicht nach unterschiedlichen Wissensarten und Wahrmachern differenziert. Diese Praxis muss gerade mit Blick auf komplexe verteilte Systeme oder Multiagentensysteme (MAS) fragwürdig erscheinen, indem die Gefahr besteht, dass subjektive Sachverhalte mit objektiven vermischt werden, wissenschaftliche Sachverhalte mit praktischen, aktuelle Sachverhalte mit möglichen usf. Indem Ontologien regelmäßig auf Teilung angelegt sind, besteht

darin offenbar eine verfehlte Praxis. Vielmehr erscheint es notwendig, die *Weltmodelle* analog der völlig disparaten Natur des Wissens in vier verschiedene, jedoch interdependente generische Welttypen zu differenzieren, während ihre Integration durch die Referenz auf eine tatsächlich *universalontologische* Top-level Ontologie sicherzustellen ist. Darin besteht die zentrale Idee des integrierten CYPO-Ontologiekonzepts, auf das wir im folgenden Pkt. 3.5 zurückkommen.

Ausgehend von der geklärten Frage einer allgemeingültigen *Ontologiedefinition* ist damit die Frage auf die weitere Konkretisierbarkeit einer allgemein voraussetzbaren *Ontologiekonzeption* zu richten. Es ist deutlich geworden, dass diese dem Erfordernis einer *Mehrweltenontologie* zu entsprechen hat, worauf jedoch keine der bisherigen Ontologiekonzeptionen der Informatik in sachgerechter Weise bzw. überhaupt abstellt. Im vierten Schritt ist zu zeigen, dass mit Chandrasekaran et al. (1999) zumindest allgemeine Akzeptanz bezüglich folgender neun grundlegenden ontologischen Prämissen besteht, bei denen es sich letztlich um *metaphysische* Prämissen handelt. Denn sie betreffen jene *Top-level Kategorien*, die sich auf die fundamentalen Strukturen cyber-physischer Welten beziehen und sich dabei mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 allein auf spekulativem Wege mittels metaphysischer Kategorienschemata gewinnen lassen. Diese sind entsprechend für sämtliche Weltmodelle voranzusetzen:

1. Es gibt *Objekte* in der Welt;
2. Objekte besitzen *Eigenschaften* oder *Attribute*, die *Werte* einnehmen können;
3. Objekte können in verschiedenen *Relationen* zueinander existieren;
4. Eigenschaften wie Relationen können sich über die *Zeit* verändern;
5. Es gibt *Ereignisse*, die zu unterschiedlichen *Zeitpunkten* auftreten;
6. Es gibt *Prozesse*, in die Objekte involviert sind, was über die *Zeit* auftritt;
7. Die Welt und ihre Objekte können sich in mannigfachen *Zuständen* befinden;
8. Ereignisse können andere Ereignisse oder Zustände als *Effekte verursachen*;
9. Objekte können *Teile* besitzen.²²⁶³

Auch wenn man im Großen und Ganzen tatsächlich eine solche Übereinstimmung wird konstatieren können, ist damit letztlich noch nicht viel gesagt. Das räumen auch Chandrasekaran et al. (1999) selbst ein, wenn sie im Kontext dieser Top-level Kategorien feststellen: »The organization of a *top-level ontology* contains a number of problems, similar to the problems that surround ontology in philosophy.«²²⁶⁴ Von einer solchen Einsicht von AI-Forschern, die gewiss richtig ist und letztlich auf einer Linie mit McCarthy (1995) oder Glymour/Ford/Hayes (2000) liegt, ist das defekte Ontologieverständnis Grubers weit entfernt, und nicht zuletzt deshalb ist es für die Klärung der Ontologieproblematik der Informatik völlig fehlleitend. Gleichzeitig offenbart sich auch hier indirekt das *TLO-Inkommensurabilitätsproblem*, und im Kontext ihrer TLO-Kategorien wird auch mit Chandrasekaran

²²⁶³ Vgl. Chandrasekaran et al. (1999: 22), Übers. des Verf.; Hvh. im Orig.

²²⁶⁴ Vgl. Chandrasekaran et al. (1999: 22), Hvh. des Verf.

et al. (1999) deutlich, dass nicht nur der zentrale Ansatzpunkt des *Ontology Engineering* in der *Top-level Ontologie* bestehen muss, sondern auch, dass dazu zunächst einmal eine adäquate *Top-level Ontologie* als Ausgangspunkt zu selektieren ist. Beide Forderungen sind eigentlich selbstverständlich, werden aber bislang wenig bis gar nicht praktiziert. Mit Chandrasekaran et al. (1999) zeigt sich jenseits ihrer komplett fehlenden philosophischen bzw. metaphysischen Grundlegung auch insofern die Unhaltbarkeit der Gruberschen Ontologiekonzeption, als diese weder auf eine *Theorie der Objekte*, noch überhaupt systematisch auf die genannten Top-level Kategorien abstellt. Mit anderen Worten geht sie selbst an dem oben dargestellten Konsens vorbei, jedenfalls insofern, als dieser für sie nicht wesentlich ist. Wenn mit der obigen Übereinstimmung an TLO-Kategorien noch nicht viel gesagt ist, betrifft dies zum einen die zahlreichen, im sechsten Teil diskutierten meta-ontologischen Aspekte. Zum anderen auch die genannten TLO-Kategorien an sich: Wenn von Objekten, Ereignissen und Prozessen die Rede ist, geht dies schon einmal über eine Reihe linguistischer Ansätze hinaus, die in ihrer objektzentrischen Weltsicht andere TLO-Kategorien vernachlässigen oder ganz ausblenden. Wie bereits ausgeführt, geht es jedoch vor allem um die Verhältnisbestimmung von *Objekt, Ereignis und Prozess*, bei der in der obigen Aufzählung Chandrasekarans et al. (1999) prinzipiell genauso hätte mit *Ereignissen* begonnen werden können, wie es der für die Informatik vorauszusetzenden evolutionären cyber-physischen Perspektive eher entspricht.

In diesem Sinne wird deutlich, dass nicht nur Chandrasekarans et al. (1999) TLO-Kategorien an sich metaphysischer Natur sind, sondern dass sich ihre Verhältnisbestimmung allein auf Grundlage dezidierter metaphysischer Theorien bestimmen lässt. Das gilt selbst für wissenschaftliche Metaphysiken, indem die Verhältnisbestimmung von *Objekt, Ereignis und Prozess* in der Bungeschen Ontologie eine ganz andere Konstellation aufweist als etwa bei der Whiteheadschen Ontologie, wie es im vierten und fünften Teil deutlich wird. Tatsächlich sagen Chandrasekarans et al. (1999) neun Punkte mit Verweis auf Pkt. 6.1.1 insofern nicht viel zur tatsächlichen Verfasstheit der Ontologie, als sie sowohl für Substanz- resp. Objektontologien als auch für Prozessontologien gelten. Sie gelten für 3D- wie für 4D-Objekte gleichermaßen, indem die für letztere konstituierende *vierte Dimension* unberücksichtigt bleibt. Indem offenbar die Verhältnisbestimmung von *Objekt, Ereignis und Prozess* entscheidend ist, zeigt sich die wesentliche Rolle der metaphysisch revisionären *Top-level Ontologie* einmal mehr. Denn tatsächlich sind neben den meta-ontologischen Aspekten vor allem auch Art und Struktur der Kategorien in den einzelnen TLO-Ansätzen grundverschieden: Chandrasekarans et al. (1999) neun Punkte stellen sich also in der BWW-TLO völlig anders dar als in der BFO-TLO, bei DOLCE, SUMO oder etwa bei der Sowa-TLO. Mit anderen Worten kann die obige Übereinstimmung gerade nicht darüber hinwegtäuschen, dass eine wesentliche Inkommensurabilität der TLO-Theorieanwärter existiert. Gleiches gilt für den Umstand, dass gerade mit Chandrasekarans et al. (1999) neun Punkten die metaphysische Debatte erst richtig losbricht.

Mit den neun grundlegenden, allgemein akzeptierten ontologischen Prämissen stehen zwei Sachverhalte außer Frage: erstens, dass sich die neun Punkte Chandrasekarans et al. (1999) im Zeichen der in Pkt. 4.1 behandelten wissenschaftlichen resp. techno-wissenschaftlichen Metaphysik im ratio-empirischen Sinne gesichert erweitern lassen. Diese Erweiterung ist sowohl für eine allgemeine Ontologie als auch in wissenschaftlicher und technologischer Hinsicht notwendig. Sie ist zu vollziehen, indem die Ontologie als *Theorie der Objekte resp. Ereignisse* in den Kontext eines *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigmas* gesetzt wird, wie es für die Objekt- und Ereignisbereiche der Informatik im Zeichen ihrer *Event Streams* sowie ihres zentralen CEP-Paradigmas grundlegend vorauszusetzen ist. Die *Top-level Ontologie* stellt nicht nur das Kategoriensystem, sondern begründet auch alle meta-ontologischen Aspekte. Damit hat sie auch etwa dazulegen, ob ihre Objekte im Zeichen eines *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigmas* stehen, oder ob sie etwa im Sinne selbstidentischer Wesenheiten statisch zu verstehen sind, wie es manche Ontologieansätze demgegenüber mehr oder weniger unterstellen. Natürlich ist die Voraussetzung oder Nichtvoraussetzung eines solch *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigmas* von elementarem Belang für die Natur der Objekte, insbesondere wenn es im Sinne dissipativer Strukturen auch disruptiven Wandel mit einbezieht. Die Diskussion der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist aus dem Grunde notwendig auf die Grundlage eines solch *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigmas* zu stellen, als bereits einzelne Teile der Informatik sowie mit Pkt. 4.2 die moderne Physik komplett in diesem Paradigma stehen. Entsprechend ist es auch für die Metaphysik der Informatik konstituierend, womit wiederum deutlich wird, dass die Metaphysik der Informatik allein in der Whiteheadschen Metaphysik bestehen kann, die in dieser Sache mit Verweis auf Pkt. 4.2 in der Tradition von Leibniz, Kant, Schelling sowie Hegel steht. Wie das *U-PLM-Referenzszenario* offenbart, wird analoges ganz praktisch unumgänglich, wenn U-PLM-Systeme wie im Ganzen die modernen Referenzmodelle zur *Enterprise Architecture* (EA) in elementarer Weise auf Lebenszykluskonzepten basieren, womit sämtliche PLM-Entitäten entsprechend in einem universal evolutiven wie cyber-physischen Sinne zu behandeln sind. Vor diesem Hintergrund werden im Anschluss an die in Pkt. 4.1 vollzogene Erörterung der grundsätzlichen Bedeutung eines *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigmas* für die Informatik in Pkt. 6.1.1 die neun ontologischen Prämissen Chandrasekarans et al. (1999) um eine zehnte ergänzt, die alle vorstehenden neun Prämissen prinzipiell in einen *evolutionär-cyber-physischen Kontext* setzt. In diesem Sinne eröffnet die zehnte Prämisse wiederum fünfzehn spezifisch evolutive Prämissen, die jenen Chandrasekarans et al. (1999) zur Seite gestellt werden. Alle fünfzehn Prämissen resultieren unmittelbar aus dem *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigma*, das für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* genauso unabdingbar ist wie für die Informatik insgesamt. Dabei bedeutet bereits seine Voraussetzung eine metaphysische Disposition im revisionären Sinne.

Zweitens gilt schon mit Blick auf die neun durch Chandrasekaran et al. (1999) genannten Punkte, dass zahlreiche mit ihnen unmittelbar zusammenhängende Aspekte notwendig zu klären sind, um eine tragfähige *Top-level Ontologie* gewährleisten zu können. Zu diesen gehören etwa folgende dreizehn objektbezogene Fragestellungen, denen im vierten, fünften und sechsten Teil nachzugehen ist: (i) die Frage der *Zusammensetzung komplexer Objekte* (Pkt. 4.5); (ii) die Frage der Behandlung von *Objekten als Engineering Artefakte* (Pkt. 4.6); (iii) das *Verhältnis von Objekt, Ereignis und Prozess* (Pkt. 6.1.1); (iv) die Debatte um *formale vs. materiale Objekte* (Pkt. 6.1.2); (v) die *Klassifikation vs. Kategorisierung von Objekten* (Pkt. 6.1.3); (vi) die *Frage naturalistischer Reduktion von Objekten, Ereignissen und Prozessen* (Pkt. 5.1); (vii) die *Fundierung von Objekten, Ereignissen und Prozessen durch verschiedenste philosophische Systeme* (Teil 5); (viii) *abstrakte vs. konkrete Objekte und Universalienstreit* (Pkt. 6.2.3); (ix) *aktuelle vs. mögliche Objekte* (Pkt. 6.2.4); (x) *3D- vs. 4D-Objekte* (Pkt. 6.2.5); (xi) die *erkenntnistheoretische Behandlung von Objekten* (Pkt. 6.2.6); (xii) die Frage der *Emergenz von Objekten* – und ihrer Evolution i.S.v. *Objektlebenszyklen* (Pkt. 6.2.7); (xiii) sowie die Frage nach *objektbezogenen Wahrmachern*, wie sie etwa in der *objektbasierten Korrespondenztheorie* bestehen (Pkt. 6.2.8).

Mit Blick auf die hier geführte Debatte um die Neudefinition eines CPSS- resp. IoX-adäquaten Ontologieverständnisses der Informatik ist mit Keet (2011: 321) vor allem eine Frage entscheidend. Ihre Beantwortung ist in Theorie und Praxis der Disziplin bisher höchst umstritten; mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wird sie zum einen neu eröffnet, zum anderen kann gerade dieses Referenzszenario die notwendige Orientierung geben, um sie sachgerecht zu beantworten: Es geht in einem fünften Schritt um die entscheidende Frage, ob *Top-level Ontologien* als unentbehrlich zu verstehen sind oder ob sie vielmehr eine praktisch kaum umsetzbare Bürde darstellen? Es ist diese Frage, um die sich bereits die Podiumsdiskussion der KR2002-Konferenz dreht, und die auch aktuell mit vollkommen konträren Positionen aufwartet,²²⁶⁵ die sich konkret auf folgende Ausgangsfrage beziehen:

»Upper level ontologies are envisioned by some as being a necessary first step for delivering the kind of interoperability that ontologies promise, and can also serve as a starting point when building a new domain-specific ontology. This yields a requirement for upper-level ontologies that they be as universal and as correct as possible; two goals that have thus far made the effort to develop them extremely expensive. Some claim the expense does not justify the perceived benefit, still others argue that upper-level ontologies are a pipe dream that can never be achieved. The purpose of this panel will be to debate this issue.«²²⁶⁶

Tatsächlich ist diese alles entscheidende Ausgangsfrage alles andere als geklärt, wenn etwa Guarino in dieser KR2002-Debatte eine unmissverständliche Pro-Position bezieht, nach der die *Top-level Ontologie* unentbehrlich ist, während andere wie J.A. Hendler genauso überzeugt eine Contra-Position vertreten,²²⁶⁷ nach der *Top-level Ontologien* eine praktisch kaum umsetzbare Bürde darstellen. In dieser Kontroverse sind jedoch die Per-

²²⁶⁵ Vgl. Welty (2002a, 2002b).

²²⁶⁶ Vgl. Welty (2002a: 632).

²²⁶⁷ Vgl. Welty (2002a, 2002b).

spektiven völlig unterschiedlich, die zu diesen beiden Positionen führen. Entsprechend lässt sich diese Debatte erst sachgerecht auflösen, wenn die disparaten Perspektiven und damit zusammenhängenden Argumente verstanden sind. Guarinos Pro-Position ist vor dem Hintergrund seines ODIS-Ansatzes und damit der kombinierten CM- und AI-Sphäre zu sehen. Guarinos Sichtweise ist somit der Perspektive *semantischer Systemintegration* verpflichtet, wie sie gerade im Rahmen der *Smart Enterprise Integration* (SEI) einzunehmen ist. Diese Perspektive ist auf die Applikationswelt fixiert, auf integrierte Informations- und Wissenssysteme (PLMS, BPMS usw.), die im Sinne des *Enterprise Engineering* aktiv zu entwickeln sind. Die semantische Systemintegration zielt dabei auf eine vollumfängliche semantische Interoperabilität, auf die sich im Sinne von Produktions-, Transformations- oder Wertschöpfungssystemen im Zeichen des *Enterprise Engineerings* aktiv einwirken lässt. Selbst wenn solche Systeme ihre Systemgrenzen entsprechend des vertikalen SCM-Gedankens oder des horizontalen bzw. lateralen CEE-Gedankens im organisationsübergreifenden Sinne weit definieren, stehen sie regelmäßig im Wechselspiel mit einer vergleichsweise geringen Zahl an Entscheidern, die sich vergleichsweise problemlos auf ontologische Verpflichtungen einigen können. Dabei spielen auch branchenbezogene Verbände bzw. Ausschüsse eine wichtige Rolle. Entsprechend spielen primär Interoperabilitäts- bzw. Integrationsstandards eine Rolle, die seit jeher solche ODIS-Kontexte bestimmen. Das sind etwa OMG-Standards, bspw. im Rahmen der konzeptuellen Modellierung UML oder BPMN, im Zuge von Business Rules und Ontologien etwa SBVR, oder im Kontext der Architektur die MDA. Hinzu kommt eine Reihe damit unmittelbar verknüpfter weiterer OMG-Standards, angefangen vom *Business Motivation Model* (BMM),²²⁶⁸ über das *Decision Model and Notation* (DMN),²²⁶⁹ bis hin zur *Production Rule Representation* (PRR).²²⁷⁰ Diese sind in Abhängigkeit des jeweilig gewählten TLO-Theorieanwärters zu modernisieren bzw. vollständig zu erneuern.

Hendlers bzw. Berners-Lees Contra-Position steht demgegenüber in einem gänzlich anderen ontologischen Anwendungszusammenhang. Denn bei ihnen geht es weder um die CM- noch um die AI-Sphäre im klassischen Sinne, sondern um eine dritte Einsatzsphäre, die mehr und mehr an Bedeutung gewinnt, nämlich das *Semantic Web* (SW). Ungeachtet dessen, dass Berners-Lee (1989) nicht nur die Web-Grundlagen entwickelt, sondern zehn Jahre später auch die Vision des *Semantic Web*,²²⁷¹ ist sein darauf fußendes Ontologieverständnis nicht hinreichend. Hier rücken SW-Ontologien in den Vordergrund, indem diese in der Tat die grundlegende Infrastruktur für das *Semantic Web* bilden.²²⁷² Allerdings vertreten Berners-Lee/Hendler/Lassila (2002) sowie Hendler (2009) dabei, wie im ersten Teil erwähnt, ein Lightweight-Ontologieverständnis:

²²⁶⁸ Vgl. OMG (2010).

²²⁶⁹ Vgl. OMG (2016).

²²⁷⁰ Vgl. OMG (2009b).

²²⁷¹ Vgl. Berners-Lee (1999).

²²⁷² Vgl. auch Mika/Oberle et al. (2004: 563).

3. Diskurs genuiner Grundfragen der Ontologie komplexer IoX-Systeme

»A program that wants to compare or combine information across [...] two databases has to know that [...] two terms are being used to mean the same thing. Ideally, the program must have a way to discover such common meanings for whatever databases it encounters. A solution to this problem is provided by the third basic component of the Semantic Web, collections of information called ontologies.«²²⁷³

Dabei haben Hendler/Berners-Lee (2010) allerdings nicht mehr als eine WWW-Semantik für Alltagswissen im Blick, wengleich im Unterschied zum ursprünglichen Gedanken des *Semantic Web* dieses nunmehr in den Kontext *Artifizieller Intelligenz* gerückt wird:

»Rather than focusing on the challenges of creating large and expressive ontologies by specialized knowledge experts, the large scale social mechanisms we envision require that we must instead figure out how we can maximally break down the task of turning messy human knowledge into a shared information space that is useful to everyone.«²²⁷⁴

Der Anspruch Hendler/Berners-Lees (2010) steht damit jenseits des IoX-Hyperspace:

»Making the different ontological commitments of competing interpretations explicit, and linked together, can permit different views of data to be simultaneously developed and explored. Current work in ontologies developed for the Semantic Web provides a starting place for providing explicit conceptualization, but these techniques must be extended to incorporate techniques that will better allow user communities to identify the biases of different analyses and to explicate and share these varying interpretations. This work would also include interface work in making it possible to develop and link the vocabularies, tie these to the analyses of data descriptions, and explore how the data would be interpreted based on alternate communities' approaches.«²²⁷⁵

Das Ontologieverständnis bei Hendler/Berners-Lee (2010) erweiterten *Semantic Web* basiert also durch und durch auf der deskriptiven Metaphysik und erinnert dabei stark an Wittgenstein II, der genauso etwa für Sowa (1991c) *Semantic Networks* prägend ist. Allerdings entpuppt es sich bereits mit Blick auf einen transdisziplinären Zugang zu den *Semantic E-Sciences* als Fehlkonzeption, was auch daran deutlich wird, dass es sich um ein *interpretativ-interaktionistisches* Ontologieverständnis handelt: »It is the capability for different scientists to interpret the same data in different ways that provides for the argumentation and testing so crucial to scientific discourse«.²²⁷⁶ Auf seiner Basis lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem nicht nur nicht lösen; vielmehr wird es durch sie noch erheblich verschärft. Mit dem in Pkt. 1.1 erwähnten *Social Internet of Things* (SIoT) bzw. *Internet of Social Things* ist es gewiss richtig, mit Hendler/Berners-Lee (2010) *Social Machines* als konstitutive Momente der weiteren Web-Entwicklung zu erachten. Allerdings steht genauso wenig in Frage, dass Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* zu verstehen sind, die zwar für lokal unterschiedlich erfahrene Agenten subjektive bzw. intersubjektive Weltansichten zulassen müssen, jedoch gleichzeitig im Ganzen der Cyber-Physik einen objektivistischen *"general world view"* genauso einfordern. Zusammenbringen lassen sich diese verschiedenen Momente erst dann, wenn man die Ontologie als integrierte Ontologiekonzeption entwickelt, wie es in Pkt. 3.5 mit CYPO FOX vollzogen wird.

Die ODIS-Integrationerfordernisse stellen sich hier in dieser Weise nicht, da SW-Kontexte klassischerweise nicht auf eine systemisch abgegrenzte Applikationswelt zielen. Zwar geht es auch im klassischen SW-Kontext um komplexe Systeme, jedoch um eine

²²⁷³ Berners-Lee/Hendler/Lassila (2002: 27).

²²⁷⁴ Hendler/Berners-Lee (2010: 158).

²²⁷⁵ Hendler/Berners-Lee (2010: 158 f.).

²²⁷⁶ Vgl. Hendler/Berners-Lee (2010: 159).

andere Systemklasse, nämlich um das *World Wide Web* (WWW), das in seiner jüngeren Eigenart als *Semantic Web* (SW) von Interesse ist. Damit geht es um ein System, das nicht nur im Unterschied zu ODIS *öffentlich* und nicht *privat* ist, sondern dessen Entwicklung sich nur begrenzt aktiv steuern lässt, indem diese selbstorganisatorisch, mithin chaotisch verläuft. In diesem Sinne beschränken sich die Integrationsbemühungen vor allem auf die Gewährleistung semantischer Interoperabilität. Demnach spielen die OMG-Standards der klassischen CM- resp. AI-Sphären, wie sie für ODIS-Welten wesentlich sind, in der klassischen SW-Sphäre keine unmittelbare Rolle. Vielmehr wird das Semantic Web (SW) und entsprechende SW-Technologien (SWT) durch W3C-Standards resp. -Empfehlungen dominiert,²²⁷⁷ wie sie sich etwa mit XML, RDF oder OWL darstellen.

In der klassischen SW-Sphäre spielen *Top-level Ontologien* aus den verschiedensten Gründen keine Rolle; sie werden hier als praktisch kaum umsetzbare Bürde erachtet. Diese ist zum einen darin zu sehen, dass nicht nur Sinn und Zweck der *Top-level Ontologie* für manche WWW-Nutzer schwierig vermittelbar ist, sondern dass diesen auch die Grundlagen für deren sachgerechte Anwendung fehlen. Später sind die Vorbehalte von Berners-Lee et al. gegenüber der *Top-level Ontologie* nach wie vor nicht inhaltlicher Art, sondern begründen sich damit, dass sie für die Normalnutzer zu komplex bzw. beängstigend seien.²²⁷⁸ Wie bereits ausgeführt, relativieren sich diese Argumente jedoch bereits mit der W3C *SSN Sensor Ontology*, die auf DOLCE+DnS Ultralight (DUL) als TLO-Ansatz referenziert. Genauso lässt sich aus Berners-Lees Gedanken des "*Philosophical Engineering*" das Erfordernis eines philosophischen Ontologiebegriffs ableiten, womit sich die oben zitierte Position Chandrasekarans et al. (1999: 22) umdrehen lässt, wonach die philosophische Ontologie eine Vielzahl an Problemen beinhaltet, die sich ähnlich bei der *Top-level Ontologie* der Informatik stellen. Somit läuft Ontologie in Berners-Lees "*Philosophical Engineering*" gewissermaßen auf die Voraussetzung der *Top-level Ontologie* hinaus. Zum anderen besteht das Problem einer entsprechend weitreichenden *ontologischen Verpflichtung*, die durch eine Vielzahl von Beteiligten einzugehen wäre. Diese Vorbehalte stehen in klassischen WWW-Kontexten insofern einem begrenzten Nutzen gegenüber, als im Rahmen der Kommunikation von Websites *Lightweight-Ontologien* in vielen Fällen ausreichen, während es hier keine unmittelbar sicherheitskritischen Prozesse im U-PLM-Sinne gibt. Allenfalls bei der WWW-Repräsentation wissenschaftlicher Sachverhalte, wie sie Gegenstand von Smithens *Scientific Ontologies* sind, wird der Einsatz von *Top-level Ontologien* zu einer maßgeblichen Option. Dass sich in diesem Zusammenhang der Rückgriff auf Top-level Ontologien anbietet, zeigt bereits der Fall der *Upper Cyc Ontology* (UCO).

²²⁷⁷ Im Gegensatz zu staatlichen bzw. überstaatlichen Institutionen wie CEN, ANSI oder ISO kann bei Organisationen bzw. Konsortien wie der OMG, bei OASIS oder beim W3C nur bedingt von *Standards* gesprochen werden; entsprechend spricht das W3C offiziell von *Empfehlungen*; diese nehmen aber oftmals, etwa bei OWL, die Rolle von *Quasi-Standards* ein. In diesem Sinne ist der *Standard* bei OASIS Teil des Akronyms, darüber hinaus bildet er hier ("Advancing Open Standards for the Information Society") wie bei der OMG ("We Set the Standard") die Devise.

²²⁷⁸ Vgl. Berners-Lee/Hall et al. (2006a: 74) bzw. Fn. 206.

Dabei ist zu unterstreichen, dass das Cyc-Projekt lediglich auf die WWW-Repräsentation von *Alltagswissen* (Common Sense Knowledge) abzielt, während das Problem der Präzision bzw. Exaktheit insbesondere bei der WWW-Repräsentation *wissenschaftlichen Wissens* und seiner technologischen Nutzung entsteht.

Mit dem *Smart Web* (Web 4.0) verschiebt sich die Frage, ob eine *globale Top-level Ontologie* speziell im *Semantic Web* (Web 3.0) ein Mythos bleiben muss, vollends. Tatsächlich ist zu konstatieren, dass Hendlers Contra-Position in gleich doppelter Hinsicht hinfällig wird: Zum einen ist darauf zu verweisen, dass mit dem *Smart Web* das WWW über das *Semantic Web* (SW) hinausgehend zum *Internet der Dinge* (IoT) avanciert. Damit kommt es nicht nur zu einer Verschmelzung der SW- und AI-Sphäre, die bei intelligenten Lösungen alle Facetten der AI-Ontologie, insbesondere auch ihre umfassende TLO-Fundierung, berührt. Vielmehr gelangt mit ihm eine vollständig neue Problematik ins Spiel, die kurzgefasst darauf hinausläuft, dass Ontologien in IoT-Umgebungen bzw. im CPST-Hyperspace das Kriterium der *CPSS-Adäquanz* zu erfüllen haben: Die Ontologiekonzeption hat also zwingend den verschiedensten Anforderungen Cyber-physischer Systeme (CPS) gerecht zu werden, nicht zuletzt auch jenen sicherheitskritischen Belangen, die es mit der IoT-Einbettung physischer Objekte besonders zu beachten gilt. Um ein Beispiel zu bemühen: CPS zeichnen sich durch Sensoren aus, die wiederum in IoX-Umgebungen TLO-referenzierende Sensorontologien erfordern, für die Standardempfehlungen abzugeben sind. Es überrascht nicht, wenn dazu mittlerweile entsprechende TLO-referenzierende W3C-Standardempfehlungen existieren, womit sich Hendlers Contra-Position offensichtlich insofern revidiert, als sich die diesbezügliche W3C Empfehlung mit DOLCE+DnS Ultralight (DUL) auf einen spezifischen TLO-Ansatz erstreckt. Zum anderen ist auf die zunehmende Konvergenz zu verweisen, die zwischen ODIS- und SW-Welten insofern festzustellen ist, als SW-Technologien inzwischen mit zur technischen Basis von ODIS-Welten zu rechnen sind.²²⁷⁹ Das gilt für das *Smart Enterprise* im Allgemeinen, wie für die *Smart Factory* im Besonderen. In diesem zweiten Fall führt dies ebenfalls dazu, dass SW-Technologien auf den TLO-Kontext zu beziehen sind, was auch problemlos möglich ist.

Allemang/Hendler (2011: 279 ff.) nennen drei Beispiele für etablierte Ontologien im Semantic Web: (i) die vergleichsweise einfach gehaltene E-Commerce Lightweight-Ontologie *GoodRelations* (GR), (ii) die *Quantities, Units, Dimensions and Types* (QUDT) Ontologie, die auf physikalische Größen, Einheiten und ihre Abmessungen in verschiedenen Messsystemen in Wissenschaft und Engineering abstellt, sowie (iii) die *Open Biomedical Ontologies* (OBO). Mit letzten wird nicht nur deutlich, dass *Top-level Ontologien* auch im *Semantic Web* eine zentrale Rolle spielen,²²⁸⁰ sondern vielmehr, dass es ein Irrtum ist, wenn

²²⁷⁹ Vgl. exemplarisch Price/Bodington (2004).

²²⁸⁰ Demgegenüber ist die TLO-Referenz im *Smart Web* als *Web 4.0* automatisch gesetzt, und das nicht nur mit der *SmartWeb Integrated Ontology* bei Oberle et al. (2007), sondern mit Blick auf die verschiedensten integrativen Momente, etwa der Middleware, der ontologiebasierten Anwendungsintegration oder der

Hendler (2002) die klassischen KR-Zielsetzungen in Frage stellt. Denn in Wirklichkeit scheitert Hendler/Van Harmelens (2008) Versuch des *Webizing Knowledge Representation* gerade daran, dass es sich auf Basis von *Lightweight-Ontologien* vollzieht. Hendler et al. übersehen bereits mit der OBO-Foundry, dass es auch im *Semantic Web* (Web 3.0) um umfassende Aspekte exakter Realitätsrepräsentation geht, weshalb die *Scientific Ontologies* der OBO-Foundry nicht umsonst ihre TLO-Referenz in der BFO-TLO suchen.²²⁸¹ Damit zeigt dieser Fall, dass Ontologie bereits im Fall des *Semantic Web* im Sinne explikativer *Heavyweight-Ontologie* zu verstehen ist, was im Grunde für sämtliche *Semantic E-Sciences* gilt. Das gilt genauso in einem anderen Fall, nämlich bzgl. des Einsatzes von *Semantic Web Technologie* (SWT) im Bereich von *Manufacturing Ontologies* der *Smart Factory*. Bereits Ray (2002) fordert, dass die industrielle Fertigung neuer, SWT-Interoperabilitätsstandards bedarf, die wiederum insgesamt geeignete ontologische Architekturen einfordern. Bei L.F. Lin et al. (2011) kommen diese parallel auf Basis von UML/OCL einerseits und OWL/SWRL andererseits zum Einsatz. Indem sich die semantische Integration auch im ODIS-Fall auf SWT-Basis vollzieht,²²⁸² wie es im PLMS-Sinne auch im Fall des U-PLM-Referenzszenarios zutreffend ist, kann nicht länger von einem inferioren Ontologieverständnis auf Basis einfachster Alltagsrationalität ausgegangen werden. Kurzum: zwar lassen die ontologischen Anwendungen im Web 3.0 gemeinhin eine weitaus größere Fehlertoleranz zu als dies im Web 4.0 akzeptabel ist, dennoch ist bereits für erstes mit Guarino (1997a) und anderen eine systematische TLO-Referenz einzufordern. Das gilt auch in anderer Hinsicht, etwa wenn die Analyse von SW-Sprachen wie OWL auf Basis der BWW-TLO vollzogen wird,²²⁸³ selbst wenn sich damit zunächst einmal die Frage nach dem richtigen TLO-Theorieanwärter stellt.

Hendlers bzw. Berners-Lees Contra-Position bezieht sich also auf einfache *Semantic Web Szenarien*, nicht aber auf komplexe *integrierte Smart Web Szenarien*, die sich jedoch im gleichen Web abspielen und dabei zunehmend auf SW-Technologien gründen. Sie bezieht sich also nicht auf die ontologischen Herausforderungen, die sich mit Computern als "*Reality Machines*" auf IoX-Basis stellen. Allerdings machen erst die RTE-bezogenen integrierten Ontologieszenarien im *Smart Web* deutlich, dass Ontologie nicht zu verwechseln ist mit Taxonomie, was genaugenommen auch nicht Berners-Lees (1999) Vision entspricht: sie passt nicht zu seinem Ontologieverständnis, wie es im Kontext der Strukturwissenschaften am Ende von Pkt. 6.1.2 deutlich wird. In *integrierten Smart Web Szenarien* ist Ontologie an sich nicht auf einen einfachen Katalog von Objekten reduzierbar;²²⁸⁴ vielmehr liegt der eigentliche ontologische Schlüssel von Berners-Lees (1999) *Weaving the Web* im

integrativen Steuerung der *Smart Factory*, vgl. hierzu etwa Cimiano (2004), Oberle (2006), Mezgár/Kincses (2007), Janzen/Maass (2008), Paulheim (2011), Ye et al. (2011) oder Legat/Seitz et al. (2014).

²²⁸¹ Zwar ist Smithens BFO in ihrer Realitätsorientierung um Längen besser als Grubers linguistisches Ontologieverständnis, jedoch wird sie dem *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigma* nicht gerecht.

²²⁸² Vgl. etwa Zhang/Yin (2008).

²²⁸³ Vgl. Bera/Wand (2004).

²²⁸⁴ Vgl. auch Poli (1996).

Sinne *komplexer Systeme* in der *cyber-physischen Ereigniskategorie* und nicht – wie von ihm angenommen – in Grubers linguistischen Objekten.

Nahezu für alle Systeme der Informatik gilt, dass sie AI-Bestandteile besitzen; damit liegt der eigentliche Kulminationspunkt der Informatik weder in Daten noch in Informationen, sondern im Wissen. Diese These ist gerade auch mit Blick auf die Weiterentwicklung des WWW-Konzepts zum *Smart Web* von Relevanz. Insofern hängt die Frage der Bedeutung und Rolle der *Top-level Ontologie* nicht nur von technologischen Erwägungen, sondern nicht zuletzt von der gänzlich disparaten *Natur des Wissens* und seiner Integration ab. Mit der Intelligenz des *Smart Web* geht es bei nahezu allen Systemen der Informatik um die *Einheit des Wissens*, insbesondere auch im Hinblick auf seine beliebige wie insgesamte semantische Verknüpfbarkeit nach Maßgabe vollständig integrierter Ontologien. Demgegenüber stellt der Aufbau desintegrierter, letztlich inkompatibler Ontologien insofern ein problematisches Unterfangen dar, als es mit dem *Smart Web* nicht nur um *Intelligenz* an sich geht, sondern im Sinne einer Aufschaltung beliebiger Ontologien um *verknüpfte Intelligenz*, die dadurch entsteht, dass *ad hoc* beliebige Wissensressourcen heterogener Quellen miteinander kombinierbar werden. Die Medizintechnik etwa als eine der PLM-Schwerpunktindustrien bedarf etwa naturwissenschaftlicher Grundlagen, die mit der "*New Physics*", "*New Chemistry*" oder "*New Biology*" in Pkt. 4.2 nicht nur in ihrer Grundlegung durchweg den Standpunkten der Komplexitätsforschung entsprechen und dabei den Stand naturwissenschaftlicher Forschung verkörpern, sondern vor allem auch in fundamental-metaphysischer wie inhaltlicher Hinsicht unmittelbar kompatibel sind. Indem die Medizintechnik dabei mehr und mehr durch AI-Aspekte dominiert wird, stellt diese semantische Verknüpfbarkeit vollständig integrierter Ontologien eines der grundsätzlichen Postulate für die Ontologiedebatte im Allgemeinen und für das Referenzszenario im Speziellen dar. Es steht außer Frage, dass sich eine solche *verknüpfte Intelligenz* allein um die *Top-level Ontologie* zentrieren kann. Insofern muss auch das Ontologieverständnis durch die technologisch-systembezogene Problematik der *Einheit des Wissens* akzentuiert sein, wobei im Sinne expressiver Ontologien gerade das präzise, objektive Wissen notwendig in den Mittelpunkt rückt. Allerdings ist die Informatik von einem solch *wissenszentrierten Ontologieverständnis*, das an der *Natur und Einheit des Wissens* ansetzt, in Theorie wie Praxis weit entfernt. Das liegt nicht zuletzt am verfehlten Gruberschen *linguistischen Ontologieverständnis*, bei dem nicht etwa der Wissensaspekt, sondern vielmehr Kommunikationsprozesse und somit die bloße Spezifikation zugehöriger Vokabularien in den Vordergrund gerückt werden. Das aber wird weder den tatsächlichen Problemen noch den eigentlichen Potentialen der AI-Disziplin in keiner Weise gerecht.

Demgegenüber hat De Pryck (1993) vor dem Hintergrund des Komplexitätsmoments und der darauf bezogenen *Einheit des Wissens* bereits aufgezeigt, dass das entscheidende Merkmal für ein sachgerechtes Ontologieverständnis gerade in seiner *Interdisziplinarität* besteht. Mit einer solchen *interdisziplinären Ontologie* ist weniger gemeint, dass sich diese

interdisziplinär anwenden lässt, sondern vielmehr, dass sie den *automatisierten Vollzug von Interdisziplinarität* im Sinne der *Einheit des Wissens* erst ermöglicht. De Pryck (1993) stellt dazu richtig auf den grundlegenden Unterschied zwischen der problematischen Multidisziplinarität und der von ihm favorisierten Interdisziplinarität ab. Allerdings wird im Zeichen der *universalen Ontologie* der TLO-Konzeption deutlich, dass auch eine *Interdisziplinarität* für das Ontologieverständnis der Informatik nicht der Weisheit letzter Schluss sein kann. Vielmehr zielt die Idee der *Top-level Ontologie* gerade darauf, dass sie sämtliche Disziplinen, Domänen oder Diskursuniversen gewissermaßen von außen transzendiert. Somit kann die Neudefinition eines CPSS- resp. IoX-adäquaten Ontologieverständnisses der Informatik mit Verweis auf die Ausführungen unter Pkt. 1.2 weder auf Multidisziplinarität, noch auf Pluri-, Quer- oder auf Interdisziplinarität abstellen. Vielmehr kann die Lösung des Ontologieproblems allein in der *Transdisziplinarität* bestehen. Die *Superintelligenz* der dritten AI-Generation ist mit Verweis auf Pkt. 6.3 nur dann zu erreichen, wenn eine echte Durchgängigkeit sämtlicher wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien tatsächlich umsetzbar wird; sich also das repräsentierte Wissen prinzipiell aller Bereiche und Disziplinen *ad hoc* flexibel kombinieren lässt.

Komplexe Produkte PLM-relevanter Industrien wie der Medizintechnik stehen im Allgemeinen in einem solch transdisziplinären Kontext, indem technologische Verfahren nicht nur regelmäßig einen umfassenden naturwissenschaftlichen Hintergrund besitzen. Vielmehr eröffnet sich im Zeichen der Patentierung genauso eine juristische Dimension, aber auch etwa eine strategische, eine ökonomische oder eine ökologische. Ontologisch bedingte Wettbewerbsvorteile lassen sich im U-PLM-Kontext nicht nur über eine durchgängige semantische Interoperabilität zur Prozesssteuerung erzielen, nicht nur durch umfassende Prozessintelligenz, sondern im Sinne von *Wissen als strategischer Faktor* auch gerade durch die beliebige Kombination solcher Wissensdomänen, die für Innovationsprozesse maßgeblich sind. Somit entscheidet die Qualität der *Top-level Ontologie* letztlich darüber, inwiefern es gelingt, einen transdisziplinären Wissensaustausch sicherstellen zu können. Ein simples Beispiel dazu besteht in der *QUDT-Ontologie* (Quantities, Units, Dimensions and Types), die auf physikalische Größen, Einheiten und ihre Abmessungen in verschiedenen Messsystemen in Wissenschaft und Engineering abstellt. Diese ist etwa für die Physik genauso von Relevanz wie für die Ingenieurwissenschaften, für die patentanwaltliche Praxis gleichermaßen nutzbar wie für praktische Prozess- oder Produktontologien. Analoges gilt etwa für chemische, biologische und biomedizinische Ontologien in Kombination mit medizintechnischen Ontologien einerseits, oder für deren Verkopplung mit physikalischen sowie ingenieurwissenschaftlichen Ontologien im Zuge der Produktentwicklung. Letztere stehen wiederum im Zeichen von Prozess-, Produkt- und Ressourcenontologien und damit insgesamt in jenem der *Enterprise Ontology* als Kernontologie.

Darüber hinaus gilt auch hier, dass die gleichen physikalischen Größen, Einheiten und Abmessungen sowohl für den ontologischen Kontext des Patentrechts als auch etwa im

Risikomanagement solcher komplexen Produkte von Relevanz sind, das wiederum auf den Domänen-, Methoden- und Aufgabenontologien von Expertensystemen (ES) gründet. Damit ist offensichtlich, dass eine *transdisziplinäre* AI-Ontologiekonzeption anzustreben ist, die allein über eine rigorose TLO-Referenz realisiert werden kann. Somit ist der *Top-level Ontologie* in der AI-Sphäre ein völlig anderer Stellenwert einzuräumen als es heute gemeinhin der Fall ist. Analog dazu erfordern alle in technologische Verfahren involvierte Komponenten in ihrer ontologischen Repräsentation eine mereologische Fundierung wie eine transdisziplinäre Kategorisierung: Es gibt eigentlich keine in sich isolierten Diskursuniversen, sondern nur vernetzte. Schon Hirschheim et al. (1995) haben exemplarisch in allen Einzelheiten in Form der philosophischen Grundlagen der Datenmodellierung dargelegt, dass diese in nahezu sämtlichen Bereichen eine explizite ontologische, epistemologische und methodologische Grundlegung erfordern. Was für die Datenmodellierung vorauszusetzen ist, gilt erst recht mit Blick auf die Wissensmodellierung, wobei beides im Sinne der HLIF-Informationsfusion im Zeichen integrierter PLC-Zyklen zusammenspielen hat.

Während das Ontologieverständnis von Berners-Lee (1999) bzw. Berners-Lee/Hendler/Lassila (2002) nicht haltbar ist, haben andere den erforderlichen Wandel bereits vollzogen. Für Huhns/Singh (1997: 81), die SOA-basierte MAS-Kontexte adressieren, gilt: »An ontology is a computational model of some portion of the world«. Dabei vertreten Huhns/Stephens (2002) zunächst ganz auf der Linie von Berners-Lee bzw. Hendler die Position einer automatisch generierten *consensus ontology*, die an Stelle einer *global ontology* bzw. der TLO-Referenz treten soll. Allerdings steht außer Frage, dass eine solche Strategie für komplexe bzw. diffizile ontologische Anwendungs- bzw. Integrationsszenarien mit Blick auf die Präzision und Stabilität kritischer Prozesse und damit auch insgesamt völlig verfehlt ist. Demgegenüber hat sich die Position bei Huhns et al. (2010) offenbar grundlegend geändert, indem diese nunmehr eine Referenz auf die SUMO-TLO vollziehen und diesbezüglich feststellen, »that we can take advantage of SUMO's existing description of general knowledge of the world«. ²²⁸⁵ Mit Huhns et al. wie mit anderen bereits erwähnten Fällen wird greifbar, wie sehr die Informatik auf der Suche nach einer Lösung ihrer Ontologieproblematik ist, und wie sehr ihr die Orientierung dabei fehlt. Zwar haben Huhns et al. erkannt, dass die Lösung im Zeichen globaler Intelligenz allein über die *Top-level Ontologie* führen kann; indes ist damit weder das TLO-Inkommensurabilitätsproblem gelöst noch haben sie mit der SUMO-TLO einen CPS-adäquaten TLO-Theorieanwärter identifiziert.

Zur Verdeutlichung des Umstands, dass die Ontologieproblematik der Informatik auch keinesfalls einfach auflösbar ist, wurde mit Pkt. 1.5 ff. das *U-PLM-Referenzszenario* entwickelt, indem mit ihm deutlich wird, dass völlig disparate Ontologiezwecke in einem einheitlichen IoX-Szenario zwingend zu integrieren sind. Das *U-PLM-Referenzszenario* zeigt dabei alle wesentlichen Aspekte auf, die es zur Überwindung der Ontologieproblematik bedarf. Es offenbart die Schwächen des Gruberschen Ontologiedenkens sowie jene aller

²²⁸⁵ Vgl. Huhns et al. (2010: 171).

bisherigen TLO-Theorieanwärter. Es unterstreicht das unabdingbare Erfordernis einer integrierten Ontologiekonzeption, die über die Referenz auf eine omnipotente *Top-level Ontologie* orchestriert wird. Gleichzeitig macht es nachvollziehbar, dass der richtige TLO-Ansatz ein cyber-physischer ist, der die Realität in CPS-adäquater Weise erfasst und somit die Existenz von Entitäten am *Prinzip kausaler Wirksamkeit* festmachen muss. Es lässt die zentrale Stellung des Agentengedankens erkennen, der wiederum im integrativen Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz zu erschließen ist. Damit wird neben dem CPS/SEA-Aspekt auch der MAS/CAS-Aspekt konstituierend, womit neben dem "*cyber-physical space*" und der Agentenwelt als "*thinking space*" genauso zwingend "*social spaces*" fundamental zu berücksichtigen sind. Damit weist das *U-PLM-Referenzszenario* direkt auf den CPST-Hyperspace bzw. – auf technologischer Grundlage des *Smart Web* – auf den IoX-Hyperspace. Ontologisch muss es damit um jene *Vier-Welten-Ontologie* gehen, auf die die *Cyber-Physical Ontology (CYPO)* als *Four-worlds Ontology for Everything (FOX)* in universaler Weise zielt. Insgesamt steht mit der Cyber-Physik des CPST-Hyperspace wie mit exakten *Scientific Ontologies* als Träger objektivem, präzisen Wissens außer Frage, dass die Ontologie zuvorderst im klassischen Sinne als *metaphysica generalis* zu verstehen ist, und dass es sich bei dieser Metaphysik um eine revisionäre *techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik* handeln muss, die zugleich Digitalmetaphysik ist.

Das *U-PLM-Referenzszenario* kann die Lösungsstrategie allein aufzeigen; es kann sie jedoch selbstverständlich nicht anleiten, geschweige denn umsetzen. Insgesamt betrachtet weist es vielmehr auf die Notwendigkeit, dass die Informatik nicht umhinkommt, ihr digitalmetaphysisches Fundament zu überdenken. Es ist an der Zeit, es theoretisch wie praktisch in sachgerechter Weise zu legen, um ihrem eigenen cyber-physischen Ursprungsparadigma, aus dem die Informatik historisch wie inhaltlich erst hervorgehen konnte, zu entsprechen. Das gilt umso mehr, als die ganze Informatik, insbesondere ihr AI-Kern, voll von Metaphysik ist, jedoch dabei völlig unzulängliche Metaphysiksysteme bemüht. Alle bisher ins Feld geführte Metaphysiksysteme, etwa die aristotelische Metaphysik, die Cartesische Metaphysik, die deskriptive Metaphysik Strawsons bzw. die analytische Metaphysik der ersten AI-Generation, die phänomenologische Metaphysik Heideggers oder kognitionswissenschaftliche Ersatzmetaphysiken der zweiten AI-Generation, die für Zwecke der konzeptuellen Modellierung regelmäßig bemühte Bungsche Metaphysik wie auch alle anderen philosophischen Fundamente und *metaphysische ad hoc Annahmen* sind für die Informatik schlichtweg unhaltbar. Sie sind verantwortlich für ihre Orientierungslosigkeit und für den Umstand, dass die Disziplin seit Jahrzehnten programmatisch fehlgeleitet wird. Es wird also im Grunde die ganze Bandbreite der Metaphysik im Zuge der Informatik erörtert bzw. angewendet, nur gerade jene nicht, die ihr Ursprungsparadigma darstellt und die für sie einzig adäquat ist. Das wiederum liegt daran, dass eine systematische Auseinandersetzung mit den Grundfragen der Informatik letztlich nie vollzogen worden ist. Denn

wenn dies systematisch geschieht, landet man vor dem Hintergrund des *cyber-physischen "Reality Computing"* unmittelbar bei Leibniz und Whitehead – und nirgends anders.

Vor dem Hintergrund des *cyber-physischen "Reality Computing"*, wie es mit dem *Internet of Everything (IoX)* als *Real World Internet* für sie selbstverständlich ist, kommt die Informatik damit um eine grundsätzliche Reflexion ihrer digitalmetaphysischen Grundlagen nicht umhin. Das gilt insbesondere zumal sie in dieser Sache, die letztlich im fundamentalen Sinne ihre wichtigste Sache ist, vollständig auf tönernen Füßen steht. Denn sie verzichtet bisher nicht nur auf die unabdingbare Reflexion ihrer digitalmetaphysischen Grundlagen, sondern sie besitzt auch keine Programmatik, ohne die jedoch ein sachgerechtes *cyber-physisches "Reality Computing"*, das einer techno-wissenschaftlichen Abstimmung aller Agenten auf Basis *objektiven, präzisen Wissens* bedarf, unrealisierbar bleibt. Die Informatik muss somit zu ihren Ursprüngen zurück; sie muss am Leibnizprogramm, das in moderner techno-wissenschaftlichen Hinsicht als Whiteheadprogramm auszulegen ist, ansetzen. In den ontologischen Grundsatzfragen wurde diese Reflexion hier anhand der bisher fünf dargelegten Schritte vollzogen, die nochmals kurz zu rekapitulieren sind: im ersten Schritt wurden zehn elementare Anforderungen definiert, die eine integrierte Ontologiekonzeption erfüllen muss. Im zweiten Schritt wurden dann fünfzehn elementare Punkte zu einer Generalkritik der defekten linguistischen Ontologiekonzeption Grubers dargelegt. Das wurde im dritten Schritt durch die Herausarbeitung der maßgeblichen Unterschiede zur integrierten, CPSS-adäquaten CYPO-Ontologiedefinition ergänzt. Im vierten Schritt wurden mit Chandrasekaran et al. (1999) neun allgemein akzeptierte grundlegende Ontologieaspekte erörtert, wobei deutlich geworden ist, dass diese mit der *4D-Ereigniskategorie* um einen zehnten entscheidenden Aspekt zu ergänzen sind, womit sich gleichzeitig offenbart, dass jede *Theorie der Objekte* eine metaphysische Theorie ist. Vor diesem Hintergrund wie mit dem Transdisziplinaritätsmoment wurde deutlich, dass nicht nur das Ontologieverständnis von Gruber, Hendlers bzw. Berners-Lee abzulehnen ist, sondern im fünften Schritt genauso die mit ihrer deskriptiven Metaphysik unmittelbar verbundene kritische Position in der Frage nach dem generellen Erfordernis der *Top-level Ontologie*, die eine *TLO-Referenz* nicht als ontologische Verpflichtung anerkennen will.

Offensichtlich ist die Informatik auf ein radikal anderes ontologisches Fundament zu stellen, worauf der letzte, sechste Schritt mit dem *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology (IMKO)* als *Ontological Computing Framework (OCF)* zielt. Das IMKO OCF ist letztlich als eine für die unmittelbaren Zwecke der Informatik vollzogene, punktuell modifizierende Reinterpretation des Whitehead-Popperschen-Programms als direkter Kopplung von Whiteheads metaphysischer Ontologie und Poppers Wissensontologie zu verstehen. Dabei steht das Whitehead-Poppersche-Programm seinerseits wieder im Leibnizprogramm, womit in der Klärung des IMKO OCF zunächst genau hier anzusetzen ist. Denn Leibnizens Automatenuniversum nimmt das totale Diskursuniversum des *CPST-Hyperspace* in metaphysischer Hinsicht vorweg, während Leibnizens *Metaphysica* nicht losge-

löst vom gesamten Leibnizprogramm beurteilt werden darf. Denn vor diesem Gesamthintergrund ist Leibnizens Metaphysik nicht mehr einseitig als rationalistisch-exakte Metaphysik auszulegen, was sie als solche ist, sondern sie erscheint dann in jenem *ratio-empirischen* Licht, das Leibnizens wissenschaftsbezogener transdisziplinären Sichtweise erst tatsächlich entspricht, in seiner Folge aber erst bei Whitehead vollständig durchdringt.

Die Rede vom "Leibniz-Programm" geht auf den mathematischen Logiker H. Scholz zurück,²²⁸⁶ von dem entscheidende Einflüsse auf die theoretische Informatik ausgingen.²²⁸⁷ Nicht zuletzt durch Whitehead/Russels (1910-13) *Principia Mathematica* motiviert sucht er im Zeichen des Leibnizprogramms die *Metaphysik als strenge Wissenschaft* auf Grundlage der *Mathesis universalis* neu zu begründen.²²⁸⁸ Die Idee der *mathematischen Logik*, die auch als symbolische Logik, formale Logik oder als moderne Logik bezeichnet wird, wurde zuerst durch Leibniz in klarer Form gefasst bzw. antizipiert.²²⁸⁹ Indessen besteht darin ein wichtiger, jedoch letztlich nur ein methodologischer Teil des Leibnizprogramms. Dieser zielt mit der *Characteristica universalis* resp. *Mathesis universalis* in erster Linie darauf, in der Metaphysik ebenso sicher schließen zu können wie in der Mathematik.²²⁹⁰ Aufgabe der Leibnizschen Charakteristik ist es, alles Wissen einschließlich jenes der Metaphysik symbolisch darzustellen, im Sinne der *Scientia generalis* zu ordnen und ebenso sicher nachprüfbar zu machen, wie dies in der Mathematik möglich ist.²²⁹¹ Darüber hinaus soll die Charakteristik aber auch das Auffinden neuer Erkenntnisse in den Wissenschaften ermöglichen, wobei der Logikkalkül, der *Calculus ratiocinator* (resp. *Calculus universalis*, *Calculus logicus*, *Calculus rationalis*) für alles als Grundlage fungiert. Die *Characteristica universalis* bildet somit das Schema für menschliches Denken überhaupt.²²⁹² Mit der *Scientia generalis* als Zusammenschluss aller Aussagen über die Welt zielt Leibniz auf eine formale Universalwissenschaft, die sich mit ihren axiomatisch aufgebauten logisch-mathematischen wie allgemein-metaphysischen Systemen genauso streng und exakt betreiben lässt wie die Mathematik.²²⁹³ Das IMKO OCF zielt primär auf den Umstand, dass es allein

²²⁸⁶ Vgl. H. Scholz (1942: 242).

²²⁸⁷ Vgl. Schmidt am Busch/Wehmeier (2005).

²²⁸⁸ Vgl. H. Scholz (1941, 1961).

²²⁸⁹ Vgl. auch etwa Hilbert/Ackermann (1928: 1).

²²⁹⁰ Vgl. Risse (1969: 108).

²²⁹¹ Vgl. Poser (1979: 310).

²²⁹² Ibid.

²²⁹³ Für Leibniz ist das Seiende als solches und im Ganzen quantitativ-proportional strukturiert und daher der *Mathesis* zugänglich. Dieser Ausgangspunkt wird durch seine *Metaphysica*, die ein Automatenuniversum voraussetzt und dabei im Kern auf eine *Monadenlehre* hinausläuft, gestellt, vgl. Poser (2005: 92) sowie Mittelstraß (1979, 1994). Vor diesem Hintergrund entwickelt er die Cartesische *Mathesis universalis* zu einer *Characteristica universalis*, einer formalisierten Wissenschaftssprache, und einem *Calculus ratiocinator*, einem formalisierten Logikkalkül, weiter. Indessen bleibt Leibnizens *Characteristica universalis* eine nie richtig vollendete Kunstsprache, vgl. Mittelstraß (1979: 606); vgl. zur *Mathesis universalis* bei Descartes auch Mittelstraß (1978). Sie repräsentiert dabei eine kalkülbasierte Logik, vgl. hierzu speziell Risse (1969) sowie Poser (1979). Indem die Metaphysik etwa auch in ihrer Eigenschaft als *metaphysica specialis* auf alle Disziplinen wie alle Fragen der Erkenntnis zielt, finden sich bei Leibniz auch Aspekte, die für die Informatik weniger von Relevanz sind, etwa seine *Harmonia universalis*, die zum verantwortlichen Handeln verpflichtet, um die prästabilisierte Harmonie zu sichern.

eine Ontologie gibt, und diese ist im Sinne von Leibniz bzw. Wolff immer *metaphysica generalis*. Allein auf der durch sie identifizierten fundamentalen Strukturen bzw. universalen Kategorien kann die *Knowledge Ontology* bzw. Wissensontologie aufbauen,²²⁹⁴ wie es auch Gracia (1999) darlegt. Die Alternative deskriptiver Metaphysik liegt dazu bei Jackendoff (1991); wengleich dieser zwar zentrale Probleme der Realitätsfrage richtig sieht, kann allerdings Jackendoffs (1990) OLP-Lösung der *semantischen Strukturfrage*, die in etwa auf einer Linie zu den metaphysischen Dispositionen bei DOLCE liegt, nicht überzeugen. Diese Lösung muss im exakten CPS-Sinne völlig anders liegen, indem sie ist im Leibniz-Whiteheadschen Konnex *cyber-physischer Digitalmetaphysik* im Zeichen einer *Strukturidentität von Metaphysik und Semantik* zu suchen ist, auf der letztlich auch Poppers Gedanke *objektiven Wissens* fußt.

Das IMKO *OCF*, in dem die fundamentale Voraussetzung der dritten AI-Generation zu sehen ist, bedarf eines Scharniers, das die Kopplung zwischen metaphysischer Ontologie und Wissensontologie gewährleistet. Diesen Dreh- und Angelpunkt bildet die *Top-level Ontologie*; sie setzt das um, was P.M. Simons (2006b: 95) auf den Punkt bringt: »metaphysics constrains semantics«. Dabei haben P.M. Simons (2006b), der ursprünglich ein phänomenologisches Ontologieverständnis verfolgt, genauso wie bereits Masterman (1984) oder Sowa (2000), die mit Wittgenstein II ursprünglich von einer OLP-sprachphilosophischen bzw. mit Mastermans *semantischen Netzen* von einer linguistischen Position her kommen, nunmehr in direktem Bezug auf die Informatik genau jene Metaphysik im Sinn, die wir meinen, nämlich die revisionäre techno-wissenschaftliche *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads. Nimmt man diese drei Positionen von Masterman (1984), Sowa (2000) und P.M. Simons (2006b) zusammen, und legt sie zusammen mit jenen etwa von Palomäki/Keto (2006, 2009), Palomäki (2008) sowie Dawson (2011) richtig aus, wird bereits nachvollziehbar, dass einzelne Positionen des IMKO *OCF* durch metaphysisch bzw. semantisch bewanderte Ontologen, Semantiker oder AI-Experten bereits vertreten werden. Wie die Normalsprache vor dem Hintergrund des IMKO *OCF* zu konzipieren ist, wird also bereits mit Masterman (1984) klar, wobei dies auf die Basis einer kombinierten Situations- und Ereignissemantik im Zeichen von Barwise/Perry (1983) bzw. D. Davidson (1967) zu stellen ist. Genauso ist etwa mit Sowa (1995) die Rolle der TLO-Kategorien evident sowie im Ganzen erkennbar, dass das Scharnier zwischen Metaphysik und Wissensontologie in der *Top-level Ontologie* besteht. Mit P.M. Simons (2006b) ist dabei klar, dass die Semantik wesentlich durch die Metaphysik bestimmt ist, während sich mit P.M. Simons (2004c) die transdisziplinäre Dimension dieses Zusammenhang bereits nachvollziehbar wird.

Was jedoch bei allen Überlegungen fehlt sind vor allem zwei Aspekte: zum einen, Whitehead in direkter Folge von Leibniz als eigentlichen Begründer der Programmatik der Informatik zu sehen und Popper in seiner direkten Bezogenheit auf Whitehead, indem die

²²⁹⁴ Von *Knowledge Ontology* ist dabei nicht nur implizit, sondern oftmals auch explizit die Rede, vgl. etwa H. Kumar/Park (2010) sowie Penaz et al. (2014).

Poppersche *Drei-Welten-Lehre* den Weg zu einer integrierten Ontologiekonzeption der Informatik weist. Zum anderen mangelt es bei allen genannten Positionen an der Konsequenz. Denn Ontologie verkürzt sich in diesem Leibniz-Whitehead-Popper-Konnex gerade nicht auf die Semantik. Vielmehr ist das durch Whitehead umfassend aktualisierte Automatenuniversum strukturidentisch mit dem CPST- bzw. IoX-Hyperspace als totalem Diskursuniversum. Somit ist eine universale, d.h. tatsächlich metaphysische Perspektive einzunehmen, womit der Blick auf das Leibnizsche Automatenuniversum zu richten ist, von dem wiederum direkt die maßgeblichen Aspekte der wesentlichsten Theorie der Informatik, nämlich der cyber-physischen Automatentheorie abgeleitet sind. Die fehlende Konsequenz ist zu revidieren, indem der Disziplin klar werden muss, dass nicht nur ihre Semantik, sondern alles, also auch etwa Perzeption, Kognition, die gesamte Agententheorie, die Theorie der Realität bzw. Cyber-Physik, die Epistemologie und Methodologie, d.h. die Natur von Daten, Informatin und Wissen, das Verhältnis der Informatik zu den Struktur- und Erfahrungswissenschaften usf. – einfach alles, ohne jede Ausnahme, auf das Leibniz-Whiteheadsche digitalmetaphysische Fundament zu stellen sind. Denn in dem durch Whitehead aktualisierten Leibnizprogramm besteht gerade das eigentliche Ursprungsparadigma der Disziplin, indem die Information als Grundstoff, die mathematische Logik, die Cyber-Physik, der Automatengedanke und damit insgesamt jener Cyber-physischer Systeme (CPS) usf. genau hier ihre eigentliche Wurzel besitzen. Dabei ist wesentlich zu erkennen, dass dies nicht nur für die Informatik als Einzeldisziplin gilt, sondern dass diese vielmehr eingewoben ist in ein modernes transdisziplinäres System aller Struktur- und Erfahrungswissenschaften sowie Technologien, deren metaphysische, epistemologische und methodologische Dispositionen auf dem Leibniz-Whitehead-Popper-Konnex basieren. Das IMKO *OCF* bringt cyber-physische Daten und Informationen der Ontologie als *metaphysica generalis* mit dem Wissen der *Knowledge Ontology* zusammen. Dabei bildet die *Top-level Ontologie* den eigentlichen Integrator.

Indem die *Top-level Ontologie* das Scharnier zwischen Metaphysik als Disziplin zur Aufklärung der fundamentalen Strukturen der Realität sowie der Wissensontologie darstellt, ist evident, dass sie eine Doppelfunktion besitzt. Denn die TLO-Referenz gilt für sämtliche Modelle der Informatik, d.h. im Wesentlichen für alle konzeptuellen sowie alle semantischen Modelle. Daraus folgt im Sinne des in Pkt. 3.2.4 diskutierten Erfordernis zur Konvergenz der Ontologien, dass die Integration der CM- und AI-Sphäre unmittelbar durch diese TLO-Referenz realisiert und dauerhaft gewährleistet wird. Sie bedeutet insgesamt, dass in der *Top-level Ontologie* im Zuge strikter TLO-Referenz aller Ontologietypen und Ontologiearten als "*common formal framework*" bzw. als "*ontological backbone*", als sie gerade auch in der jener *integrierten Ontologiekonzeption* zu sehen ist, die im nachfolgenden Pkt. 3.5 mit *CYPO FOX* umrissen wird. Als solche ist sie Dreh- und Angelpunkt des ganzen transdisziplinären Systems aller Ontologien. Gleichzeitig kommt der *Top-level Ontologie* als oberster ontologischer bzw. metaphysischer Referenzebene der Informatik

im IMKO *OCF* ein ganzes Spektrum von Funktionen zu. Dabei lassen sich vor dem Hintergrund einer integrierten CM- und AI-Sphäre folgende vier Cluster bilden, die im direkten Bezug mit den in Pkt. 3.2.1 erörterten allgemeinen Funktionen von Ontologien stehen:

(A) *Funktion der Top-level Ontologie in der konzeptuellen Modellierung (CM):*

1. Klärung von UoD-Grundstrukturen (Realität) realer bzw. imaginärer Systeme
2. Transdisziplinärer Theorie-/Praxisvollzug auf Basis universaler Ontologie
3. Ontologische Evaluierung von CM-Modellierungsmethoden resp. -sprachen
4. Referenz von Klassen auf fundamentale Kategorien
5. Direkter Übergang zur AI-Wissensrepräsentation durch einheitliche Referenz
6. Effizientes, standardisiertes Systemdesign auf Basis universaler Ontologie
7. Referenz für meta-ontologische Fragen (z.B. Objekt vs. Ereignis vs. Prozess)
8. Strikte Kritikabilität metaphysischer Annahmen konzeptueller Modelle
9. Orientierung für epistemische Konstruktionsakte durch kollektive Referenz
10. Kommunikation über komplexe Systeme im Objektbereich: Konsens
11. Vermeidung/Minimierung des Problems konzeptueller Heterogenität
12. Vermeidung/Minimierung des CM-bezogenen Inkommensurabilitätsproblems

(B) *Funktion der Top-level Ontologie im Rahmen semantischer Interoperabilität:*

1. Referenz auf gemeinsame Top-level Kategorien; Klassenanalogie
2. Kollektive Referenzbasis für Multiagentensysteme als CAS: Konsistenz
3. Transdisziplinärer Theorie-/Praxisvollzug auf Basis universaler Ontologie
4. Effizientes, standardisiertes Systemdesign auf Basis universaler Ontologie
5. Vollumfängliche semantische Systemintegration: Daten, Information, Wissen
6. Realisierung echter *Smart Enterprise Integration* (Robustheit, Präzision)
7. Vermeidung/Minimierung des Problems semantischer Heterogenität
8. Vermeidung/Minimierung des AI-bezogenen Inkommensurabilitätsproblems

(C) *Funktion der Top-level Ontologie im Rahmen der Inferenz:*

1. Prozessstabilität auf Basis TLO-referenzierender Heavyweight-Ontologien
2. Referenzbasis für Kernontologien prozessualer Steuerungssysteme
(z.B. Enterprise Ontology, PPR-Framework): Konsistenz
3. Kollektive Referenzbasis für Multiagentensysteme als CAS
4. Sichere Vollautomatisierung von CPS resp. autonomer Robotik
5. HLIF-Informationsfusion bei Multisensorsystemen
6. Integration subjektiver Ontologien mit wissenschaftlichen/technologischen
7. Referenz technologischer Prozessintelligenz auf wissenschaftliche Ontologie
8. Top-level Ontologien für transdisziplinären Theorie- und Praxisvollzug
9. Ermöglichung umfassender Smart Web Anwendungen (PEID usf.)
10. Vermeidung/Minimierung des Problems semantischer Heterogenität
11. Vermeidung/Minimierung des AI-bezogenen Inkommensurabilitätsproblems

(D) *Funktion der Top-level Ontologie im Rahmen der Wissensrepräsentation (KR):*

1. Einheitliche Fundierung allen Wissens in metaphysischer Hinsicht
(einheitliches Kategoriensystem, meta-ontologische Aspekte: Konsistenz)
2. Strikte Kritikabilität metaphysischer Annahmen semantischer Modelle
3. Einheitliche Fundierung allen Wissens in methodologischer Hinsicht
4. Einheitliche Fundierung allen Wissens in epistemologischer Hinsicht
5. Möglichkeit präzisen Wissens durch TLO-referenzierende Ontologien
6. Direkter Bezug auf kompatible CM-Modelle durch einheitliche Referenz
7. Einheit des Wissens, Einheit der Erkenntnis, Einheit der Wissenschaften
8. Echte Transdisziplinarität von Wissenschaft, Technologie und Praxis
9. Industrieübergreifende Wissensteilung auch bei kritischen Prozessen
10. Umfassende, effiziente und schnelle Wiederverwendung von Wissen
11. Umfassende Semantic/Smart Web Automatisierung
12. Realisierung Closed-loop PLM: einheitliche Wissensteilung über alle PLM-Phasen: Engineering, Smart Factory, MOL-Phase etc. mit Rückkopplungen
13. Vermeidung/Minimierung des Problems semantischer Heterogenität
14. Vermeidung/Minimierung des AI-bezogenen Inkommensurabilitätsproblems

Mit diesem reichen Spektrum an Funktionen, die die revisionär metaphysisch bestimmte *Top-level Ontologie* im IMKO *OCF* bereithält, resultieren nicht nur völlig neue Möglichkeiten im Hinblick auf die Superintelligenz der dritten AI-Generation, sondern vor allem sind alle Methoden, jedes Systems Engineering, alle Referenzmodelle zur *Enterprise Architecture* (EA) sowie letztlich sämtliche Grundlagen der Informatik vor diesem Hintergrund strikter TLO-Referenz, die alle Modelle zu erfüllen haben, zu überdenken. Letztlich kann die Informatik gar nicht anders vorgehen, wenn dargelegt wurde, dass sämtliche anderen metaphysischen Alternativen, die bisher die Disziplin bestimmt haben, für diese grundsätzlich inadäquat sind bzw. an den Voraussetzungen des CPST-Hyperspace scheitern. Vor allem scheitert die deskriptive Metaphysik mit ihrer unhaltbaren Harmonie-These völlig. Tatsächlich bedeutet das IMKO *OCF* nicht weniger als die genaue Umkehrung des Gruberschen Ontologieverständnisses. Die linguistische Wende bedeutet mit Heil (2003: 189): »the linguistic tail wagging the ontological dog«, und mit der erneuten ontologischen Wende des IMKO *OCF* ist seine genaue Umkehrung impliziert. Ontologie ist im Popperschen Sinne primär ontisch, und im Sinne der Agentenwelten sekundär epistemisch. Geht die Informatik von etwas anderem aus, wird sie die CPS/SEA- sowie die MAS/CAS-Aspekte nicht zusammenbringen können, was der CPST-Hyperspace jedoch notwendig voraussetzt. Mit der Primarität des Ontischen und der durch den metaphysischen Realismus gleichzeitig implizierten Möglichkeit objektiven Wissens gilt im Sinne von P.M. Simons (2006b: 95) »metaphysics constrains semantics« somit eine ontologische Verpflichtung, die auf Grundlage der Metaphysik Whiteheads eine ratio-empirische, kategoriale

Verpflichtung darstellt, die auf Basis dieser transdisziplinären Kategorien eine AI-Kernsemantik zur Konsequenz hat.

Von einer Umkehrung des Gruberschen Ontologieverständnisses lässt sich indes insofern nur bedingt sprechen, als es sich lediglich auf den OE-Ansatzpunkt bzw. auf Heil (2003: 189) bezieht. Mehr ist nicht möglich, denn bei Gruber kann deshalb nichts weiter umgekehrt werden, als bei ihm jede philosophische Basis komplett absent ist, während die meisten der maßgeblichen AI-Vertreter aber gerade herausstellen, dass die AI-Disziplin zuvorderst Philosophie ist. Schon insofern besteht ein offensichtlicher Widerspruch. Gruber ist also über den festgestellten Sachverhalt nicht umzukehren, sondern vielmehr komplett *ad acta* zu legen. Denn für die erfolgreiche Fortentwicklung der Informatik ist es wichtig, dass zunächst einmal ihr Ontologiebegriff als solcher auf Basis des IMKO *OCF* zu korrigieren ist. Denn jener von Gruber ist insofern nachweislich falsch, als er den philosophischen Ontologiebegriff falsch bzw. einseitig auslegt bzw. diesen gar nicht in dem erforderlichen metaphysischen Zusammenhang nachzuvollziehen versteht, in dem dieser jedoch immer steht: Ontologie als *metaphysica generalis* und als *Knowledge Ontology* sind immer als interdependent zu verstehen, denn sie bilden zwei Seiten der einen Medaille, wie es mit Gracia (1999: 156) pointiert dargelegt wird: »Metaphysicians want to know [...] how knowledge fits within the most general categories and is related to them«.

Entsprechend gilt, dass es den Unterschied, den Gruber (1992) ungeachtet seiner philosophischen Unkenntnis zwischen dem philosophischen Ontologieverständnis und dem AI-Ontologieverständnis konstatieren will, gar nicht gibt: »In philosophy, one speaks of ontologies as systematic theories about what exists. In the context of AI systems using human knowledge, we identify the ontology with the set of formal terms with which one represents knowledge, since the representation completely determines what 'exists' for the system«.²²⁹⁵ Das gilt mit Verweis auf Pkt. 3.1 etwa auch insofern, als es in der Philosophie nicht nur realistische, sondern genauso idealistische Ontologieverständnisse gibt, dass der Ontologiebegriff genauso für Denkmodelle oder sprachliche Repräsentationen Verwendung findet usw. Gruber, der in keiner Weise die Auseinandersetzung mit den für die AI-Disziplin gerade als entscheidend vorauszusetzenden philosophischen Grundsatzfragen sucht, liegt somit gleich doppelt falsch: denn nicht nur ist gerade auch für die Metaphysik der ganze Prozess bis hin zur methodologischen bzw. formallogischen Repräsentation des Wissens unabdingbar, sondern umgekehrt gerade auch die metaphysischen Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen für die AI-Wissensrepräsentation. Indem weite Teile der Ontologie der Informatik explizit der Sichtweise Grubers folgen, liegen sie mit diesem entscheidenden Irrtum Grubers genauso falsch. Da jedoch Ontologie im digitalmetaphysischen Sinne des IMKO *OCF* die Fundamente der Disziplin betreffen, wird eine vollständige Revision sämtlicher Grundlagen der Informatik unumgänglich. Das gilt umso mehr, als ihr AI-Kern auf die Basis der dritten AI-Generation zu stellen ist.

²²⁹⁵ Vgl. Gruber (1992: 2, Fn. 1).

Die *Knowledge Ontology* ist immer als integrierter Part der Ontologie als *metaphysica generalis* zu verstehen. Das gilt für jede Metaphysik, also auch etwa für die *Commonsense Metaphysics* bei Hobbs et al. (1987), deren Pendant dann in *Common Sense Ontologies* besteht. Hier wird dann deutlich, dass die eigentliche Funktion der Metaphysik, nämlich die fundamentalen Strukturen aller Welten, speziell jene der Realität aufzudecken, durch die sprachbezogene *Harmonie-These* entfällt. Tatsächlich wäre sie jedoch zumindest in dem Maße zu praktizieren, die auf die Prüfung dieser fragwürdigen These zielt. Indem dies unterbleibt, ist die *Harmonie-These* nach wissenschaftstheoretischer Maßgabe abzulehnen. Indessen gewinnt der Umstand, dass die *Knowledge Ontology* als integrierter Part der Ontologie als *metaphysica generalis* zu behandeln ist, insbesondere vor dem Hintergrund der Whiteheadschen Metaphysik seine Bewandnis, indem die *revisionäre Metaphysik* am *Ratio-Empirismus* ansetzt. Diese Durchgängigkeit zu den Wissenschaften ist ohne den wissensontologischen Aspekt, d.h. ohne das Ziel der *Einheit des Wissens* und einer darauf gründenden kosmologischen *Einheit der Erkenntnis* kaum sinnvoll. Mit anderen Worten zielt die Identifikation der metaphysischen Kategorien unmittelbar auf die Schaffung einer transdisziplinären *Knowledge Ontology*. Insofern gilt der Whitehead-Popper-Konnex: der Ratio-Empirismus Whiteheads ist interdependent mit dem objektiven Wissen Poppers, dessen universale Methodologie das Transdisziplinaritätsmoment verkörpert. Es vereinigt die techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik mit den Erfahrungs- und Strukturwissenschaften, indem im cyber-physischen Sinne der ratio-empirischen Digitalmetaphysik gilt, dass die Informatik die erste Strukturwissenschaft und die Physik die erste Erfahrungswissenschaft bildet. Ihr einigendes Paradigma wie auch ihre empiristische Universalsynthese besteht dabei in der Komplexitätsforschung. Cyber-physische Systeme (CPS) basieren somit grundlegend auf der *Theorie komplexer Systeme* als integrierendem Moment. Im Agentensinne geht es dabei um *Complex Adaptive Systems* (CAS), die ihrerseits im MAS-Sinne zu verstehen sind. Das Leibnizprogramm ist somit methodologisch auf die *Theorie komplexer Systeme* zu stellen.

Abstrakt betrachtet lässt sich behaupten, dass die Systeme von Leibniz, Whitehead und Popper vor dem Hintergrund von Leibnizens Automatenuniversum auf *cyber-physisches "Reality Computing"* zielen. Indessen sind sie natürlich nicht auf die Zwecke der praktischen Informatik ausgelegt, die jeden Spielraum eröffnen können muss. So muss Ontologie auch etwa für reine Cyberwelten anwendbar sein bzw. für Welten, die rein Denkwelten bzw. fiktive Welten verkörpern, die nicht unmittelbar mit der Cyber-Physik verbunden sind. Das gilt auch dann, wenn es sich um Sonderbereiche handelt. Ferner ist zu konstatieren, dass weder *cyber-physisches "Reality Computing"* noch die Positionen von Leibniz, Whitehead und Popper auf jenen sprachlichen *Common Sense* zielen, die im CPST-Hyperspace im Sinne von H2H-, H2M- und M2H-Interaktionen bzw. Kommunikationsprozessen, wie sie Gruber ohne eine ereignis- bzw. situationszentrierte Änderung der Normalsprache im Sinn hat. Es geht also um Ontologien, die sprachliche Objekte bzw. Entitäten der All-

tagssprache zum Gegenstand haben. Diese können natürlich weder in der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik noch im gesamten System der Ontologien nicht primär sein, sind jedoch unter HCI-Aspekten bzw. dem IoP-Aspekt des *Social Web* menschlicher Agenten notwendig mit zu berücksichtigen.

Entsprechend sind die Positionen von Leibniz, Whitehead und Popper, die sich direkt im IMKO *OCF* spiegeln, punktuell zu modifizieren, so dass sie für die Belange der praktischen Informatik passend sind. Diese Modifizierungen werden mit *CYPO FOX* vorgenommen, die als universale Ontologiearchitektur der Informatik unmittelbar auf dem IMKO *OCF* und damit auf den genannten metaphysischen Positionen aufbaut. Die Grundidee von *CYPO FOX* geht zwar im mehrfachen Sinne auch unter wissensontologischen Aspekten auf Popper zurück. Allerdings ist Popper aus nachvollziehbaren Gründen fast ausnahmslos auf das objektive Wissen aus. Für *CYPO FOX* ist mit der Cyber-Physik auch dieses primär, während jedoch insgesamt eine neutrale Position zu allen Wissenstypen und Wissensarten eingenommen wird. Denn für die Ontologie der Informatik ist im Wechselspiel von natürlichen und artifiziellen Agenten alles Wesentlich. Ein Sprachbefehl in Alltagssprache kann etwa einen umfassenden Prozess kausal auslösen, in den nur noch eine Vielzahl maschineller Agenten involviert sind. Insofern sind auch alle Ontologietypen bzw. Ontologiearten als interdependent zu behandeln. Genauso ist vorauszusetzen, dass es mit Searle (1995) eine soziale Realität gibt, die in Bereich sozialer Entitäten, also einem *Common Sense* in den engen Grenzen sozialer Realität durchaus durch konstruktivistische Momente geprägt ist. Entsprechend müssen auch unterschiedliche Wahrmacher zulässig sein. Ferner sind mögliche Welten, die gerade auch durch Leibniz herausgehoben werden, für die Informatik auch in ontologischer bzw. semantischer Hinsicht weitaus stärker zu berücksichtigen als dies bei Popper der Fall ist. Allerdings ist festzuhalten, dass all diese Modifizierungen mit den grundsätzlichen Positionen von Leibniz, Whitehead und Popper konform gehen, indem die Informatik insgesamt damit konform geht. Insofern relativieren sich diese Modifizierungen im Sinne besonderer Akzentuierungen. Das betrifft etwa die mit *CYPO FOX* zusätzlich zu Popper vorausgesetzte Welt 4, indem bereits mit Emmet (1958) herausgearbeitet wird, dass die Whiteheadsche Metaphysik genauso für die soziale Realität Gültigkeit besitzt.

3.5 CYPO FOX als Ontologiearchitektur des *Internet of Everything* (IoX)

»Present AI programs operate in limited domains e.g. play particular games, prove theorems in a particular logical system, or understand natural language sentences covering a particular subject matter and with other semantic restrictions. General intelligence will require general models of situations changing in time, actors with goals and strategies for achieving them, and knowledge about how information can be obtained.«

— John McCarthy (1979: 190)

Indem die Informatik mit Blick auf komplexe IoX-Systeme nicht umhin kommt, ihr allgemeines Ontologieverständnis in einer Weise zu konzipieren, die *Cyber-physischen Systemen* (CPS) gerecht wird, werden alle bisherigen Ontologiearchitekturen obsolet. Denn sie sind in keiner Weise darauf ausgelegt und auch in keinem Fall dezidiert mit Blick auf dieses Erfordernis entwickelt worden. Insofern muss es gelten, zunächst *Cyber-physische Systeme* (CPS) an sich in hinlänglicher Weise zu verstehen,²²⁹⁶ denn erst dann lässt sich eine CPS-adäquate Ontologiekonzeption entwickeln. Allerdings konzipiert selbst die einschlägige Forschung CPS noch in einer Weise, die insgesamt nicht zufriedenstellend sein kann. Denn zumeist wird ihre Definition auf den grundlegendsten Aspekt beschränkt, indem festgestellt wird: »Cyber-Physical Systems (CPS) are integrations of computation and physical processes«.²²⁹⁷ Das ist zwar an sich richtig, jedoch auch unter dem Hinweis nicht hinreichend, dass sie dabei ein *Embedded System Design* erfordern.²²⁹⁸ Denn in kausaler Hinsicht ist mit zu berücksichtigen, wie sich diese Integration bei solchen "*embedded systems*" im Zeichen *autonomer, AI-basierter Adaption* konkret darstellt.²²⁹⁹ Im Zeichen dieser Adaption läuft eine allgemeingültige CPS-Definition darauf hinaus, dass es sich bei *Cyber-physischen Systemen* (CPS) um *agentenbasierte Systeme* handelt.

Für die Ontologiedebatte ist eine umfassendere CPS-Reflexion also offenbar entscheidend, indem erst mit ihr deutlich wird, dass sich eine CPS-adäquate Ontologie nicht nur auf zwei interdependente Welttypen, nämlich auf die *physische* und die *virtuelle* Welt, sondern darüber hinaus noch auf einen dritten Welttypus bezieht. Diesen bildet die *Agentenwelt*, wie sie in der klassischen AI-Disziplin auch seit jeher im Mittelpunkt steht. Insofern läuft jede universale CPS-Ontologiekonzeption bereits auf drei disparate ontologische Sphären hinaus, die nicht miteinander verwechselt werden sollten. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass CPS zwar nicht ausschließlich, doch vor allem in vernetzten Strukturen zum Einsatz kommen, wie es insbesondere im Fall komplexer IoX-Systeme gegeben ist.²³⁰⁰ Dann wird deutlich, dass zur *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* (IoX) auch die Differenzierung von drei Welten nicht ausreichend erscheinen kann. Denn mit solch vernetzten Strukturen wird deutlich, dass sich die Adaption in interaktiver Weise und im interdependenten Kontext mit anderen *Cyber-physischen*

²²⁹⁶ Vgl. hierzu etwa Rajkumar et al. (2010).

²²⁹⁷ Vgl. E.A. Lee (2007: 1).

²²⁹⁸ Vgl. dazu auch Marwedel (2011).

²²⁹⁹ E.A. Lee (2007) stellt dieses Moment der *Adaptionsfähigkeit* erst in seinen *CPS-Requirements* heraus.

²³⁰⁰ Vgl. hierzu etwa acatech (2011) oder Marwedel/Engel (2016).

Systemen (CPS) vollzieht. In vernetzten Strukturen, wie sie mit komplexen IoX-Strukturen gegeben sind, vollzieht sich die CPS-Adaption damit zwingend auf Basis von *Multiagentensystemen* (MAS), wie sie etwa bereits im Bereich der *Smart Factory* umfassendere Berücksichtigung finden. Ein IoX-adäquates CPS-Verständnis setzt damit auch das MAS/CAS-Kriterium voraus, womit es ontologisch viertens um eine Multiagentenwelt gehen muss, die letztlich mit Momenten wie der Vertrauenswürdigkeit von Agenten eine *soziale Welt* markiert. Insofern liegen jenseits der gängigen, nicht hinreichenden CPS-Verständnisse Ning et al. (2016) mit ihrem *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* richtig, der den CPS-Aspekt dezidiert im IoT-Kontext konzipiert, und diesen zum CPSS-Aspekt erweitert. Dieser *Hyperspace* entsteht »by merging the thinking space into the cyber-physical-social space«,²³⁰¹ und besitzt dabei insbesondere auch in wissenschaftlicher wie in technologischer Hinsicht außerordentliche Relevanz. Über Ning et al. (2016) hinausgehend stehen dabei drei Dinge außer Frage: erstens, dass es bei einem solchen *Hyperspace* im Kern um nichts anderes als um *Ontologie* geht; zweitens, dass es sich dabei zunächst um *metaphysische Ontologie*, darauf aufsetzend erst um *Wissensontologie* handelt; drittens, dass strikt zwischen vier ontologischen Welten zu differenzieren ist, da sie in dem *Cyber-Physical-Social-Thinking Hyperspace* von je wesensgemäßer Natur sind.

Alle Ontologieansätze lassen sich unterteilen in Ein-, Zwei-, Drei- und – wie im Fall der hier dargelegten integrierten *Cyber-Physical Ontology (CYPO)* in *Vier-Welten-Ontologien*.²³⁰² *CYPO FOX* gründet unmittelbar auf dem *IMKO OCF* und verkörpert dabei eine universale Ontologiearchitektur, mit der das Leibniz-Whiteheadsche Automatenuniversum in den CPST-Hyperspace viergeteilt wird. Wie eingangs in Pkt. 1.1 bzw. Pkt. 3.1 dargelegt, gibt es sowohl in der Informatik als auch in der Philosophie ganz verschiedene Auffassungen von dem, was "Ontologie" bedeutet, wie es in diesem dritten Teil in Vorbereitung einer Synthese deutlich wird. Im Grunde lässt sich für beide Disziplinen parallel der Ontologiedualismus des *IMKO OCF* konstatieren: *Ontologie* lässt sich in beiden Disziplinen gleichermaßen einmal verstehen als *metaphysische Ontologie*, und einmal als *Wissensontologie*. D.h., dass es diesen Dualismus heute in beiden Disziplinen gibt, indessen mit den Ausführungen im vorherigen Pkt. 3.4 deutlich geworden ist, dass es sich nicht etwa um einen unverbundenen Dualismus handelt, sondern um zwei Seiten derselben Medaille. Das gilt auch dann, wenn dies bisher im Allgemeinen nicht so gesehen wird; dabei setzt jedes Wissen *de facto* dezidierte fundamentale Strukturen jener Welten bzw. Diskursuniversen explizit oder zumindest implizit voraus, auf die sich dieses Wissen bezieht. Somit steht jede Wissensontologie im Zeichen metaphysischer Ontologie. Darin aber kann nur Einsicht bestehen, wenn ein weiterer gängiger Fehler behoben wird, nämlich wenn ein *fundamentaler Defekt im Ontologieverständnis* ausgeräumt wird.

²³⁰¹ Vgl. Ning et al. (2015: 1994).

²³⁰² Ausnahmen davon bilden Ansätze, die wie Lewis (1986b) von einer *Plurality of Worlds* ausgehen.

Natürlich ist *Ontologie* nicht, wie Gruber et al. irrtümlich annehmen, bloße *Semantik*. Tatsächlich aber wird sie in linguistischen Ansätzen landläufig mit *semantischen Netzen* verwechselt. Das ist insbesondere deshalb verhängnisvoll, weil auf Basis dieser Verwechslung solch irrtümliche Ontologieverständnisse *an sich* entwickelt werden. Wenn der Entwurf solcher Ontologiekonzepte ohne nennenswerte Reflexion bzw. Begründung erfolgt, indessen in der *Ontologie* mindestens *ein* – wenn mit dem heutigen *realweltlichen AI-Stellenwert* im SCEP-Sinne nicht *das* – Kernkonzept der Informatik besteht,²³⁰³ ist eine solche Ontologiepraxis inakzeptabel: Die Disziplin sollte eine Grundsatzdebatte um ihr Zentralkonzept eröffnen, die in den fünfzig Jahren seit Mealys (1967) Ausgangsüberlegungen bisher nie an den richtigen Fragen festgemacht hat. *Ontologie* ist keinesfalls bloße Semantik; vielmehr verkörpern Ontologien *Weltmodelle* in semantisch expliziter Spezifikation. Darin besteht nur auf den ersten Blick ein geringfügiger Unterschied; in der Konsequenz bleibt es nicht bei einer definitorischen Nuance, sondern es impliziert ein völlig anderes Ontologieverständnis, das nur partiell zu Mealy (1967) und McCarthy/Hayes (1969) zurückführen kann: Deren Ausgangsüberlegungen sind insbesondere in Form einer *ereigniszentrischen Top-level Ontologie* zu modifizieren, die wiederum mitsamt einer *Theorie der Objekte bzw. Ereignisse* durch eine *techno-wissenschaftliche Metaphysik* zu fundieren und durch eine dazu passende *Theorie des Wissens* zu komplettieren ist. All dies ist im Zeichen interagierender *komplexer adaptiver Systeme* (CAS) und damit im Kern im Sinne der Automatentheorie zu konzipieren. Allein auf dieser universalen Basis lässt sich ein CPSS- bzw. IoX-adäquates Ontologieverständnis entwickeln, das dem Gesichtspunkt vollumfänglicher semantischer Interoperabilität Rechnung trägt.

Ohne Frage wurde die *Ontologie* durch Mealy (1967) im Zeichen der "*real world itself*" in die Informatik eingeführt; gewiss nicht als *semantisches Netz*. Darin bestand gerade der innovative Schritt Mealys, nämlich die mit Masterman (1961) bzw. Quillian (1962, 1966) und anderen längst vorhandenen *semantischen Netze*, die der »representation of the meaning of natural language words« verpflichtet sind,²³⁰⁴ durch wissenschaftlich-fundierte realitätsbezogene Weltmodelle Quines bzw. mit McCarthy/Hayes (1969) durch metaphysische Weltmodelle zu ersetzen. Somit bedeutet die Grubersche (1993, 1995) Ontologiekonzeption gegenüber Mealys (1967) "*real world*" als Ontologiekern wie auch in Bezug auf McCarthy/Hayes' (1969) "*physical world*" als Ausgangspunkt ihrer *acht AI-Fundamentalthesen metaphysisch adäquater Repräsentationen* einen schwerwiegenden Rückschritt. Das wurde in der Disziplin allerdings nie zur Kenntnis genommen. Mit der realweltlichen Herausforderung von CPS- bzw. IoT-adäquaten Ontologien, mit der Hinwendung zu "*nontoy worlds*" mit kritischen Prozessen komplexer Systeme wird dabei deutlich, dass es

²³⁰³ Dabei ist zu berücksichtigen, dass der CEP-Ansatz bereits an sich eine Klassifikation von "*Events*" oder die Klärung der Zusammensetzung *komplexer Ereignisse* aus einfachen usw. erfordert, was Fragen *metaphysischer Ontologie* sind. Damit ist sie mit Pkt. 3.3.1 auch hier als *integrierte metaphysische Wissensontologie* (IMKO) gemeint, da es beim *OCEP-Ansatz* gerade auch um *Wissensontologie* geht.

²³⁰⁴ Vgl. Quillian (1962: 17).

sich nicht nur um einen wesentlichen Rückschritt, sondern vielmehr um einen *grundsätzlichen Irrtum* Grubers handelt. Indem sich große Teile der Disziplin auf Gruber beziehen, gilt dieser große Irrtum disziplinweit.

Wird *Ontologie* in der CYPO-Ontologiekonzeption im Zeichen von *Weltmodellen* verstanden, ist dabei – anders als bei Mealy (1967) – der Weltbegriff zwar im UoD-Sinne *diskursweltlich* gemeint, also keineswegs zwingend realistisch. Das wird durch die welttypische Systematik der CYPO Mehrweltenontologie ermöglicht, über die sich schließlich der Grubersche Vorteil einer *UoD-neutralen Ontologie* inkorporieren – und damit kompensieren lässt. Allerdings hat der Weltbegriff zumeist – wenn auch nicht ausschließlich – *realweltliche* Modelle zum Gegenstand, womit die fundamentalen Strukturen der Realität – wie bei Mealy (1967) oder McCarthy/Hayes (1969) besondere Relevanz entfalten. Ungeachtet dessen besitzt jedes diskursweltliche Modell, also auch etwa Modelle *möglicher Welten, fundamentale Strukturen*, die es im wissenschaftlichen, technologischen wie praktischen Zusammenhang notwendig zu explizieren gilt. Wird diese Explikation unterlassen, sind die damit verbundenen Modelle inferior. Sie sind nicht nur inhaltlich fragwürdig. Sie sind weder mit anderen Modellen bzw. Ontologien variabel verknüpfbar noch können letztere auf dieser Basis dauerhaft stabil sein, indem das in Pkt. 1.2 dargelegte Inkommensurabilitätsproblem ungelöst bleibt. – Dass *Ontologien* als semantisch explizit spezifizierte Weltmodelle etwas gänzlich anderes bedeuten als Ontologien im Sinne bloßer Semantik, sollte bereits in Pkt. 3.3.2 im Zuge des Widerstreits der OE-Ansatzpunkte deutlich geworden sein. Denn als *Weltmodelle* lassen sich Ontologien in keiner Weise sprachlich erschließen, sondern allein über die *fundamentalen Strukturen des Weltmodells*, also über Metaphysik, konkret über eine *metaphysisch fundierte, realistische Top-level Ontologie*. Sie stellt den zentralen Bezugspunkt jeder sachgerechten OE-Methodik dar; jedes qualifizierte *Ontology Engineering* besitzt seinen Ausgangspunkt in der *Top-level Ontologie*.

Ontologisch sind die fundamentalen Strukturen des Weltmodells nicht nur *kategorial* zu fassen, sondern stehen wiederum in direktem Zusammenhang zu zahlreichen *meta-ontologischen Dispositionen*, etwa zur Mereologie usf. Das reicht bis hin zu epistemologischen und methodologischen Erwägungen – mithin zu einer *Theorie des Wissens*. Insofern sind auch alle TLO-untergeordneten Ontologien, etwa Domänenontologien, strikt in Referenz zu einer *Top-level Ontologie* zu setzen. Denn ansonsten sind die fundamentalen Aspekte des Weltmodells nicht expliziert. In diesem Sinne ist die bisherige Differenzierung von CM- und AI-Ontologie durch eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu ersetzen, worauf CYPO *FOX* als integrierte Ontologiekonzeption zielt. Nur als solche kann "Ontologie" insgesamt für die Informatik sinnvoll konzipiert sein. Denn beide Seiten der Medaille sind interdependent, indem die metaphysische Ontologie im Sinne des in Pkt. 4.1 dargelegten *Ratio-Empirismus* kaum ohne Wissensontologie auskommt, und jede sachgerechte Wissensontologie im kategorialen wie meta-ontologischen Sinne nicht ohne metaphysische Ontologie. Gemeinhin wird damit die zwingende Korrespondenz fundamentaler

Welt-, Semantik- bzw. Wissensstrukturen übersehen. Sie lässt sich zu der These verdichten, dass jedes repräsentierte Wissen immer auf dezidierten metaphysischen Voraussetzungen beruht, ungeachtet dessen, ob diese implizit bestehen oder im Zuge einer TLO-Referenz explizit vorausgesetzt werden. Die große Konfusion in der Ontologiedebatte geht vor allem auf die Nichtentsprechung des IMKO *OCF* zurück, was an sich unhaltbar ist. In der Philosophie findet sich die *metaphysische Ontologie* in Form einer Vielzahl von Ansätzen, etwa in der Ontologie Bunes. Demgegenüber läuft hier das, was als *Wissensontologie* zu bezeichnen ist, insbesondere auf die *analytische Ontologie* hinaus. Konkret ist hier der *normalsprachliche* Zweig zu nennen, wie er etwa in der *Ereignissemantik* Davidsons (1967) besteht, und in moderner Form etwa bei Higginbotham et al. (2000) thematisiert wird. In der Informatik ist – inhaltlich betrachtet – genauso eine Nichtentsprechung des IMKO *OCF* zu konstatieren: zum einen wird hier gerade im Bereich der CM-Ontologien die *metaphysische Ontologie* vertreten, allen voran die BWW-TLO, die wiederum auf der philosophischen Ontologie Bunes aufbaut. Demgegenüber steht mit AI-Ontologien die Ontologie als *Wissensontologie* im Mittelpunkt, und hier ist besonders auf jene Computerlinguisten zu verweisen, die in elementarer Weise auf dem normalsprachlichen Zweig der analytischen Ontologie, insbesondere etwa auf Davidson (1980) aufbauen. Insofern wird deutlich: Ontologie meint in beiden Disziplinen im Grunde dasselbe, allerdings wird sie hier wie dort jeweils in Form eines unverbundenen Ontologiedualismus in ganz verschiedenen, letztlich ungeeigneten Varianten vertreten.

In beiden Disziplinen bestehen auch bereits erste Ansätze, die diese unhaltbare Ontologiepraxis im Sinne einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* zu überwinden suchen. In der Philosophie ist das insbesondere Poppers *Drei-Welten-Lehre*,²³⁰⁵ die in ähnlicher Form bereits in der griechischen Antike zu finden ist, wobei sie – wie im Grunde sämtliche Poppersche metaphysische Positionen – letztlich fundamental auf der in Pkt. 4.2 behandelten Prozessmetaphysik Whiteheads aufbaut.^{2306, 2307} Während sich das einigende

²³⁰⁵ Vor dem Hintergrund verschiedenster philosophischer Auffassungen hat es umfassende Debatten um Poppers *Drei-Welten-Lehre*, insbesondere um die Existenz einer "Welt 3" gegeben, auf die hier nicht im Einzelnen eingegangen werden kann. Hier sei indessen festgestellt, dass sich die Kritik immer im Lichte der Basis, auf der sie geführt wird, relativiert. Das ist etwa bei jener Bunes der Fall, bei der die Kritik der Welt 3 unmittelbar auf seiner materialistischen Position gründet – die jedoch selbst unhaltbar ist. Vgl. zur kritischen Diskussion von Poppers *Drei-Welten-Lehre*, insbesondere seiner Welt 3 etwa Farr (1983), Settle (1983) oder Reeder/Langsdorf (1988).

²³⁰⁶ Das gilt zumindest insofern, als die Poppersche Welt 1 (W1) den *physical processes* bei Whitehead entspricht; die Welt 2 (W2) den *mental processes*, sowie die Welt 3 (W3) den *eternal processes*. Das läuft indessen auf eine spezielle W3-Interpretation hinaus, wie sie die Whiteheadsche Metaphysik allein unter dem platonistischen Gesichtspunkt zulässt. Dann gilt: W3-Artefakte sind in dieser platonistischen Interpretation als *Konzepte* (Ideen, Formen) *ewig* (eternal), während W1 und W2 *aktual* sind; sie instantiiieren nämlich mit ihren raumzeitlichen Entitäten diese Konzepte, Ideen bzw. Formen als platonische Universalien (vgl. dazu Pkt. 6.2.3). Dabei sind W1-Entitäten *physisch-aktual*, während W2-Entitäten als *mental-aktual* zu verstehen sind. Indessen ist die Poppersche Position zwar mit dieser platonischen kompatibel, doch geht sie im Zeichen des *Kritischen Rationalismus* bzw. der W2-W3-Transformation produzierter Artefakte darüber hinaus. Indessen lässt sich auch diese W3-Interpretation im Zeichen der Projektion der Whiteheadschen Prozessmetaphysik auf soziale Systeme bei Emmet (1958) verstehen. Mit Emmets Übertragung der Whiteheadschen Prozessmetaphysik auf den sozialen Bereich liegt es indessen nahe, im

Prinzip dieser Dreiteilung bereits mit Leibnizens (1714a) Automatenuniversum findet, ist bei Boole (1854) explizit von verschiedenen Welten die Rede, die der Popperschen *Drei-Welten-Lehre* zuordenbar sind.²³⁰⁸ – Poppers *Drei-Welten-Lehre* ist aus gutem Grund bereits verschiedentlich in den Zusammenhang der Ontologie der Informationswissenschaften bzw. der Informatik gebracht worden.^{2309, 2310} Dabei ist sie nicht nur bereits auf Cyberwelten projiziert worden, sondern genauso bereits auf physische Welten, indem Poppers *Drei-Welten-Lehre* im Zuge der in Pkt. 4.2 erörterten "*New Physics*" auch durch theoretische bzw. mathematische Physiker wie P. Davies (1989b), R. Penrose (1997a) oder G.F.R. Ellis (2004) im Zeichen einer kosmologischen *Scientific Ontology* bemüht wird. Indem die "*New Physics*" eine Komplexitätsphysik markiert, überrascht es nicht, wenn auch weitere ausgewiesene Komplexitätsforscher wie Casti (1997) zwischen drei Welten differenzieren. Allerdings geht es bei Casti in etwas anderer Akzentuierung als bei Popper (i) um die beobachtbare reale bzw. physische Welt, (ii) um die mathematische Welt sowie (iii) um die Computerwelt. Für letztere konstatiert Casti (1997: 202), dass sie »one foot in the real world of physical devices and one foot in the world of abstract mathematical objects« habe. Allerdings muss diese andere Akzentuierung genauso unzweckmäßig erscheinen wie jene bei R. Penrose (1997a), indem dieser die Welt 3 im Zeichen absoluter ma-

Unterschied zu Popper eine gesonderte *Welt 4* als soziale Welt abzugrenzen. – Darüber hinaus findet sich im Zeichen des geteilten *kritischen Realismus* die primäre Rolle, die das *wissenschaftliche Wissen* in allen Erkenntnisprozessen besitzt, bereits bei Whitehead, vgl. hierzu auch Emmet (1932: 45 ff.). Das gilt auch dann, wenn es durch Popper besonders herausgearbeitet wird. Die Parallelen zeigen sich ferner in dem Umstand, dass auch für Whitehead das, was später bei Popper als Welt 1 kategorisiert wird, im Zeichen des geteilten *metaphysischen Realismus* fundamental ist. Die Welt 2 ist dabei im Zeichen des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* in diese integriert. Mit Blick auf die Welt 2 spielt das *Rationalitätskriterium* bereits bei Whitehead wie auch später für Popper eine elementare Rolle.

²³⁰⁷ Vgl. zum expliziten Whitehead-Rekurs Popper in Popper/Eccles (1977: 7). Nicht konform mit Whitehead geht hingegen Poppers (1979: 243 ff.) Aufwertung des *Darwinismus* zum *metaphysischen Forschungsprogramm*, indem die organismische Philosophie Whiteheads das *universale cyber-physische Evolutionsparadigma* selbst begründet, wobei dieses in der Tradition insbesondere Hegels steht.

²³⁰⁸ Bei Boole (1854) werden bereits dezidierte Welttypen abgegrenzt. So ist etwa von der "natural world", "actual world", der "existence of a material world" oder einschränkend von einer "inorganic world" die Rede, was der Welt 1 zuordenbar ist. Bei Leibniz, Boole und Whitehead wird diese im Zeichen des "*Intelligiblen Universums*" konzipiert. Wenn Boole (1854) ferner von einer "imaginary world" oder einer "world of speculative thought" spricht, geht es offenbar um Aspekte der Welt 2. Dabei geht es auch um die Interaktion von "intellectual and the physical world", womit es um das Wechselspiel von Welt 2 und Welt 1 geht. Daneben adressiert Boole (1854) auch die "ideal world", was der Welt 3 entspricht. Das gilt auch technologisch in der Hinsicht, dass Shannons (1938) *Schaltalgebra* unmittelbar auf der Grundlage Booles (1854) steht. Wenn sich auch bei Boole kein Äquivalent für die Welt 4 findet, lässt sich diese mit Barwise (1989) ebenfalls in dieser Tradition begründen, indem es um eine "Interaktive Situationslogik" geht. Insofern diese Situationslogik bereits durch Popper bemüht wird, geht auch die Welt 4 mit seiner *Drei-Welten-Lehre* konform.

²³⁰⁹ Vgl. Brookes (1980a), Neill (1982), Sloman (1985), Abbott (1997, 1999, 2004), Bawden (2002, 2007, 2008), C. McDonald (2002, 2012), Holl/Auerochs (2004), Blackman/Henderson (2007), Iivari (2007), F.-Y. Wang (2007, 2010, 2016), Scherp/Jain (2009), Vines et al. (2011) sowie Almeida et al. (2012).

²³¹⁰ Mit Blick auf die Ontologiefrage erscheint es wenig sinnvoll, strikt zwischen den einzelnen Disziplinen zu differenzieren, weil sie mittlerweile alle einheitlich auf SW-Technologien und Aspekte wie der semantischen Interoperabilität abstellen. Auch wenn im Einzelnen gewiss zwischen *Informationswissenschaften*, *Web Science*, *Informatik* usf. zu differenzieren ist, wird hier einheitlich von *Informatik* gesprochen. Da sich die *Natur des Wissens* in der AI-Ontologie der Informatik keineswegs ausblenden lässt, erscheint für diese Zwecke vielmehr eine größere Durchlässigkeit der Disziplingrenzen erforderlich.

thematischer Wahrheit versteht und darauf einschränkt. Denn diese gilt für Popper in der Tradition Platons, Leibnizens wie Whiteheads für das Universum insgesamt. Es wird im Folgenden deutlich werden, dass die Poppersche Weltendefinition für eine *agentenbasierte* Ontologie, wie sie nicht nur die Informatik, sondern letztlich sämtliche Disziplinen – von der Kantischen Philosophie über die moderne Physik bis zur Technologie – einfordern, genau die richtige ist. Allerdings fehlt bei Popper eine *Welt 4*, die mit Multiagentensystemen (MAS) erforderlich wird. Zwar wird bereits bei G.F.R. Ellis (2004) die Poppersche *Drei-Welten-Lehre* zur *Vier-Welten-Ontologie* ausgebaut, und darin besteht gewiss das modernste, was die mathematische Physik zur Ontologie beisteuert. Allerdings ist die Ontologiekonzeption bei Ellis (2004) im Vergleich zur im Folgenden umrissenen CYPO FOX gänzlich anders konzipiert.²³¹¹ Auch wenn in metaphysischer Hinsicht weitgehende Übereinstimmung zwischen beiden Ansätzen besteht,²³¹² weicht CYPO FOX als universales Ontologieverständnis und integrierte Ontologiekonzeption maßgeblich von der *Vier-Welten-Ontologie* bei G.F.R. Ellis (2004) ab.²³¹³ Damit zusammenhängend ist festzustellen,

²³¹¹ Im Gegensatz zu Popper bezieht sich bei CYPO FOX als *integrierter metaphysischer Wissensontologie* letztere nicht allein auf die Welt 2 (subjektives Wissen) bzw. Welt 3 (objektives Wissen). Als *integrierte metaphysische Wissensontologie* bezieht sich die Ontologie vielmehr gleichzeitig jeweils auf alle vier Welten: W1-Ontologie meint demnach die auf die Welt 1 bezogene *integrierte metaphysische Wissensontologie* und das gilt für alle vier Welten dementsprechend. Wenn also von W4-Ontologie die Rede ist, dann ist damit die auf die Welt 4 bezogene *integrierte metaphysische Wissensontologie* gemeint, die sowohl die metaphysischen, mithin kategorialen Aspekte als auch den wissensontologischen Gesichtspunkt der formalen Repräsentation berücksichtigt. Demgegenüber fällt alle formal repräsentierte Ontologie speziell unter dem metaphysischen Artefaktgesichtspunkt bzw. im methodologischen Sinne von Poppers objektiven Wissen unter Poppers W3-Kategorie der Artefakte.

²³¹² Konformität besteht etwa hinsichtlich der metaphysischen Grundpositionen vor dem Hintergrund des geteilten Komplexitätsparadigmas, dem damit verbundenen "neuen", an komplexen Systemen orientierten Physikverständnis, der informationstheoretischen Interpretation des Universums im Sinne Wheelers, dem emergentistischen Ontologieverständnis als Mehrweltenontologie, der Einsicht zur notwendigen zusätzlichen Unterteilung der Welttypen in Subwelten, sowie der Annahme der (abgestuften) Realität aller vier Welten. Auch wird mit G.F.R. Ellis (2004) deutlich, dass mathematische Physiker sich nicht mehr mit der sparsamen Ontologiekonzeption Quines zufrieden geben, während diese ganz im Geiste der mathematischen Physik steht. Vielmehr wird durch G.F.R. Ellis (2004) offensichtlich eine reale, metaphysische Ontologie eingefordert, die Momente wie jenes der Transdisziplinarität genauso zu berücksichtigen sucht wie etwa die Emergenz komplexer Systeme. Insofern wird auch hiermit die notwendige Rückbesinnung von Quine zu Whitehead indirekt untermauert.

²³¹³ Zu den wichtigsten Unterschieden gehören folgende fünfzehn Aspekte: (i) Ellis bezieht sich zwar auf die Metaphysik, jedoch nicht auf ein konkretes und damit kritikables metaphysisches Programm, insbesondere nicht auf eine techno-wissenschaftliche *Klasse-4-Metaphysik* als Digitalmetaphysik, wie sie in Pkt. 4.2 definiert wird; (ii) zwar geht es auch bei Ellis um Kategorien wie Ereignisse, Prozesse und Objekte, jedoch fehlt deren Verhältnisbestimmung – das unabdingbare *Kategoriensystem* als Basis jeder sachgerechten Ontologie fehlt mitsamt der systematischen Bestimmung seiner *meta-ontologischen* Aspekte; (iii) Ellis ist rein wissenschaftlich bzw. philosophisch orientiert, nicht aber technologisch bzw. praktisch; (iv) Die metaphysische Ontologie von Ellis basiert mit Pkt. 4.1 auf einer Klasse-3-Metaphysik, unterscheidet sich gegenüber der Bungeschen jedoch vor allem durch die vorausgesetzte Realität aller vier Welten; (v) die Ontologie bei Ellis ist rein metaphysisch orientiert, jedoch in keiner Weise eine AI-Ontologie, es handelt sich damit weder um eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* noch um eine integrierte Ontologiekonzeption; (vi) damit stellt sie nicht im Sinne Neumanns auf sämtliche Automatenklassen, insbesondere nicht auf Agentenwelten bzw. MAS-Welten von AI-Systemen ab; (vii) die Welt 4 von Ellis stellt auf die mathematische Realität ab, während bei CYPO FOX alle vier Welten im Sinne der mathematischen Logik und *World Automata* zur mathematischen Realität gehören; (viii) wenngleich sie auf Poppers *Drei-Welten-Lehre* aufbauen, sind die vier Welten von Ellis jenseits seiner Welt 1 nicht mit den Popperschen Welten kompatibel; (ix) es ist kein Prinzip erkennbar, über das sich

dass die Ontologiefrage bei Ellis (2004) weder im Zeichen der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* steht noch überhaupt auf die Zwecke der Informatik bezogen ist. Daraus folgt auch eine andere Abgrenzung der Welten, wobei jene von Ellis unter den universalen wie integrativen Gesichtspunkten einer agentenbasierten cyber-physischen Ontologiekonzeption insgesamt nicht überzeugen kann, indem sie allein auf die Belange einer metaphysisch fundierten mathematischen Physik zielt.

Wenn in der Philosophie wie insbesondere in der Informatik "Ontologie" nicht nur als *metaphysische Ontologie*, sondern genauso als *Wissensontologie* verstanden wird, ist nicht nur das Nebeneinander dieses Ontologiedualismus abzulehnen. Vielmehr sind auch die bisherigen Vorstellungen von dem zurückzuweisen, was unter *metaphysischer Ontologie* einerseits und was unter *Wissensontologie* andererseits zu verstehen ist. Diese landläufigen Vorstellungen sind aus dem Grunde abzulehnen, weil sie sich im Allgemeinen jeweils ohne die Sicht auf das andere begründen. Im Unterschied zum IMKO OCF ignorieren sie gewissermaßen das jeweilige Pendant. Während die Kritik der *metaphysischen Ontologie* im Einzelnen in Pkt. 4.1 erfolgt, ist hier das besondere Augenmerk auf die *Wissensontologie* zu richten. Tatsächlich meint man insbesondere im Zusammenhang mit AI-Ontologien der Informatik, dass das, was gemeinhin als "Ontologie" bezeichnet wird, *Wissensontologie* sei. In Wirklichkeit aber geht die bisherige AI-Ontologie jedoch an dem, was *Wissensontologie* tatsächlich ist, im Allgemeinen komplett vorbei. Diese Tatsache wird an keiner AI-Ontologie besser deutlich als an jener Grubers (1995), indem diese insbesondere auf Kommunikationsprozesse und entsprechende Vokabularien abstellt. Bisherige AI-Ontologien lassen sich gemeinhin zwar treffend als *linguistische Ontologien* bezeichnen, aber wohl kaum als *Wissensontologien*. Tatsächlich bauen sie auf *linguistischen Konzepten*, nicht aber auf einer *Theorie des Wissens* auf. Um in etwa eine Vorstellung von dem zu

die vier Welten von Ellis integrieren lassen, während diese Integrationsfunktion bei CYPO FOX den Kern der TLO-Referenz ausmacht; (x) es werden nicht im Sinne Searles institutionenbasierte *Soziale Welten* abgegrenzt, die bei Ellis vielmehr mit in die Welt 2 verschoben werden – damit entspricht diese jedoch nicht mehr Poppers Subjektivitätskriterium bzw. den AI-relevanten agentenbezogenen *Belief Systems*; (xi) sie kann damit nicht auf eine ontologische *Einheit der Wissenschaften* und ein voll entfaltetes Transdisziplinaritätsmoment zielen; (xii) Ellis Ontologiekonzeption ist in dem Sinne keine emergentistische, als die Welten nicht systematisch im Sinne der Emergenz aufeinander aufbauen; (xiii) es fehlt die Differenzierung zwischen subjektiver (W2) Ontologie und objektiver bzw. objektivierter (W3) Ontologie, die bei Popper in wissenschaftstheoretischer Hinsicht von Belang ist; (xiv) im Gegensatz zu CYPO ist sie insgesamt weder MAS- noch CPSS-adäquat, indem der *gleichzeitige* Zugang zu *physisch-realen* wie *virtuellen* Welten in ihrer Komplexität auf Basis von *Complex Adaptive Systems* (CAS) nicht berücksichtigt wird; (xv) damit einher geht ein defektes bzw. veraltetes Adaptionsverständnis, das an biologischen Prozessen sowie an den Regelkreisen der Kybernetik festgemacht wird, nicht an Agenten in *Complex Adaptive Systems* (CAS), wie es die *Theorie komplexer Systeme*, speziell die Automatentheorie und insgesamt die *CYPO World Automata* nahelegen. Mit den *World Automata* ist impliziert, dass sich die *Theorie zellulärer Automaten* als für die Zwecke der Informatik adäquate *Theorie komplexer Systeme* im Zeichen von *Complex Adaptive Systems* (CAS) universal auf alle vier Welten von CYPO FOX anwenden lässt. Das entspricht der Doppelfunktion der Booleschen Algebra mathematischer Logik, indem diese gleichzeitig eine raumzeitliche, auf physische Welten applizierbare wie eine propositionale Logik, also eine Aussagenlogik verkörpert. Alle vier Welten werden dabei durch die Whiteheadschen Kategorien transzendiert, allen voran durch die Grundkategorie des Ereignisses, die für sämtliche vier Welten konstituierend ist. Demgegenüber bleibt festzustellen, dass das Ontologieverständnis von Ellis für die Zwecke der Informatik insgesamt unpassend ist.

bekommen, was "Ontologie" als *Wissensontologie* ausmacht, kommt weder die Philosophie, noch die Informatik an Poppers *Drei-Welten-Lehre* vorbei. Für die Ontologiediskussion beider Disziplinen ist sie entscheidend, ganz gleich, welche Position zu ihr eingenommen wird. Mit anderen Worten sollte die Ontologiekontroverse deshalb auf Poppers *Drei-Welten-Lehre* bezogen werden, weil sie Gesichtspunkte bietet, die es in dieser Kontroverse notwendig zu berücksichtigen gilt.²³¹⁴

Zu den in der Ontologiekontroverse zwingend zu berücksichtigenden Gesichtspunkten Poppers gehören etwa die durchaus umstrittene Frage nach der Existenz seiner Welt 3, sowie etwa Poppers *methodologisch* begründete Differenzierung zwischen subjektivem vs. objektivem Wissen. Tatsächlich stellen sich im Rahmen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* diese Fragen insofern neu, als sie für eine CPS- resp. MAS-adäquate Ontologie überaus entscheidend sind. Konkret ist für sie die Existenz der Welt 3 mit CPS-Cyberwelten genauso notwendig vorauszusetzen, wie auch die Differenzierung zwischen subjektivem und objektivem Wissen samt entsprechender Wahrmacher für sie überaus elementar ist. Sie ist entscheidend etwa für die Korrektur von Smithens verfehlten *Scientific Ontologies*, den Gedanken der Referenzontologie, das Zusammenspiel von wissenschaftlichen und technologischen Ontologien oder etwa den Unterschied zwischen *Knowledge Systems* und tradierten *Belief Systems*. Genauso wesentlich ist die Welt 3, um den ontologischen Zugang zur *Superintelligenz* der dritten AI-Generation zu eröffnen. Für all diese Fälle wird *objektives Wissen* für die Informatik zentral. Das gilt allein schon im Zuge der *Revision epistemologischer Ontologien*, wie sie in der AI-Disziplin seit langem wie aktuell als "*belief revision*" diskutiert wird.²³¹⁵ Eine solche Revision bezieht sich grundsätzlich insbesondere auf metaphysische, semantische sowie domänenbezogene inhaltliche Differenzen bzw. Defekte. Allerdings bleiben dabei die dafür eigentlich zentralen Momente, nämlich die *TLO-Referenz* sowie die Idee der *Referenzontologie*, im Allgemeinen unberücksichtigt.

Insgesamt gilt, was D. Moore (1992) im Zuge seiner *Metaphysics of the Computer* konstatiert: »The new kind of knowledge is holistic in nature. It is a knowledge that takes into account the intelligence that acquires it – the two cannot be separated as in the more primitive sciences of our day«. Letztlich geht es auch bei D. Moore (1992) um ein vollumfänglich verstandenes Transdisziplinaritätsmoment, wenn er feststellt: »It will be the epoch where the disparate forms of knowledge and scientific practices of bygone eras, become unified under the one intellectual and philosophical umbrella«. Allerdings kommt in Moores (1992) *Metaphysik* weder eine konkrete Metaphysik noch Ontologie vor, schon gar nicht eine *TLO-basierte Wissensontologie*. Damit weisen seine Überlegungen zwar in die richtige Richtung, bleiben jedoch visionär. Auch wenn Moore (1992) Poppers *objektives Wissen* ähnlich wie später D. Deutsch (2011) dessen *Fallibilismus* in den Kontext der Informatik setzt, übersehen beide die für die konkrete Umsetzung wesentlichen Popperschen

²³¹⁴ Vgl. hierzu auch Brookes (1980a, 1980b, 1980c, 1981); vgl. hierzu kritisch Rudd (1983).

²³¹⁵ Vgl. dazu etwa J.P. Martins (1987), Nebel (1989), Rao/Foo (1989), S. Kang/Lau (2007), Peppas (2008) sowie Ribeiro (2012).

Aspekte, insbesondere die Relevanz seiner *Drei-Welten-Lehre*, die für eine solch integrierte Ontologiekonzeption unabdingbar ist. Tatsächlich erstreckt sich eine CPSS-adäquate Ontologie in komplex-adaptiven "*Reality Machines*" nicht nur *gleichzeitig* auf alle drei Popperschen Welten, sondern dreht sich insbesondere um jene Interaktion zwischen diesen Welten, die durch Popper bereits jenseits der Informatik besonders hervorgehoben wird. Es geht also gerade um ihre Interdependenz, genauso wie um ihre Integration durch ein einheitliches TLO-Fundament, ohne das eine zukunfts offene Konzeption intelligenter Cyber-physischer Systeme (CPS) kaum in geeigneter Weise möglich ist.

Mit Popper zeigt sich, dass *Wissensontologie* etwas völlig anderes ist als *linguistische Ontologie*, indem letztere für erstere nicht zwingend notwendig ist, während erstere über letztere weit hinausgeht. Mit Popper wird daneben bereits in Umrissen deutlich, wie sich das notwendige metaphysische und wissensontologische Zusammenspiel im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF darstellt. Zwar markiert Poppers *Drei-Welten-Lehre* eine metaphysische Position, allerdings verfügt Popper nicht über eine eigene Metaphysik. Natürlich gibt es eine Metaphysik, die mit der Popperschen Position durch und durch korrespondiert, und das ist – wie oben festgestellt – die Metaphysik Whiteheads, deren Sichtweisen Popper *explizit* vertritt.²³¹⁶ Vor diesem Hintergrund ist die Antwort auf die Frage, wie sich diese *integrierte metaphysische Wissensontologie* konkret darstellt, nur im Rekurs auf die Whiteheadsche Metaphysik zu beantworten.

Mit Blick auf die Semantik bilden die Überlegungen Whiteheads (1929a) die zentrale Basis *metaphysischer Ontologie*, während jene Poppers (1967, 1972a) den sachgerechten Zugang zur passenden *Wissensontologie* eröffnen. Für die Weiterentwicklung der Ontologie der Informatik sind beide Gesamtwerke elementar; einzeln, aber insbesondere in ihrer Kombination, die dadurch möglich wird, dass Popper dezidiert Whiteheadsche Positionen vertritt. Die Relevanz beider Werke gilt einerseits mit Verweis auf Pkt. 4.1 im Sinne der *fundamentalen Strukturen der Welten*, indem die *metaphysische* Berücksichtigung von Evolutions- und Komplexitätsgesichtspunkten zwingend wird. Andererseits setzt das richtige Verständnis jeder *Wissensontologie* eine *Theorie des Wissens* voraus. Beides gilt insbesondere mit Blick auf eine CPS- wie MAS-adäquate Ontologie, indem diese auf eine Kombination der Standpunkte Whiteheads und Poppers hinausläuft.

Schon mit Frege (1918) deutet sich an, dass *Wissensstrukturen* immer bezogen sind auf die *fundamentalen Strukturen* jener Welten, die sie repräsentieren. Beides ist also unmittelbar miteinander verkoppelt, wobei der Semantik eine Mittlerposition zukommt. Wenn die Klärung dieser fundamentalen Strukturen der Welt bzw. aller Diskurswelten und damit auch die Klärung der fundamentalen Strukturen der Realität allein Sache der Metaphysik ist, wird deutlich, dass Wissensontologie nicht ohne Metaphysik auskommt. In diesem Sinne ist Ontologie immer als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu verstehen und kann sachgerecht gar nicht anders verstanden werden. Dass die Informatik zwingend

²³¹⁶ Vgl. Popper in Popper/Eccles (1977: 7).

eine *Mehrweltenontologie* vorauszusetzen hat, während sämtliche ihrer heterogenen Ontologiekonzepte durchweg *Monoweltenontologien* darstellen, ist vor dem Hintergrund beider Seiten dieser *integrierten metaphysischen Wissensontologie* zu sehen: Denn das zwingende Voraussetzen einer Mehrweltenontologie lässt sich einmal – insbesondere mit Whitehead – in *metaphysischer* Hinsicht, und einmal – insbesondere mit Popper – in *wissensontologischer* Hinsicht begründen. Auch wenn es nicht um dezidierte *Mehrweltenontologien* geht, ist doch bemerkenswert, dass es bereits im ersten Ontologiekonzept der Informatik, nämlich im Zuge der Übernahme des Ontologiebegriffs aus der Philosophie in die Informatik durch Mealy (1967) das Erfordernis zur Differenzierung von *drei Ebenen*, nämlich einer (i) realen, (ii) einer kognitiven und (iii) einer Symbolebene erkannt wird:

»To begin on a philosophical plane, let us note that we usually behave as if there were three realms of interest in data processing: the real world itself, ideas about it existing in the minds of men, and symbols on paper or some other storage medium. The latter realms are, in some sense, held to be models of the former. Thus, we might say that data are fragments of a theory of the real world, and data processing juggles representations of these fragments of theory.«²³¹⁷

Allerdings korrespondieren diese Ebenen nicht mit Poppers *Drei-Welten-Lehre*, sondern vielmehr mit dem in Pkt. 3.3.2 diskutierten *semiotischen Dreieck* von Ogden/Richards (1923). Wie oben erwähnt, finden sich diese drei Ebenen bereits in der griechischen Antike, speziell bei Platon in Form einer Dreiteilung von Physis, Psyche und Logos.²³¹⁸ Dabei ist jene Ebene, die Poppers Welt 3 kennzeichnet, gar *die einzige*, die für Platon real ist.²³¹⁹ Ähnlich findet sie sich bei den Stoikern, die inhaltlich zwischen Sachverhalt, Bezeichnetem und semiotischer Zeichenebene unterscheiden. Einige Jahrhunderte später taucht diese Dreiteilung bei B. Bolzano (1837) wieder auf. Auch wenn die dortigen Ausführungen nicht ganz eindeutig sind, ist auch hier auf eine angenommene Realität der Ebene 3 zu schließen. Dabei bezieht sich diese Ebene allerdings ausschließlich auf Bolzanos Welt der "Sätze an sich" und auch sind die drei Ebenen mit Sprache, Gedanke und Logik teils andere als bei Platon oder den Stoikern. Bei Frege (1918) handelt es sich wiederum – anders als bei Bolzano – mit dem Bezug auf die *Dinge der Außenwelt* um eine Einteilung, die bereits ein wenig stärker in Richtung von Poppers drei Welten weist.

Während die genannten Dreiteilungen entweder in der Philosophie, in der Logik oder in der Linguistik vorgenommen werden, halten sie direkt mit Mealy (1967) Einzug in die

²³¹⁷ Mealy (1967: 525).

²³¹⁸ Popper steht allein in *metaphysischer* Hinsicht in *platonistischer Tradition*; insbesondere in Bezug auf Platons *Eleatisches Prinzip*, das direkt mit der antimaterialistischen "*Metaphysics of Causation*" zusammenhängt, die Leibniz, Whitehead, Popper und andere Philosophen eint. In dieser Tradition steht auch Poppers *Drei-Welten-Lehre*. Selbst die Welt 3 wäre falsch interpretiert, wenn man sie nicht platonistisch auslegt: sie hat bei Popper zwar geistige bzw. kulturelle Artefakte zum Gegenstand, jedoch sollte man diese nicht etwa im Heideggerschen oder in einem sonstigen metaphysischen Sinne interpretieren. Vielmehr sind diese Artefakte bei Popper immer in ihrem Entdeckungszusammenhang zu sehen, wie er es etwa am Beispiel der Primzahlen verdeutlicht. Analog setzt auch jedes technische Artefakt voraus, dass es im Kosmos entdeckt werden konnte bzw. ist nur das im Kosmos möglich, was in raumzeitlicher Hinsicht kosmologisch möglich ist. Indem Popper metaphysisch Whitehead folgt, ist auch die Welt 3 insgesamt in dieser platonistischen Weise auszulegen. Indessen richtet sich bekanntlich Poppers (1992a, 1992b) *Sozialphilosophie* entschieden gegen die gesellschaftstheoretischen Ideale Platons.

²³¹⁹ Vgl. auch Popper (2012: 64).

Ontologie der Informatik. In jüngerer Zeit wird nicht nur das *semiotische Dreieck* mit Guarino und anderen in der Disziplin an sich häufig bemüht. Auch wird die bereits bei Mealy (1967) vorgenommene Differenzierung von drei Ebenen wieder ins Spiel gebracht, konkret durch Verfechter der BFO-TLO.²³²⁰ Wenn man hier analog zu Mealy (1967) zwischen drei Ebenen differenziert, wird die enge Korrespondenz zum *semiotischen Dreieck* von Ogden/Richards (1923) vollends offensichtlich. Denn die BFO-Protagonisten berufen sich mit ihren drei Ebenen explizit auf diese. – Indessen ist festzustellen, dass diese linguistisch gemeinte Dreiteilung nicht etwa im Sinne einer *Mehrweltenontologie* für die Konzeption der BFO-TLO an sich konstituierend ist. Erwähnenswert ist jedoch, dass B. Smith (1998a) mit seiner Differenzierung von *R-ontologies* (referent- or reality-based ontologies) und *E-ontologies* (elicited or epistemological ontologies) der Sache schon näher kommt, indem diese offensichtlich nicht mehr rein linguistisch gemeint ist. Doch auch sie ist nicht für die BFO-TLO konstituierend; es sind vielmehr Überlegungen, die Smith nur am Rande vollzieht, auch wenn sie überaus wesentlich sind.

Damit schließt sich der Kreis insofern, als festzustellen ist, dass das in Pkt. 1.2 dargelegte Kernproblem der Inkommensurabilität der Ontologieauffassungen bereits in diesem theoretischen Kern der linguistischen Ansätze gegeben ist. Denn in Platons Realitätsauffassung wird mit dem *transzendentalen Realismus* bzw. Platonismus in der Universalienfrage eine gänzlich andere Position vertreten als beim *immanenten Realismus* bzw. Aristotelismus, der insbesondere für die Verfechter der BFO-TLO gesetzt ist. Dabei dreht sich das für die Ontologie entscheidende Realitätsverständnis insofern um, als mit dem *immanenten Realismus* und entsprechend des empirischen Wahrnehmers allein der Ebene 1 Realität zugeschrieben wird. Somit liegt offenbar nicht nur mit Ullmann (1962: 56 f.) der "Referent" jenseits der Linguistik, sondern vielmehr sind *alle* drei Dimensionen insofern nicht linguistisch zu fassen, als sich sowohl ihre arteigene Abgrenzung wie ihr Zusammenspiel allein *metaphysisch* bzw. *epistemologisch* bestimmen lassen. Denn es steht in Frage, ob diese drei Ebenen bzw. Dimensionen existieren, inwiefern die Ebene 1 auf die Realität verweist, was Ebene 2 zu erkennen imstande ist, oder wie auf Ebene 3 der Universalienstreit zu entscheiden ist, den Verfechter linguistischer Ontologie wie Geneseth/Nilsson (1987) oder Gruber (1993, 1995) bewusst zu umgehen suchen. In einer realweltlichen CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption sind solche Fragen indes aufzulösen. Wenn eine solche *metaphysische* Bestimmung erforderlich wird, sollte man nicht versuchen, derartige metaphysische Fragen in andere Disziplinen zu verlagern. Wie die linguistische Diskussion der drei Ebenen im Kontext des semiotischen Dreiecks bereits erahnen lässt, kommt man bei dieser metaphysischen Bestimmung an Poppers *Drei-Welten-Lehre* nicht vorbei, ganz gleich, welche Position man zu dieser bezieht. Das gilt nicht nur mit Blick auf Smithens *R-ontology* und *E-ontology*, sondern gerade auch mit Blick auf

²³²⁰ Vgl. Smith/Kusnierczyk et al. (2006), Ceusters (2006), Ceusters/Smith (2006a), Smith/Brochhausen (2010) sowie Ceusters/Manzoor (2010); vgl. hierzu ergänzend McCusker et al. (2011).

die für die Informatik genauso wesentliche *Ontologie der Artefakte*, die in Pkt. 4.6 behandelt wird. Denn natürlich gehen für die Informatik relevante Artefakte etwa in CPS-, AL- oder ODIS-Welten über Bolzanos Welt der "Sätze an sich" oder Freges "Gedanken" genauso grundlegend hinaus wie über Mealy's dritte Ebene der "Symbole".

Jenseits dieser rein linguistisch verstandenen dritten Ebene ist die Welt 3 bei Popper eine völlig andere. Denn diese repräsentiert nicht nur die metaphysische Welt *sämtlicher* abstrakten Objekte,²³²¹ sondern ist als solche inhaltlich insgesamt als technologische Welt zu verstehen. In der Tat korrespondiert diese genau mit dem, was gerade auch in der Informatik als *Ontologie der Artefakte* klassifiziert wird. Es steht außer Frage, dass eine solche *Ontologie der Artefakte* in verschiedenen Hinsichten anders gelagert ist als die etwa für GIS-Anwendungen relevante *Ontologie der Natur*, die auch Gegenstand von Smithens (1998a) *R-ontology* ist. Genauso, dass grundsätzliche Unterschiede zu der in ihren klassischen *Belief Systems* bemühten *epistemologischen Ontologie* bestehen, wie sie auch bei B. Smith (1998a) in Form der *E-ontology* vorkommt. Zweifelsohne bestehen in der Informatik diese drei Ontologietypen schon heute, allerdings nebeneinander in völliger Isolation. Gerade darin besteht ein grundsätzlicher Defekt, und zwar in gleich zweifacher Hinsicht: erstens können die Entitäten, die diesen drei Ontologietypen zugrundeliegenden, nicht in einer *Monoweltenontologie* beliebig miteinander vermengt werden: eine solche Praxis würde bei AI-Systemen, die bei sicherheitskritischen Prozessen komplexer Systeme in realweltlichen "*nontoy worlds*" operieren, fundamentale Probleme implizieren. Insofern sind die grundsätzlich disparaten Welttypen, auf die sich die genannten Ontologietypen beziehen, zu identifizieren und zu separieren. Das heißt, dass Objekte bzw. Ereignisse usw. welttypisch abzugrenzen sind; denn im Einzelnen geht es um völlig unterschiedliche Entitäten, selbst wenn sie sich auf eine gemeinsame TLO-Referenzbasis beziehen lassen.

Vor diesem Hintergrund kommt die Informatik insofern nicht an Popper vorbei, als allein hier die Welt 3 nicht in der problematischen wie völlig unzureichenden linguistischen Tradition steht, sondern in der metaphysischen. Ungeachtet der auf den ersten Blick gegebenen Parallelen bestehen somit in Wirklichkeit grundlegendste Unterschiede zwischen den drei *linguistischen* Ebenen des *semiotischen Dreiecks* und den drei *metaphysischen* Welten von Poppers *Drei-Welten-Lehre*. Dabei spielt offenbar die Art von Objekten und Ereignissen eine entscheidende Rolle. Denn es geht mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 primär weder um sprachliche Objekte noch um insbesondere auf Sprachobjekte bezogene Ereignisse. Die eigentliche Bezugsbasis bilden vielmehr konkrete bzw. abstrakte Objekte und Ereignisse der einzelnen *materialen Welten*, deren Integration allein über metaphysisch fundamentale Kategorien gelingen kann. Das läuft auf Objekte und Ereignisse hinaus, die in ihrer Konzeption mit der *Theorie komplexer Systeme*, speziell mit jener der Automatentheorie kompatibel sind. Tatsächlich wird Ontologie bereits mehr oder weniger rudimentär wie implizit in diesem Automaten-sinne als *Mehrweltenontologie* praktiziert, nämlich inso-

²³²¹ Vgl. hierzu Popper (1972a, 1978a).

fern, als McCarthy (2002) das Erfordernis erkennt, *interne und externe Ereignisse* kombi-
nativ zu adressieren.

Bei Brookes (1981) findet sich dies ähnlich, dann jedoch im expliziten Rekurs auf die Poppersche *Drei-Welten-Lehre*. In der Tat ist für agentenbasierte CPS die bereits durch Brookes (1981) dargelegte Dualität, Parallelität und Interaktion der objektiven Welt 1 mit der subjektiven Welt 2 wegweisend. Für die ontologische Synthese der Informatik mitsamt der Lösung ihres Ontologieproblems ist sie unerlässlich, bleibt jedoch mit Blick auf die *Ontologie der Artefakte* zu erweitern, und zwar um die Poppersche Welt 3. Mit CYPO FOX sind indessen auch diese drei Welten noch nicht als ausreichend zu erachten. Denn die *Semantic E-Science* zielt nicht allein auf die *Ontologie der Natur*, sondern auch auf eine *Ontologie sozialer Realität*, wie sie etwa bei Mulligan (1987) oder Searle (1995) grundsätzliche Erörterung findet. Das ist auch im Zuge der verschiedenen unten genannten Ansätze in einzelnen sozialwissenschaftlichen Disziplinen der Fall. Wie im Folgenden deutlich wird, gibt es zwar wesentliche methodologische Gemeinsamkeiten zwischen der *Ontologie der Natur* und der *Ontologie sozialer Realität*, allerdings auch elementare Unterschiede. Diese zeigen sich vor allem durch die subjektivistische W2-Rationalität wie durch W3-Artefakte, speziell durch Institutionen bestimmt, so dass darauf aufbauend für soziale Welten eine separate Welt 4 als Welttypus erforderlich wird. Das gilt insbesondere mit Blick auf das Kriterium der MAS-Adäquanz, indem Agenten in MAS-Strukturen nicht nur spezifische Rollen besitzen, sondern insgesamt sozial organisiert sind.²³²² Die Welt 4 ist also die *soziale Interaktionssphäre* natürlicher wie maschineller Agenten, wobei für letztere schon bei Bratmans (1987) klassischem BDI-Agentenmodell Aspekte wie soziale Zieldivergenzen von Agenten und dergleichen mehr angelegt sind. Diese *soziale Interaktionssphäre* bezieht über maschinelle Agenten hinausgehend das *Social Internet of Things* (SIoT) bzw. *Internet of Social Things* oder *Social Web of Things* und damit *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) mit ein. Auch in diesen Fällen geht es dann um den Einbezug der *sozialen Netzwerkanalyse*, was auch hier dem empirischen Ontologietypus entspricht.²³²³

Somit läuft die Lösung des Ontologieproblems der Informatik auf das IMKO OCF in Kombination mit CYPO FOX als integrativer Ontologiekonzeption hinaus, deren elementare TLO-Referenz auf eine Synthese der kompatiblen Positionen Whiteheads und Poppers fußt. Diese Synthese begründet erst die integrierte metaphysische Wissensontologie, indem die Wissensontologie wesentlich auf Popper, die metaphysische Ontologie wesentlich auf Whitehead aufsetzt. Dabei kann vor dem metaphysischen Hintergrund eine solche Verschmelzung allein im Ganzen als sinnvoll erscheinen, womit Metaphysik, Epistemologie und Methodologie als Einheit zu behandeln sind. So ist etwa zu beachten, dass Poppers *Drei-Welten-Lehre* als metaphysische Position in direkter Verbindung zum *Kritischen Rationalismus* als methodologischer Position steht, der gleichzeitig elementar den Popper-

²³²² Vgl. hierzu etwa Boella/Van der Torre (2004, 2006).

²³²³ Vgl. hierzu Pintus et al. (2012) sowie L. Yao/Sheng et al. (2014).

schen (1997a, 2002) *kritischen Realismus* voraussetzt, der sich in gleicher Weise bereits bei Whitehead findet. Natürlich sind auch bei ihm Metaphysik, Epistemologie und Methodologie interdependent und als Einheit zu behandeln, wobei von einer generellen Konformität Whiteheads und Poppers ausgegangen werden muss.²³²⁴ So verläuft auch ihr Realitätsverständnis analog, während im Folgenden wie im Detail in Pkt. 5.3 deutlich wird, dass dies bereits bei Bunge ganz anders ist, auch wenn dieser mit seinem *Scientific Realism* dem *Kritischen Rationalismus* in seinen methodologischen Grundsätzen nahesteht.

Indessen bleiben bei der Differenzierung der Welttypen insbesondere die Unterschiede zwischen dem linguistischen und dem metaphysischen Ansatzpunkt entscheidend: Exemplarisch herausgegriffen beginnen diese Unterschiede schon damit, dass bei Mealy (1967) allein der Referent bzw. die erste Ebene (bei Popper: Welt 1) real ist, während bei Popper *alle* Welten real sind. Genauso ist Ebene 2 bei Mealy allein Intension (bzw. "Thought") in Bezug auf Ebene 1 (Extension), während die Welt 2 bei Popper als Welt aller psychologischen Zustände im Sinne des Whiteheadschen *Subjekts-Superjekts* sehr viel weiter gefasst ist, also etwa auch Imagination und Invention mit umfassen kann. Schließlich verkörpert die dritte Ebene Mealys lediglich die Symbolebene zur Repräsentation der zweiten Ebene. Demgegenüber ist die Welt 3 bei Popper extrem weit gefasst und umschließt prinzipiell *sämtliche* Artefakte, also auch etwa Theorien, Institutionen, Kunstwerke, Verfahren bzw. insgesamt Technologien. Das heißt, hier gibt es auch Artefakte, die anders als die Symbolik Mealys überhaupt keinen Bezug zur Ebene 1 aufweisen, wenngleich auch diese Symbolik in der Welt 3 mit abgedeckt ist. Es geht in solchen Fällen also nicht um die symbolische Repräsentation der anderen beiden Ebenen, sondern um Immaterielles, etwa um Ideen, Kompetenzen, Routinen oder Verfahren. Lakatos (1978) verortet hier auch seine *wissenschaftlichen Forschungsprogramme*,²³²⁵ und wo wollte man sie auch anders verorten, wenn nicht in der Welt 3?

Lakatos' (1978) Position entzweit die moderne wissenschaftliche Philosophie: entweder man ordnet in einem zeitgemäßen Realitätsverständnis, wie es nicht zuletzt für die Zwecke der Informatik einzufordern ist, solche Entitäten wie Lakatos (1978) der Welt 3 zu und erklärt diese in einem erweiterten Realitätsverständnis als real. Oder aber man streitet wie Bunge die tatsächliche reale Existenz solcher Forschungsprogramme und anderer W3-Entitäten im materialistischen Sinne ab. Ontologie ist jedoch wie dargelegt nicht nur immer metaphysische Ontologie, sondern genauso Wissensontologie. Und also solche kann sie nicht auf einem Materialismus, Physikalismus oder Naturalismus gründen. Das gilt auch gerade mit Blick auf die technologische bzw. praktische Ontologie, wie es in Pkt. 4.6 mit der *Ontologie der Artefakte* noch deutlicher wird. Aber nicht nur in diesem Sinne ist die Welt 3 in einer integrierten Ontologiekonzeption gesetzt, sondern auch notwendig in kau-

²³²⁴ Inkompatibilität besteht indessen bzgl. Poppers (1979: 243 ff.) Rede vom *Darwinismus* als *metaphysisches Forschungsprogramm*, indem dieses mit dem *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigma* Whiteheads nicht ohne weiteres kompatibel ist.

²³²⁵ Vgl. Lakatos (1978: 91, Fn. 2).

saler Hinsicht. Das zeigen etwa Cyber-physische Systeme (CPS), wenn Artefakte kausal in der Welt 1 wirken. Die Welt 3 ist entsprechend nicht, wie es der Materialismus, Physikalismus und schließlich der Naturalismus mehr oder weniger direkt behaupten, Illusion, sondern mit Popper Bestandteil der Realität.²³²⁶ Die Welt 3 ist bei Popper also weniger linguistischer als vielmehr metaphysischer Natur, wobei sie im Artefakt- bzw. Verfahrensinne als technologische Welt zu verstehen ist. Insgesamt steht der Poppersche Ansatz mit den endogenen Momenten seiner drei Welten im Zeichen einer *Ontologie des Werdens*, während das semiotische Dreieck im linguistischen Sinne auf eine *Ontologie des Seins* hinausläuft. Gewiss ist weder das semiotische Dreieck noch linguistische Ontologie als solche emergentistisch konzipiert, womit sich bereits potentielle Konflikte mit Ontologien komplexer Systeme andeuten. Insgesamt zeigt sich, dass jede Gleichsetzung des *semiotischen Dreiecks* der Linguistik mit Poppers metaphysischer *Drei-Welten-Lehre* unangemessen wie insgesamt unzulässig ist.

Von *Wissensontologie* lässt sich nur dann sprechen, wenn es in der Informatik über ihre tradierten *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) hinausgehend tatsächlich um echte *Wissenssysteme* geht. Bei diesen ist die metaphysische Komponente insofern zwingend von vornherein zu inkorporieren, als es in CPS-Kontexten um *realweltliche Intelligenz* geht, deren Konzeption die sich abzeichnende Entwicklung zur *Superintelligenz* nicht von vornherein verstellen sollte. Tatsächlich beruht diese, wie mit Pkt. 6.3 deutlich wird, nicht zuletzt auf einer sachgerechten Konzeption einer Wissenssystematik, mithin auf einer *Theorie des Wissens*, die für die Ontologiearchitektur die notwendige Orientierung vorgeben kann. Gilt es tatsächlich die Potentiale intelligenter AI-Systeme auszuloten, muss die AI-Disziplin nicht nur im Sinne Newells (1990) oder Simons (1992) die Auseinandersetzung mit epistemischen Prozessen als solchen suchen, sondern sich insbesondere auch der Frage der *Natur des Wissens* zuwenden. Allerdings wird dies heute kaum vollzogen, wenngleich es mit der Wissensrepräsentation (KR) an sich naheliegt. Würde die Informatik sich dieser Auseinandersetzung stellen, müsste sie zur Einsicht gelangen, dass es einen direkten Bezug zwischen ihren tradierten *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) und modernen *Wissenssystemen* (Knowledge Systems) gibt.

Nicht nur in Sachen der Ontologie, sondern genauso mit Blick auf die Epistemologie muss die Disziplin umdenken, indem spätestens mit *Scientific Ontologies* auch ein radikaler epistemologischer und damit schließlich methodologischer Kurswechsel erforderlich wird, worauf bereits McCarthy (1977) implizit abstellt:

»We believe that most present AI formalisms are epistemologically inadequate for general intelligence; i.e. they wouldn't achieve enough goals requiring general intelligence no matter how fast they were allowed to run. This is because the epistemological problems [...] haven't even been attacked yet.«²³²⁷

Dabei zielt McCarthy (1977) vor allem auf epistemologische Probleme, die McCarthys (1995) "*general world view*" betreffen, indem »the general structure of knowledge of the

²³²⁶ Vgl. Popper (1972a: 159).

²³²⁷ McCarthy (1977: 1039).

world« für die Agenteninteraktion entscheidend ist.²³²⁸ Demgegenüber bleiben hier andere epistemologische AI-Kernprobleme wie das Gettier-Problem, auf das wir weiter unten zu sprechen kommen, außen vor. Um auch diese epistemologischen AI-Probleme zu lösen,²³²⁹ erkennt auch McCarthy (1977) die Notwendigkeit, sich mit den fundamentalen Strukturen der Welt, mithin mit Metaphysik auseinanderzusetzen:

»Metaphilosophy [...] would study what information about the world a given philosophy would obtain. This would depend also on the structure of the world and the "epistemologist"s opportunities to interact.«²³³⁰

Dabei kommt die AI-Disziplin, wie im Folgenden deutlich wird, nicht nur in ontologischer, sondern genauso in epistemologischer wie methodologischer Hinsicht nicht an der Popperschen Mehrweltenlehre vorbei. Wenn mit Hayes (1979) gilt, dass die AI-Disziplin sich an "*nontoy worlds*" orientieren muss, impliziert dies, dass sie sich an den Popperschen Welten bzw. darauf aufbauend an CYPO FOX als CPSS-adäquater Ontologiearchitektur orientieren muss. Damit kann allerdings auch in epistemologischer wie methodologischer Hinsicht nicht mehr der linguistische Ansatzpunkt leitend sein. Vielmehr gilt auch hier, dass ein am metaphysischen wie epistemologischen Realismus orientierter Ansatzpunkt im Zeichen Poppers alle Überlegungen leiten sollte. Denn natürlich steht die gesamte "*belief*"-Konzeption, jenseits von Ausnahmen wie McCarthy/Hayes (1969) im Zeichen der Linguistik, wenn Ontologien rein auf linguistischen Aussagesätzen basieren sollen. Vor diesem Hintergrund meint man in der AI-Tradition dann Newells (1982) *Knowledge Level* voll und ganz im Zeichen einer *Mögliche-Welten-Semantik* der Analytischen Philosophie auf Basis von *justified beliefs* erschließen zu können.²³³¹ Dabei wird etwa der Sichtweise Chisholms (1982b: 43 ff.) gefolgt, wonach für alle Agentenwelten "*knowledge as justified true belief*" zu erachten ist. Darin besteht die klassische epistemologische Auffassung, die in der epistemologischen Debatte dem Akronym entsprechend als JTB-Paradigma bezeichnet wird. Im JTB-Paradigma wird *Wissen* lediglich als spezielle Unterklasse von Überzeugungen (*beliefs*) aufgefasst, nämlich als solche, die *erstens* wahr (*true*) ist, und die zweitens darüber hinaus *begründet wahr* (*justified true*) ist. Diese Sichtweise besitzt einen sehr alten Ursprung; sie geht nämlich auf Platons Feststellung zurück, wonach die "wahre Meinung" genau "Wissen" darstelle.²³³² Wesentliches Merkmal dieser Position, die sich auch etwa in Chisholms (1982b) Neo-Aristotelismus findet, dass *Wissen* als Unterklasse von Überzeugungen (*beliefs*) *immer an ein Subjekt gebunden* ist. In AI-Lesart lässt sich sagen, nicht nur *beliefs*, sondern auch *Wissen* sei immer an *Agenten* gebunden. Allerdings übersieht man bei diesem JTB-Paradigma ein fundamentales Problem, nämlich das für die Epistemologie zentrale Gettier-Problem,²³³³ mit dem die Richtigkeit der JTB-Sichtweise vollends in Frage

²³²⁸ Vgl. McCarthy (1977: 1043).

²³²⁹ Vgl. hierzu überblicksartig Nutter (1987); allerdings stellen sich im Kontext von CYPO FOX bzw. einer CPS- bzw. MAS-adäquaten Ontologiekonzeption eine Reihe weiterer Fragen.

²³³⁰ McCarthy (1977: 1044).

²³³¹ Vgl. hierzu etwa Nebel (1989) sowie Rao/Foo (1989).

²³³² Vgl. Platon ([Theait.]: 127).

²³³³ Vgl. Gettier (1963); vgl. hierzu ergänzend R. Feldman (1974) sowie Sayre (1997).

gestellt wird. Entsprechend bemerkt auch Armstrong (1973: 152): »Knowledge entails true belief, but true belief does not entail knowledge«. Dass das Gettier-Problem tatsächlich ein fundamentales AI-Problem darstellt, steht in der Diskussion jener Kreise, die die AI-Kontroverse etwas grundlegender als andere führen, dabei außer Zweifel.²³³⁴

Das Gettier-Problem, das anhand von Gegenbeispielen die Defekte des JTB-Paradigmas vor Augen führt, indiziert, dass Wissen offenbar grundsätzlich anders verstanden werden muss. Man kann es dann einerseits so halten wie Quine (1987: 108 f.), der das JTB-Paradigma unter Gettier-Korrektur in moderater Form zu retten sucht, indem er einfach den *Wissensbegriff* aufgeben will. Denn es gilt: »Knowledge connotes certainty«, womit sich wiederum die Frage stellt: »what shall we count as certain?«. ²³³⁵ Was jenseits des Wissens bleibt ist dann die *Überzeugung* (belief), von der man als *wahr* sprechen könne, oder sie als *standhafter* oder aus individueller Sicht als *sicherer* verstehen könne. Bezüglich der Begründungen verweist Quine jedoch auf die Grenzen dieser Position.²³³⁶ Da die AI-Tradition kaum auf Wissen verzichten kann, und eine Beziehung zwischen Überzeugung und Wissen einfordert, ist Quines Lösung des Gettier-Problems kaum zufriedenstellend. Somit bleibt letztlich allein eine andere Lösung, nämlich jene, die wiederum Poppers *Drei-Welten-Lehre* impliziert: nach methodologischer Raffination ist Wissen an sich *subjektunabhängig*, also nicht an Subjekte bzw. Agenten gebunden. Dabei setzt diese Position jedoch nicht nur einen epistemologischen, sondern vor allem auch einen *metaphysischen* Realismus voraus, den es zwar bei Whitehead und Popper, nicht aber bei Quine gibt. Entsprechend kann Wissen keine spezielle Unterklasse von Überzeugungen (beliefs) darstellen. Vielmehr existiert für Popper *Wissen* in einem objektiven Sinne, indem es unter die Welt 3 fällt, die für Popper existent ist. Denn die Welt 3 kann letztlich nur solche Artefakte umfassen, die der platonistische Ideenhimmel im Sinne *strukturalistischer Form* zulässt bzw. zu denen intersubjektiver Konsens besteht. Mit der Voraussetzung der Welt 3 ist der metaphysische Realismus ein platonistischer Realismus, was nicht nur für die Entitäten als solche gilt, sondern genauso für das Prinzip kausaler Wirksamkeit, das über ihre Existenz entscheidet. Dass das wahre Wissen existent ist und dass es die formale Logik aller Strukturen zu entdecken bzw. aufzudecken gilt, korrespondiert letztlich mit dem Leibnizschen *Automatenuniversum*, dem Kantisch-Feynmanschen *Regeluniversum* oder dem Whiteheadschen *prozessualen Strukturuniversum*. Insofern gilt, dass subjekt- bzw. agentenbezogene *Überzeugungen* (beliefs) in ihrem W2-Bezug lediglich die Vorstufe zu dem davon *unabhängigen* Wissen bilden, für das in seiner W3-Existenz die Korrespondenztheorie der Wahrheit gilt. Die Epistemologie ist bei Popper (1972a: 67 ff.) demnach ein *Entdeckungsverfahren*; sie ist nicht umsonst als *Evolutionary Epistemology* konzipiert. Dabei ist für Popper (1972a: 69) wiederum der Gedanke des superioren wissenschaftlichen Wissens leitend, wenn gilt: »In science we *search for truth*«. Natürlich gilt auch in dieser Sache mit

²³³⁴ Vgl. Nutter (1987), Fetzer (1990a), Schoppers (1992), Smithers (2002) sowie G. Wheeler/Pereira (2004).

²³³⁵ Vgl. Quine (1987: 108).

²³³⁶ Vgl. hierzu ergänzend Vance (2014).

Hayes (1979), dass die Debatte nicht mehr an *"toy problems"* festmachen kann; es also nicht mehr um Agentenwelten gehen kann, deren interne Repräsentationen sich wie bei Barnden (1989) auf simple Sätze beschränken. In der Tat hat in grundsätzlicher Hinsicht Sayres (1979: 139) Feststellung nichts an Aktualität eingebüßt: »I do not believe [artificial intelligence] has achieved the status of a branch of knowledge«.

Damit zeigt sich einmal mehr das enge Band zwischen Metaphysik, Epistemologie und Methodologie. Denn es steht außer Frage, dass eine die W3-Existenz voraussetzende epistemologische Position unmittelbare methodologische Konsequenzen mit sich bringt. Für Agentenwelten kann dann nicht mehr die Verifikation ihrer wie immer gearteten *"beliefs"* ausschlaggebend sein, sondern vielmehr im Popperschen Sinne primär nur die Falsifikation von Hypothesen. Das bedeutet dann gleichzeitig das Ende der naiven *"belief systems"*, und fordert echte, wissenschaftsadäquate *Wissenssysteme* ein. Und somit gilt auch hier: Die Auffassung manchen AI-Fachvertreters, dass die AI-Tradition *ohne Metaphysik* möglich sei, scheidet allein schon an der notwendig zu führenden epistemologischen und damit verbundenen methodologischen Kontroverse – vollkommen unabhängig davon, welche Position man dazu bezieht. Allerdings zeigt das Gettier-Problem, dass die konventionelle epistemologische AI-Position nicht haltbar ist. Darüber hinaus wird zum einen deutlich, dass sich die Informatik neben der *Natur des Wissens* mit der Frage der Wahrmacher (Truthmakers) auseinandersetzen hat, was nicht nur mit Blick auf *Scientific Ontologies*, sondern mit Verweis auf die Ontologie insgesamt gilt, nämlich bezogen auf alle weiter unten im Einzelnen diskutierten vier Welttypen. Dabei gilt die Frage der Wahrmacher insbesondere für die Ontologie in ihrer Eigenschaft als *Referenzontologie*. Epistemologisch ist offenbar zwischen der Wahrheit verschiedener Wissensarten zu differenzieren; damit kann sich die Wahrheit immer nur auf *spezifische Welttypen* beziehen, womit nicht nur in *ontologischer*, sondern genauso in *epistemologischer* Hinsicht zwingend eine Mehrweltenontologie vorauszusetzen ist. Dabei ist vor allem zwischen *subjektivem* Wissen, intersubjektiv *objektiviertem* Wissen und im Popperschen Sinne *objektivem* Wissen zu differenzieren. Damit wird deutlich: die Forderung nach einer Mehrweltenontologie stellt sich auch methodologisch, indem *objektives Wissen* nicht ohne besondere methodologische Schritte realisierbar ist. Somit kommt zum anderen jede Konzeption der *Wissensontologie* bereits insofern nicht um eine *Mehrweltenontologie* umhin, als vor diesem Hintergrund grundsätzlich zwischen *subjektivem* und *objektivem* Wissen zu unterscheiden ist. Diese Differenzierung, die bisher in der AI-Ontologie keine Rolle spielt, ist in Wirklichkeit für eine intelligente CPS- resp. MAS-adäquate Ontologiekonzeption unabdingbar.

Nicht nur mit Blick auf die *Superintelligenz* der dritten AI-Generation, sondern auch im Zeichen der *Referenzontologie* bezieht gerade das *objektive Wissen* eine Schlüsselstellung. Mit ihm wird schließlich auf Poppers eigener metaphysischer, epistemologischer wie methodologischer Grundlage deutlich, dass seine *Drei-Welten-Lehre* in ihrer Konsequenz tatsächlich letztlich die vier Welten von CYPO FOX impliziert. Entsprechend ist seine *Drei-*

Welten-Lehre zu übernehmen, unter AI-Aspekten zu modifizieren und schließlich nach Maßgabe der Superintelligenz der dritten AI-Generation auszubauen. Vor diesem Hintergrund lässt sich *objektives Wissen* in dreifacher Weise weiter differenzieren: (i) in Bezug auf seine Wahrmacher, (ii) im Hinblick auf seine materiale Bezugsbasis sowie (iii) mit Blick auf das ihm zugrundeliegende Realitätsverständnis. Ad (i) ist zu unterscheiden zwischen disziplinärweit anerkanntem Wissen, dessen Wahrmacher auf einer wissenschafts-adäquaten Methodologie zu basieren hat, sowie Wissen, das im *techno-paradigmatischen* oder im *praxiskollaborativen Konsens* als wahr gilt. Ad (ii) hängt damit direkt zusammen, ob es sich dabei um wissenschaftliches, technologisches oder praktisches Domänenwissen handelt. Mit anderen Worten ist von der Existenz vollkommen disparater Domänenontologien auszugehen, indem diese etwa auf anderen Wahrmachern basieren. Ad (iii) sind naturwissenschaftlich orientierte Domänen insofern anders zu berücksichtigen als sozialwissenschaftlich orientierte Domänen, als bei letzteren die Mehrzahl entscheidender Ereignisse, Objekte, Relationen usw. im Sinne Searles (1995, 1999, 2005) *sozial konstruiert* sind. Sie sind also allein in einem *erweiterten bzw. breiten Realitätsverständnis* existent, insbesondere auch insofern, als die ihnen zugrundeliegenden Regeln bzw. Institutionen Bestandteile der Welt 3 sind. Entsprechend sind die gerade entscheidenden Sachverhalte in der physisch-materialen Welt 1 in ihrem eigentlichen Wesen gar nicht existent. Wie erwähnt, ist somit zusätzlich eine *vierte Welt*, die *Welt 4* abzugrenzen, die *Scientific Ontologies* sozialer Realität zum Gegenstand hat. Diese Welt 4 folgt nicht nur Poppers breitem Realitätsverständnis, das weltenspezifisch ist, sondern insbesondere auch seiner handlungsbestimmenden *Situationslogik*, die im Sinne kontextueller Rationalität mit jenen Institutionen korreliert ist, die Gegenstand der Welt 3 sind. Demnach setzen sozioökonomische *Scientific Ontologies* die Welt 3 voraus, entsprechen aber dieser in methodologischer Hinsicht nicht, womit sie in eine separate Welt 4 gehören.

Mit diesem methodologischen Argument, das im Zeichen des *historischen Theorietypus* steht, resultiert CYPO FOX als Wissensontologie aus der Kombination von Poppers (1972a) *Drei-Welten-Lehre* und Poppers (1994c) *Logik der Forschung*. Popper hat selbst nicht nur explizit von "*mindestens*" *drei Welten* gesprochen; vielmehr ist das Voraussetzen von *vier Welten* letztlich Konsequenz von Poppers eigener Forschungslogik, worauf wir weiter unten zurückkommen. Insgesamt liegt CYPO FOX die Idee der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF zugrunde, wobei die jeweiligen Wissensstrukturen der *vier wissensontologischen Welten* immer mit den zugehörigen unmittelbar verkoppelten fundamentalen Strukturen der *vier metaphysischen Welten* korrespondieren. Da gerade bei einer CPS- resp. MAS-adäquaten Ontologie diese vier Welten im engen Wechselspiel des CPST-Hyperspace stehen, kommen solche Systeme in tatsächlich intelligenter Konzeption nicht an einer solchen *Mehrwellenontologie* vorbei. Sie stellt insofern eine *Multi-Ontologie* dar, als die *integrierte metaphysische Wissensontologie* jeden ontologischen Modus gleichzeitig abdeckt, wie es eine *vollumfängliche semantische Systemin-*

tegration einfordert. D.h., dass die diversen ontologischen Modi, wie sie etwa bei B. Smith, bei Gruber oder bei Guarino immer jeweils *einzel*n berücksichtigt werden, in der CYPO-Ontologiekonzeption *multidimensional* konzipiert werden. Im Unterschied zu bisherigen Ontologiekonzeptionen wird es somit möglich, die gesamte ontologische Spannbreite zu berücksichtigen, indem eine stringente Integration verschiedenster Weltmodelle vollzogen wird. Im Hinblick auf diese Integration baut die CYPO-Ontologiekonzeption auf einer einheitlichen metaphysischen Grundlegung im Zeichen von Whiteheads (1929a) *Prozessmetaphysik* auf. Die große Konfusion um das Ontologieverständnis geht darauf zurück, dass das Ontologieverständnis ein multidimensionales ist; insofern lässt sich diese Konfusion auch nur dadurch beseitigen, dass eine einheitliche Lösung geschaffen wird, die entsprechend *multidimensional* ist: Allein eine *Multi-Ontologie* kann mit Verweis auf Pkt. 1.1 wie Pkt. 3.1 dem sowohl in der Informatik als auch in der Philosophie faktisch *multidimensional* ausgelegten Ontologiebegriff gerecht werden.

CYPO FOX ist als *Multi-Ontologie* deshalb als *integrierte metaphysische Wissensontologie* möglich, weil sie mit Whiteheads *prozessualer Metaphysik* und Poppers mit dieser vollumfänglich korrespondierenden *prozessualen Wissensontologie* im Sinne der in Pkt. 4.1 umrissenen *techno-wissenschaftlichen Metaphysik* sowohl einen *metaphysischen Realismus* als auch einen *epistemologischen Realismus* methodologisch voraussetzt. Denn ohne diese grundlegendste aller Hypothesen ist im Sinne Poppers (2002b) überhaupt kein sachgerechter Wissenschaftsbetrieb möglich. Nach Maßgabe des Whitehead-Popperschen revidierten Realitätsverständnis sind alle vier Welten metaphysisch existent, wie es auch den Realwissenschaften entspricht; sie lassen sich dabei nicht nur epistemologisch erschließen, sondern im Sinne der *Wissensontologie* auch ontologisch repräsentieren.²³³⁷ Letztlich besteht exakt darin der Standpunkt, den moderne, an Referenzontologien orientierte wissenschaftliche Ontologien etwa im Bereich der in dieser Sache führenden *biomedizinischen Ontologien* einnehmen.^{2338, 2339} D.h. sie sind mit der BFO-Referenz der OBO-Foundry schlecht beraten, indem die BFO-TLO im phänomenologischen Zeichen jenseits von Poppers *objektiven Wissens* steht wie insgesamt das entscheidende AI-Moment *globaler Intelligenz* verkennt. Beides setzt den Whitehead-Popperschen *metaphysischen Realismus* voraus, indem die Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen unmittelbar im Zeichen der mit dem *Ratio-Empirismus* aufgedeckten fundamentalen Weltstrukturen ste-

²³³⁷ Insofern deckt die CYPO-Ontologiekonzeption nicht nur das "*four-universes-paradigm*" ab, das Gomes/Velho (1995) mit der Differenzierung zwischen *physikalischen Universum*, *logico-mathematischen Universum*, *Repräsentationsuniversum* und *Implementierunguniversum* differenzieren, sondern auch das bei Fonseca/Egenhofer et al. (2002) richtigerweise als fünftes Universum ergänzte *kognitive Universum*.

²³³⁸ Vgl. etwa Ceusters/Smith (2006a), Schulz/Beisswanger et al. (2006a), Ceusters/Capolino et al. (2008), Ceusters/Smith (2010b) sowie Schulz/Cornet/Spackman (2011).

²³³⁹ Dabei ist hier unerheblich, dass der *ontologische Realismus* bei Smith/Ceusters (2010) als nicht von metaphysischer Natur erachtet wird, sondern es sich dabei vielmehr explizit um eine *methodologische* Position handeln soll, die nicht doktrinär ist. Der hier *methodologisch* vorausgesetzte *metaphysische Realismus* läuft auf das gleiche hinaus, erscheint indessen aussagekräftiger, weil er im Sinne Poppers und Whiteheads unmittelbar auf die in Pkt. 4.1 behandelte *wissenschaftliche Metaphysik* indiziert.

hen. Entsprechend kann die bisherige, mit Husserl, Heidegger und anderen stark phänomenologisch geprägte bzw. mit Pkt. 5.6 fehlgeleitete alte AI-Welt diese für die dritte AI-Generation konstituierenden Schritte nicht mitgehen.

Eine Ontologie, die entweder alles auf Materie oder aber alles auf Geist reduziert, repräsentiert eine metaphysische *Ein-Welten-Ontologie*. Daneben gibt es *Zwei-Welten-Ontologien*, bei denen die bekannteste im Cartesischen Dualismus von Geist und Materie besteht. Bereits vollständiger sind *Drei-Welten-Ontologien*. Realistischer ist demgegenüber CYPO FOX, die metaphysisch als eine *Ontologie des Werdens* einerseits und als *emergentistische Wissensontologie* andererseits aufzufassen ist. Die im ersten und dritten Teil für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* geforderte *integrierte Ontologiekonzeption* läuft notwendig auf eine solch emergentistische *Vier-Welten-Ontologie* hinaus. Dabei handelt es sich bei der *naturwissenschaftlichen Welt*, die eine objektivistische *physisch-materiale Welt* ist, um die Welt 1 (W1), bei der *epistemischen Welt*, die eine *subjektivistische Welt* im Sinne des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* darstellt, um die Welt 2 (W2).²³⁴⁰ Auf Grundlage der *Subjekt-Superjekte* wird vor allem deutlich, dass die fundamentalen Strukturen des W2-Weltypus und damit von W2-Ontologien prinzipiell die gleichen sind wie jene aller Welten bei CYPO FOX. Bereits für Hartmann (1938), der sich wie Whitehead dem *kritischen Realismus* verschrieben hat, ist die Prozessualität der Erkenntnistheorie unabdingbar:

»Wir kennen Erkenntnis überhaupt nicht anders als in Form des Erkenntnisprozesses. In jedem Stadium ist sie einzig und einmalig und in dieser Individualität auch vergänglich. Denn der Prozeß steht nicht still, das Stadium geht in andere ebenso einzigartige Stadien über. Eine Erkenntnistheorie kann von alledem nicht absehen; sie kann nicht abstrakt vom Inhalt als bloßem 'Sinnegehalt' handeln.«²³⁴¹

Piaget (1970) stellt mit seiner genetischen Erkenntnistheorie in analoger Weise heraus, dass wissenschaftliches Denken nichts Statisches ist, sondern ein Prozess kontinuierlicher Konstruktion und Reorganisation. Im Zeichen der Strukturgleichheiten aller vier Welten lässt sich mit Whitehead (1929a: 16) selbst in Bezug auf den als *Subjekt-Superjekt* zu verstehenden W2-Typus als Agentenwelt konstatieren: »The process is nothing else than the experiencing subject itself«. Wichtig ist dabei die Feststellung, dass die Perzeptionsprozesse dabei bereits bei Whitehead (1919) universalistisch im Zeichen der Informationsverarbeitung konzipiert werden:

»Our perceptual knowledge of nature consists in the breaking up of a whole which is the subject matter of perceptual experience [...]. This whole is discriminated as being a complex of related entities, each entity having determinate qualities and relations and being a subject concerning which our perceptions, either directly or indirectly, afford definite information.«²³⁴²

Damit lässt sich das *Subjekt-Superjekt* letztlich auf sämtliche Agentenklassen projizieren, und wenn man dies vollzieht, dann muss sich dies konsequenterweise auch auf alle

²³⁴⁰ Bei *natürlichen Agenten* lässt sich im Sinne Hartmanns (1940) alternativ von einer *geistigen Welt* sprechen. Demgegenüber ließe sich diese im AI-Sinne intelligenter Automaten *sui generis* zwar auch treffend als *Welt rationaler Intelligenz* bezeichnen, doch würde damit das für Innovationsprozesse zentrale Moment der *Imagination* nicht hinreichend gewürdigt. Indessen handelt es sich um mehr als um Poppers "subjektive" Welt, indem die *subjektivistische Welt* die ewig fortschreitende Welt des *Subjekt-Superjekts* ist, das selbst Bestandteil der Natur ist, und über diese Welt in Interaktion mit den übrigen Welten steht.

²³⁴¹ Hartmann (1938: 359).

²³⁴² Whitehead (1919: 59).

Mental Events erstrecken. Es geht dann um *Mental Events* für das *Subjekt-Superjekt* als universalisiertem Agens.²³⁴³ Insgesamt lässt sich somit festhalten, dass sich die Metaphysik auf alle Prozesse im Universum bezieht und damit jegliche Art von Denkprozessen aller Agentenklassen mit umschließt. Daraus folgt, dass die Epistemologie immer als integrierter Teil der Metaphysik zu verstehen ist; bei einer *Klasse-4-Metaphysik* als *prozessuale* Epistemologie einer Prozessmetaphysik. Bereits für Minsky (1968c: 429) steht außer Frage: »the machine must have facilities for representing and analyzing its own goals and resources«. In diesem, und allein in diesem subjektivistischen Sinne lassen sich agentenbasierte bzw. MAS-Ontologien als W2-Ontologien verstehen. Doch entspricht dieser W2-Modus natürlich in keiner Weise an sich McCarthys (1995) "*general world view*"; vielmehr ist dies gerade nicht der Fall, indem das Moment *kognitiver Verzerrung* (cognitive bias) gegeben ist.²³⁴⁴ Auch Minsky (1968c: 427 f.) weist bereits auf einen Dimorphismus subjektivistischer Weltmodelle hin, indem er eine Differenzierung ins Spiel bringt, die sehr deutlich jene Sphären betrifft, die hier als W1- und W2-Typus unterschieden werden:

»A man's model of the world has a distinctly bipartite structure: One part is concerned with matters of mechanical, geometrical, physical character, while the other is associated with things like goals, meanings, social matters, and the like.«²³⁴⁵

Dabei ist bereits für Minsky (1968c: 428) evident, dass dieser Dimorphismus wieder auf ein »unitary model of the world« zu beziehen ist, also auf das, was heute als *Top-level Ontologie* bezeichnet wird. Legt man Minskys (1968c) Position im CPS- wie MAS-Kontext konsequent aus, wird jedoch deutlich, dass es sich nicht um eine zweiteilige, sondern im Zeichen des CPST-Hyperspace um eine *vierteilige Weltenstruktur* handelt, die entsprechend auf die *Top-level Ontologie* als einheitliches *fundamentales Weltmodell* referenziert. Auch diese Notwendigkeit eines fundamentalen Weltmodells, das die fundamentalen Strukturen der Welt (ggf. der Realität) unabhängig von tradierten "*belief systems*" repräsentiert, steht für Minsky außer Zweifel:

»Questions about things in the world are answered by making statements about the behavior of corresponding structures in one's model W* of the world. For simple mechanical, physical, or geometric matters one can imagine [...] some machinery that does symbolic calculation but when read

²³⁴³ Indem *Mental Events* in der Philosophie regelmäßig auf die Agentenklasse *natürlicher* Agenten eingeschränkt werden, liegt es in dieser Tradition nahe, sie wie W. Sellars (1981b) als *linguistische* Ereignisse fassen zu wollen. Obschon ebenfalls der linguistischen Sichtweise verhaftet, behandelt D. Davidson (1970b) *Mental Events* vor dem Hintergrund einer "*ontology of events*" demgegenüber im Kontext *physischer* Ereignisse. Ohne Zweifel sind sowohl linguistische als auch physische Ereignisse von W2-Relevanz, jedoch ermöglichen sie keinen *universalen* Zugang, der für ein universales Ontologieverständnis und eine integrierte Ontologiekonzeption jedoch unabdingbar ist. Wenn mit W. Sellars (1981b: 338) gilt: »The core concept of a mental event is that of a representational event«, läuft das bereits in die falsche Richtung, indem diese Sichtweise nicht für subsymbolische Systeme bzw. emergente Architekturen greift. Allein bei symbolischen Systemen haben wir es im Sinne von W. Sellars (1981b) mit *Representational Systems* (RS) zu tun. Dabei ist jedoch keinesfalls die Unterscheidung zwischen "*logic-using RS*" einerseits und "*pre-logical RS*" andererseits das eigentlich entscheidende, wie es W. Sellars (1981b: 340) behauptet. Vielmehr geht es um die *Logik an sich*, indem nicht W. Sellars' (1981b) "subject-predicate RS" bzw. "Aristotelian RS" den Ausschlag geben können. Letztlich bekommt man allein auf Basis der mathematischen Logik symbolische und subsymbolische Systeme zusammen, indem man diese in den Kontext der Automatentheorie bringt.

²³⁴⁴ Vgl. Masolo/Borgo et al. (2003: 15).

²³⁴⁵ Minsky (1968c: 427).

through proper codings has an apparently analogue character. But what about broader questions about the nature of the world? These have to be treated [...] not as questions to be answered by W*, but as questions to be answered by making general statements about W*.²³⁴⁶

Schließlich gibt es eine Welt 3 (W3), wie sie bereits oben in grundsätzlicher Hinsicht zur dritten Ebene der Linguistik als *metaphysische* Welt abgegrenzt wurde. Allerdings wird nicht nur in dieser Hinsicht die Welt 3 mit Popper (1967, 1972a) in einer Weise konzipiert, wie sie die Informatik in einer integrierten Ontologiekonzeption voraussetzen hat. Vielmehr gilt dies auch insofern, als bereits für Popper die Welt 3 eine *Doppelnatur* aufweist: sie ist *metaphysische* Welt, zugleich aber auch *wissensontologische* Welt, wie es genauso für seine Welt 2 gilt, nicht aber für seine Welt 1. Mit CYPO FOX wird diese Doppelnatur anders akzentuiert, indem sie für alle vier Welten gleichermaßen gilt. Es wird also von einer Korrespondenz der fundamentalen Welt-, Semantik- bzw. Wissensstrukturen ausgegangen. Bei der Welt 3 handelt es sich um die Produkte der Welt 2, also um jene, die nicht mehr subjektivem Wissen entsprechen, sondern vielmehr intersubjektiviert bzw. objektiviert worden sind. Worum es dabei im Einzelnen geht, wird sich – wie in Bezug auf die anderen Welten – im Folgenden genauer zeigen. An dieser Stelle ist vielmehr wesentlich, dass es sich bei der Welt 3 um die *artifizielle Welt* handelt, die damit als *Welt der Artefakte* zu verstehen ist. Als solche ist sie die heterogenste aller Welten; sie umfasst dabei auch alles objektives bzw. objektiviertes Wissen, indem auch dieses Artefakt ist. Damit gehören auch alle Ontologien, sofern sie jenseits allen Denkens echte repräsentationale Artefakte darstellen, in die Welt 3: Konkret lässt sich sagen, dass sich W1- bzw. W4-Wissensontologien zwar unmittelbar auf die W1- bzw. W4-Welt beziehen, jedoch als formalisierte Artefakte selbst in die Welt 3 gehören, also W3-Entitäten bilden. Diese Zurechnung lässt sich aber nicht allein mit Verweis auf ihren Artefaktstatus erklären, sondern gerade auch im prozessualen Sinne. Die Welt 3 ist als artifizielle Welt im Sinne von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* in ihrem Kern eine *technopraktische Welt*, oder kurz: *Technopraxis*. Nun lässt sich die *wissenschaftliche Methodologie* dieser Welt 3 insofern zurechnen, als sie selbst nichts als Verfahren und Regeln verkörpert. Nicht umsonst wird diese Existenzannahme der Welt 3 mit Popper (1982a: 118 f.) im *Kritischen Rationalismus* vorausgesetzt.

Demgegenüber beziehen sich die eigentlichen W3-Ontologien auf die *Welt der Artefakte* an sich; damit stehen W3-Ontologien hier in einem gänzlich anderen Anwendungskontext als etwa in der W1-Sphäre, in der Ontologien primär im Erkenntniszusammenhang bemüht werden. Demgegenüber geht es bei W3-Ontologien als technologische resp. praktische Ontologien um ein technologisches resp. praktisches Systemdesign, um ein *Systems Engineering*, das die verschiedensten Systeme, allen voran etwa ODIS oder CPS, zum Gegenstand haben kann. Neben anderen W2-Produkten geht es hier vor allem um (logische) *Regeln (Rules)*, wie sie sich im Ontologiekontext des U-PLM-Referenzszenarios in Form von *Business Rules (BR)*, Rule Engines oder dem SBVR-Standard zeigen. Allgemein re-

²³⁴⁶ Minsky (1968c: 426).

geln sie die industrielle oder lebensweltliche Praxis; das kann von Steuerungsaspekten der CPPS-basierten *Smart Factory* bis zu jenen CPSS-basierter Verkehrsleitsysteme reichen.

Die Poppersche Welt 3 unterscheidet sich von der dritten, linguistischen Sphäre des *semiotischen Dreiecks* erstens insofern, als sie die Welt *aller* abstrakten Objekte repräsentiert.²³⁴⁷ Zweitens, indem es weniger um Symbolik bzw. symbolische Repräsentation im Sinne von Sprache, sondern – ungeachtet ihres bestehenden Zusammenhangs – um eine *Theorie des Wissens* geht. Drittens beschränkt sich die Welt 3 nicht auf diesen *Wissensaspekt* im engeren Sinne, sondern es geht insgesamt um die Welt *immaterieller* Artefakte, die im CPS-Sinne mit *materialistischen* Artefakten der Welt 1 kausal verkoppelt sein können. Die Welt 3 aber zielt im intersubjektiven Zusammenhang auf alles Immaterielle, Intangibles, Ideen, Probleme bzw. Problemlösungen, Verfahren, Methoden bzw. Methodologien – damit insgesamt auf *Technologie* bzw. *Technopraxis*. Mit der "Existenz" solcher Entitäten verkörpert die Welt 3 eine *idealistische* Position, die bei rein immateriellen Entitäten zuvorderst im Sinne eines *objektiven Idealismus* zu verstehen ist, der in einer emergentistischen Mehrweltenontologie problemlos zu rechtfertigen ist. Insgesamt geht es jedoch bei Popper – wie bei der ihn leitenden Metaphysik Whiteheads – um einen *Antimaterialismus*, der keinen Gegensatz von materialistischen und idealistischen Positionen sieht, sondern vielmehr ihre Einheit im platonistischen Sinne betont, wie sie im Sinne *Cyber-physischer Systeme* (CPS) unabdingbar wird.²³⁴⁸ Dabei gehören die materiellen Aspekte in die Welt 1, die jedoch insofern nicht einer rein *materialistischen* Position entspricht, als eine umfassende Interdependenz bzw. Wechselwirkung zwischen allen Welten vorausgesetzt wird. Insofern finden sich etwa auch in der Welt 2 subjektivistische wie idealistische Aspekte, die jedoch aufgrund dieser Interdependenzen und Wechselwirkungen keineswegs auf den subjektiven Idealismus Berkeleys reduzierbar sind. Die Ontologie der Informatik kann weder auf solchen Extrempositionen noch auf polarisierenden Ansätzen, wie sie mit dem Materialismus, Physikalismus oder Naturalismus zum Ausdruck kommen, aufsetzen. Vielmehr benötigt sie in ihrer Vielgestaltigkeit jeweils die Synthese bzw. in deren Konsequenz Feyerabends (1975) "*anything goes*". Popper wie Whitehead verkörpern letztlich solche "Synthese-Positionen", die im Kontext realweltlicher Cyber-physischer Systeme (CPS) zwingend werden, und dabei auf eine *kombinierte metaphysische Multi-Wissensontologie* Whitehead-Popperscher Provenienz hinauslaufen. Allein diese kann der Informatik die notwendige Orientierung vorgeben, wenn es bei ihr im AI-Kontext um "*nontoy worlds*" geht.

Vor diesem Hintergrund geht die Welt 3 weit über den reinen Wissensaspekt hinaus; sie ist also sehr viel mehr als die reine Transformation subjektiver Erkenntnis resp. Wissen der Welt 2 in objektive Erkenntnis resp. Wissen. Vielmehr ist sie als technologische Welt der Artefakte das eigentliche Terrain aller artifiziellen Systeme, und damit im Sinne

²³⁴⁷ Vgl. hierzu Popper (1972a, 1978a).

²³⁴⁸ Vgl. hierzu auch F.-Y. Wang (2010).

H.A. Simons (1969) primäre Sphäre der Informatik. Ihre Systeme wie ODIS, IKS usw. gehören in die Welt 3, wobei diese Systeme nicht nur als agentenbasierte Systeme mit der Welt 2 interdependent sind, sondern als realweltliche Systeme gerade auch mit der Welt 1. Mit MAS-basierten Cyber-physischen Systemen (CPS) wird deutlich, dass die in Pkt. 4.6 behandelte *Ontologie der Artefakte*, die gerade für die Informatik größte Relevanz besitzt, keineswegs isoliert für sich steht, wenngleich sie bisher zumeist so konzipiert wird. Das gilt einmal mit Blick auf die Interdependenz bzw. Interaktion mit anderen Welten, damit zusammenhängend zum anderen mit Blick auf ihre Abgrenzung zur *Ontologie der Natur*. Diese ist so zu verstehen, dass sich der Unterschied zwischen existierenden W3- und W1-Entitäten mit H.A. Simon (1969: 6) auf ein "*man-made as opposed to natural*" verkürzen lässt. Tatsächlich sind Poppers W3-Entitäten *gerade im Kern* "man-made" – und damit *primär* nicht im Sinne des Platonismus, sondern in jenem der *Technopraxis* auszulegen.²³⁴⁹ Sekundär betrachtet sind es jedoch *mögliche Ideen*, und insofern werden sie im Sinne des platonistischen Möglichkeitsspektrum entdeckt. Mit der umfassenden Interdependenz bzw. Interaktion aller ontologischen Welten sind diese in einer integrierten Ontologiekonzeption zu integrieren. Dabei sind, wie weiter unten mit J. von Neumann deutlich wird, alle W3-Artefakte als Produkte *verschiedener* Klassen von W2-Automaten zu verstehen. Insgesamt ist auf Popperscher Basis die *Ontologie der Natur* als Welt 1 wie die *Ontologie der Artefakte* als Welt 3 genauso real wie die Welt 2, wobei diese als Mittler zwischen W1- und W3-Welt fungiert.

Dass zwischen allen vier Welten tatsächlich umfassendste kausale Wechselwirkungen bestehen, zeigt sich gerade auch im Kontext von U-PLM-Systemen, wozu sich drei Beispiele anführen lassen: Neben der Interaktion aller vier Welten, die intelligente MAS-basierte CPSS auf IoX-Basis mit sich bringen, wird ihr unmittelbarer Zusammenhang auch an 3D-Druckern und 3D-Scannern deutlich, indem sich materielle Dinge und ihre zugehörigen Geometriedaten gewissermaßen auf Knopfdruck von einer in die andere Welt überführen lassen. Insbesondere zeigt sich ihr Zusammenspiel drittens schließlich an PLM-typischen Innovationsprozessen; bei der physischen Produktinnovation ist für gewöhnlich neben der Welt 2 und Welt 1 auch die Welt 3 im Spiel, während die Frage der Innovationsdiffusion Sache der sozialen Welt, der Welt 4 ist. Analoges gilt für die Ideengenerierung, nicht zuletzt bei Open Innovation. Entsprechend sind die vier Welttypen in der innovationszentrischen *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zwingend ontologisch zu integrieren, indem solche kausalen Wechselwirkungen regelmäßig bestehen. Die konditionale Bedeutung des Innovationsaspekts für die Ontologiekonzeption wird bislang zumeist übersehen. Das gilt in metaphysischer Hinsicht genauso wie in wissensontologischer Hinsicht. Metaphysisch wird dies anhand der bislang favorisierten Objekt- bzw. Substanzontologien als *Ontologien des Seins* deutlich, während Ereignis- bzw. Prozessontologien als *Ontologien des Werdens* die Welten prinzipiell in permanenter Veränderung und kreativer Zerstörung

²³⁴⁹ Vgl. hierzu auch Niiniluoto (2006: 65).

adressieren, wenngleich auch stationäre Phasen gegeben sind. Offenbar ist sowohl die natürliche als auch die sozioökonomische Sphäre vor allem durch stetige Evolution, Emergenz, aber auch durch "kreative" Zerstörung und disruptive Prozesse gekennzeichnet. Natürlich ist dies von umfassender Konsequenz für die Frage, wie die Ontologie in wissenschaftlicher Hinsicht konzipiert wird, insbesondere mit Blick auf die Kategorien und meta-ontologischen Aspekte, und damit für die *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik. Insgesamt ist mit Whitehead jedes Diskursuniversum erst dann richtig verstanden, wenn es mit der "*Creativity*" als ultimativer Kategorie im prozessualen Sinne emergentischer Ordnungsstrukturen grundgelegt ist, wie sie etwa durch Prigogines *dissipative Systeme* aufgegriffen werden.

All solche computerbasierten Aspekte stehen bei Popper (1967, 1972a) freilich nicht im Fokus; insofern ist seine Systematik auch im erwähnten Sinne zu modifizieren. Allerdings geht es in seiner Welt 3 im Sinne von Prozeduren, Routinen oder Verfahren genauso um *Regeln* wie in den artifiziellen Systemen der Informatik. So ist auch etwa jede kulturgebundene Institution, die für die Welt 4 als *sozio-materiale Welt* ausschlaggebend ist, zuvorderst in diesem Regelsinne zu verstehen. Das wird insbesondere an *Artificial Societies* deutlich,²³⁵⁰ bei denen die W2-W3-Interaktion im Zeichen von Verhaltensregeln in *Multi-agentensystemen* (MAS) *Cyber-physischer Soziosysteme* (CPSS) kennzeichnend ist. Entsprechend lassen sich neben anderen W2-Produkten solche verschiedenartigsten Regeln in der Welt 3 insgesamt als *Regulae* zusammenfassen, während sich demgegenüber für die Welt 2 die genauso formallogische *Ratio* bestimmend zeigt.

Zwar teilen W1- und W4-Ontologien den Status der *Scientific Ontology*, woraus in Poppers *Logik der Forschung* eine grundsätzliche methodologische Gleichbehandlung folgt. Allerdings steht auch für Popper außer Frage, dass es sich im Detail um unterschiedliche Theorietypen handelt. Denn hier kommt Poppers oben erwähnte handlungsbestimmende *Situationslogik* ins Spiel, die im Sinne kontextueller Rationalität umfassend mit jenen Institutionen korreliert ist, die wiederum als *Regulae* jeweils einen Gegenstand der Welt 3 bilden. Offensichtlich besteht also ein engster Bezug zwischen Welt 3 und Welt 4, als letztere erste *notwendig* voraussetzt, was für die Welt 1 – ungeachtet bestehender Wechselwirkungen – prinzipiell nicht zwingend gilt. Insofern ist mit Popper selbst gezeigt, dass bei *Scientific Ontologies* strikt zwischen W1- und W4-Ontologien zu differenzieren ist, indem sie sich nicht nur in ihrem nomothetischen vs. historischem Theorietypus unterscheiden, sondern W4-Ontologien die Existenz der jeweilig geltenden, variablen W3-Entitäten zwingend zu berücksichtigen haben. In wissenschaftlicher Hinsicht gilt umgekehrt, dass W3-Ontologien Rückgriff auf W4-Ontologien nehmen können, was dann der Fall ist, wenn es etwa um die technische Auswertung komplexer sozioökonomischer Zusammenhänge geht, bei der eine Referenz auf *Scientific Ontologies* als W4-Korrelaten sinnvoll erscheint.

²³⁵⁰ Vgl. hierzu Gilbert/Conte (1995), Epstein/Axtell (1996), Lansing (2002) sowie F.-Y. Wang (2007).

Wenn zwischen allen vier Welten engste Bezüge bestehen, sind sie im IoX- bzw. CPST-Hyperspace in verschiedenster Hinsicht als interaktiv bzw. interdependent zu verstehen: Die Welt 3 setzt etwa die Welt 2 insofern notwendig voraus, weil sie sich aus den Produkten der Welt 2 zusammensetzt. Im Zeichen des metaphysischen Realismus Poppers setzt wiederum die Welt 2 die Welt 1 notwendig voraus. Für eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption ist es gerade dieser Bezug zwischen Welt 1 und Welt 2, der für die Ontologie der Informatik von besonderer Bedeutung ist. Es ist dieser Bezug, der entweder vollständig missverstanden wird, oder der etwa, wie bei B. Smith (1998a), nicht in die Form einer *integrierten Ontologiekonzeption* gegeben ist. Damit aber wird man einer IoX- bzw. CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption gewiss nicht gerecht. Es wird somit erforderlich, über B. Smithens (1998a) Feststellung, dass es offenbar eine Koexistenz von *R-ontology* (referent- or reality-based ontologies) und *E-ontology* (elicited or epistemological ontologies) gibt,²³⁵¹ grundsätzlich hinauszugehen: Jenseits dieser beiden Welten sind *de facto* alle vier Welten zu integrieren, indem die ontologische Interdependenz hier genauso gegeben ist. Mit der folgenden Abb. 8 wird das Ontologieverständnis von CYPO FOX überblicksartig zusammengefasst:

²³⁵¹ Bei B. Smith fehlt indessen – jenseits seiner IAO-Ontologie – nicht nur ein Pendant zur W3-Ontologie, sondern vor allem ein Integrator, der alle ontologischen Welten vereint und sie unmittelbar ineinander übergehen lässt. Es sei in diesem Zusammenhang angemerkt, dass Smithens BFO-TLO aufgrund ihrer Wahrmacher und Ausrichtung an *Universalien* nicht als Integrator seiner R- und E-Ontologie fungieren kann, was Smith auch erst gar nicht versucht.

3. Diskurs genuiner Grundfragen der Ontologie komplexer IoX-Systeme

Welttyp / Semantik	Ontologietyp / Anwendungsbereiche	Weltmodus / Wahrma-cher	Weltfokus / Wissensart
Welt 1 (W1) W1-Ontologie W1-Semantik (W1S)	Wissenschaftliche Ontologie (<i>Scientific Ontology</i>) Historischer Typus <i>Semantic E-Science</i> Objektivismus	Aktualismus (Primärer Weltmodus i.S. des Realismus, realistische Ontologie) / Korrespondenz (Empirismus) Restriktive Repräsentierbarkeit (streng methodologisch)	Naturwissenschaftliche Welt (physisch-materiale Welt, natürliche Welt) Alle i.S. <i>empirischer</i> Theorie naturwissenschaftlich zugängliche Bereiche Objektives Wissen Wissenschaftliche Paradigmen Bsp.: Biomedizinische Ontologien, <i>R-Ontology</i> i.S. Smithens
Welt 2 (W2) W2-Ontologie W2-Semantik (W2S)	Epistemologische Ontologie (<i>Epistemological Ontology</i>) <i>Semantic Intelligence Imagination</i> Subjektivismus	Aktualismus (W2A) oder Possibilismus (W2F, W2P) / Kohärenz Freie Repräsentierbarkeit (Imagination)	Epistemische Welt (Agentenwelt / Subjektivistische Welt, Welt des <i>Subjekt-Superjekts</i>) Alle denkbaren Welten (Modalität <i>de dicto</i>) Reflexion von W1, W2, W3 und W4 Ratio, Imagination, Invention Subjektives Wissen Bsp.: subjektive bzw. ungeprüfte Engineering Ontologien, <i>E-Ontology</i> Smithens, Wyssuseks " <i>fairy ontology</i> " [als Entwurf = W2F], Gruber (1993)
Welt 3 (W3) W3-Ontologie W3-Semantik (W3S)	Technologische Ontologie / Praktische Ontologie (<i>Engineering Artifacts</i>) <i>Semantic Systems Engineering</i> Intersubjektivismus	Aktualismus (W3A, W3L, W3M) oder Possibilismus (W3P, W3F) / Konsens Kollektiv vereinbarte, prinzipiell beliebige Repräsentierbarkeit (<i>Ontological Commitment</i> i.e.S.)	Artifizielle Welt (Welt der Artefakte) Technopraxis, technologische Paradigmen Simons (1969) <i>Sciences of the Artificial</i> Praxiskollaborative Überzeugungen Intersubjektives, im Konsens objektiviertes Wissen; W1+W4-Methodologie (Wissen) Bsp.: ODIS-Ontologien Guarinos, CPS-Ontologien, Sensorontologien, BPMN-Ontologie, objektivierte Engineering Ontologien, Grubers (2004) " <i>treaty</i> ", Wyssuseks " <i>fairy ontology</i> " [als Produkt = W3F]
Welt 4 (W4) W4-Ontologie W4-Semantik (W4S)	Wissenschaftliche Ontologie (<i>Scientific Ontology</i>) Historischer Typus <i>Semantic E-Science</i> Objektivismus	Aktualismus / Korrespondenz (Empirismus) Restriktive Repräsentierbarkeit (streng methodologisch)	Sozialwissenschaftliche Welt (sozio-materiale Welt, soziale Welt) Elementar auf W3-Artefakten gründend (durch <i>Institutionen</i> bestimmte <i>kontextuelle Rationalität</i> bzw. <i>Situationslogik</i>) Alle i.S. <i>empirischer</i> Theorie sozialwissenschaftlich zugängliche Bereiche Objektives Wissen Wissenschaftliche Paradigmen Bsp.: MAS-Ontologien

Abb. 08: CYPO FOX: *Four-worlds Ontology for Everything* [X]

Das Ontologieverständnis der Informatik ist aus dem Grunde vollständig zu revidieren, weil es zum einen in seiner isolierten Objektzentrierung weder *CPS-* bzw. *MAS-adäquat* noch damit verbunden *CEP-* bzw. *SCEP-adäquat* ist. Somit ist es für den Einsatz in komplexen IoX-Umgebungen mitsamt physischer Objekte bei kritischen Prozessen ungeeignet, während IoX-Umgebungen inzwischen für fast alle Ontologieanwendungen Relevanz besitzen. Zum anderen verbaut es in seiner Eigenschaft als Monoweltenontologie systematisch den Zugang zur *Superintelligenz*. Denn diese begründet sich in ontologischer Hinsicht maßgeblich durch eine *vollumfängliche semantische Interoperabilität* sämtlicher Ontologietypen und -arten sowie damit zusammenhängend durch ein konzeptionell realisiertes Transdisziplinaritätsmoment. In beiden Hinsichten steht außer Frage, dass die Informatik einer universalen, d.h. für *sämtliche* Anwendungs- und Integrationsszenarien gültigen Ontologiedefinition bedarf, die in Bezug auf jeden einzelnen Welt- resp. Ontologietypus anwendbar ist. In beiden Hinsichten steht zudem außer Frage, dass sie eine Ontologiekonzeption benötigt, die alle vier dargelegten Welttypen systematisch aufeinander beziehen kann. Drittens besteht kein Zweifel, dass eine solche Fundierung auf eine metaphysische *Top-level Ontologie* hinauszulaufen hat, die als *Welten-Integrator* fungiert.

Tatsächlich ist die Differenzierung der vier Welttypen für die Ontologiediskussion der Informatik allein schon aus dem Grunde unabdingbar, um die Defekte der bisherigen Ontologiekonzeptionen nachvollziehbar zu machen. Sie lässt sich entsprechend im Zuge der Evaluierung der konkurrierenden TLO-Theorieanwörter nutzen. Gerade vor ihrem Hintergrund wird deutlich, dass ihre Defekte gerade auch dadurch bedingt sind, dass sie sich jeweils auf einen der in Abb. 8 abgegrenzten spezifischen Welttypen konzentrieren, während die anderen im Grunde mehr oder weniger außen vor gelassen werden. Unter anderem lassen sich die Defekte dabei auch an den Wissensarten und Wahrmachern aufzeigen. An diesen Details wird besonders deutlich, dass die bisherigen Ontologieansätze als *Monoweltenontologien* einen geeigneten Zugang jeweils zu einem Welttypus bilden, während sie die maßgebliche Spezifika bzw. Restriktionen der anderen verkennen bzw. ignorieren. Tatsächlich ist es auf dieser Basis unmöglich, allen Anforderungen gerecht zu werden, weshalb kein Weg an einer *Mehrweltenontologie* im Sinne Poppers vorbeiführt, wenn das Ziel in einer universal wie durchgängig anwendbaren integrierten Ontologiekonzeption bestehen muss.

Bereits mit B. Smithens (1998a) *unverbundener* Differenzierung von ontischer *R-ontology* und epistemischer *E-ontology* wird deutlich, dass einer der größten Defekte in der Fehlinterpretation der Charakteristika der W1- und W2-Welt und insbesondere ihres Verhältnisses besteht. Zu ihrer Bestimmung hilft die richtige Metaphysik, konkret das *Subjekt-Superjekt* Whiteheads. Dabei ist zu betonen, dass B. Smith (1998a) mit seiner Feststellung, dass es offensichtlich eine Koexistenz von *R-ontology* und *E-ontology* gibt, bereits unter den Ontologen hervorsticht. Fast immer wird nur eine der beiden Positionen bezogen, was wiederum direkt mit der fehlenden Aufhebung der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* in der ersten

AI-Generation zu tun hat. Dabei ist die *R-ontology* besonders in der CM-Sphäre und die *E-ontology* besonders in der AI-Sphäre verbreitet. Allerdings gilt mit Pkt. 3.2.4 das Erfordernis der Konvergenz dieser Ontologien. Im Grunde ist festzustellen, dass weder die Natur der Welt 1, noch die Natur der Welt 2 ohne das jeweilig andere Pendant kaum sachgerecht verstehbar ist. Denn nur in dieser Interdependenz lässt sich gleichzeitig ein metaphysischer wie epistemologischer Realismus behaupten – wie Popper sie in seiner Wissensontologie voraussetzt. Somit wird gleichzeitig deutlich, dass diese Wissensontologie nicht ohne eine metaphysische Ontologie auskommt, womit das Postulat der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO *OCF* gilt. Dabei genügt der Hinweis auf den Cartesischen Dualismus von Geist und Materie, um deutlich zu machen, dass nicht jede beliebige metaphysische Theorie helfen kann. Wie mit dem vierten Teil deutlich wird, kann im Kontext der Informatik allein eine Metaphysikvariante überzeugen, die einerseits nicht im Widerspruch zur *Theorie komplexer Systeme*, insbesondere zur Automatentheorie steht, und die sich damit verbunden andererseits mit Pkt. 4.1 konsequent als *techno-wissenschaftliche Metaphysik* versteht.

Zur Bestimmung der Charakteristika von W1- und W2-Welt ist im emergentistischen Sinne zunächst von der Welt 1 auszugehen. Sie markiert jene Sphäre, die als *naturwissenschaftliche Welt* auszuweisen ist. W1-Ontologien beziehen sich entsprechend ausschließlich auf physisch-materielle Entitäten. Insofern repräsentieren W1-Ontologien die primären Weltmodelle; ihre Entitäten sind ontisch und damit *an sich* geistunabhängig. Somit genügt sich die Welt 1 *an sich* selbst; sie existiert unabhängig von Kantischen bzw. epistemologischen Momenten.²³⁵² In genau diesem *ontischen* Sinne ist die Welt 1 von der Welt 2 unabhängig. In anderer Hinsicht besteht diese Unabhängigkeit jedoch nicht; hierbei sind insbesondere die Wechselwirkungen zu betonen, wie sie in Gestalt von Natureingriffen entstehen, womit eine Interdependenz zur Welt 2, Welt 3 und ggf. auch zur Welt 4 gegeben ist. Diese ist auch aus Sicht der Welt 1 zu konstatieren, indem W2-Subjekte im Sinne von *Subjekt-Superjekten* integrative Bestandteile derselben bilden. Aus W2-Sicht ist schon auf den etwa durch Schrödinger (1956) hervorgehobenen Erkenntnisaspekt abzustellen: zwar mag die Welt 1 ontisch für sich bestehen, allerdings ist die Welt 1, wie sie in Form materialer bzw. formaler Ontologie repräsentiert wird, W2-bestimmt: Konzepte und Begriffe wie Elementarteilchen bzw. Partikel, Brownsche Bewegung, thermisches Gleichgewicht, absolute Temperatur, Entropie, Hyperzyklen, Makromoleküle, Zellen, Neurotransmitter, Synapsen usf. beschreiben mit Pkt. 6.2.7 die drei W1-Ebenen. Doch handelt es sich um W2-bestimmte Begrifflichkeiten, die wiederum die Grundvoraussetzung für *objektives Wissen* als W3-Artefakte bilden.

Dessen ungeachtet lassen sich solche W1-Ontologien keinesfalls in hinreichender Weise im linguistischen Sinne erschließen, was auf die empirische Verifikationsmethode hinausliefe. Vielmehr kann mit Blick auf die freizulegenden Grundstrukturen der Welten allein

²³⁵² Vgl. hierzu auch F.C.S. Schiller (1903: 9).

ein realistischer Ansatzpunkt wegweisend sein, auf dessen Grundlage objektive Theorien formuliert werden. Sucht man diese objektiven Theorien in der allgemeinsten Theorie wissenschaftlicher Metaphysik zu spiegeln, zeigt sich entsprechend, dass nur eine solche Metaphysik weiterhelfen kann, die sich dezidiert mit der Überwindung der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* auseinandersetzt. In komplexen adaptiven Systemen (CAS) lassen sich Selbstorganisationsprozesse erst dann tatsächlich endogen behandeln, wenn diese Dichotomie aufgehoben wird. In der Whiteheadschen (1929a) Prozessmetaphysik wird diese Aufhebung im Zeichen des *Subjekt-Superjekts* vollzogen, das sich in der Bungeschen Substanzmetaphysik hingegen nicht in vergleichbarer Weise findet. Offenbar bestehen also wesentliche Unterschiede in den wissenschaftlichen Metaphysiken. In der Tat sind sie genauso inkommensurabel wie die zahlreichen *Top-level Ontologien* der Informatik, die implizit bzw. explizit in ihrem Geiste stehen. Ohne Zweifel würde die Informatik etwa auf Grundlage der Bungeschen (1977a) Substanzmetaphysik nicht weit kommen, wie es in Pkt. 5.3 im Einzelnen deutlich wird. Weiter unten deutet sich dies bereits im W3-Kontext an, wenn Bunge in seinem Materialismus die Welt 3 Poppers ablehnt. Vor allem kann die Informatik nicht am materialistischen Realitätsverständnis Bunges festhalten, wie es nicht nur anhand der vier Welttypen offensichtlich wird, sondern mit Pkt. 4.6 auch im Kontext der für die Disziplin zunehmend wichtiger werdenden *Augmented Reality*.

In diesem Sinne lässt sich behaupten, dass die Poppersche Wissensontologie nur dann richtig verstehbar ist, wenn sie in den Kontext der ihr zugehörigen Metaphysik gesetzt wird. Weiter lässt sich behaupten, dass diese *insgesamt* in der Metaphysik Whiteheads besteht, wobei Popper diesen Bezug auch selbst explizit herausstellt.²³⁵³ Tatsächlich sind ihre Konturen im Popperschen Gesamtwerk überall erkennbar, nicht nur mit Blick auf seine Wissensontologie. Im Sinne des in Pkt. 6.2.2 behandelten Widerstreits von *deskriptiver und revisionärer Metaphysik*, der für die TLO-Debatte eine elementare Bewandnis besitzt, geht es bei der Frage des W1-W2-Verhältnisses nicht nur um die für die deskriptive Position relevante *Kopernikanische Wende* Kants (1781), sondern in erster Linie um die *zweite Kopernikanische Wende* Whiteheads (1929a). Diese wird auch durch Popper mit der Abgrenzung der Welt 2 und ihrer Einbettung in die Welt 1 mindestens implizit vollzogen. Wenn mit dieser zweiten Wende nicht nur der Primat des Ontischen im Sinne Poppers wieder hergestellt wird, sondern Ontologie damit verbunden wieder als *metaphysische Ontologie* zu verstehen ist, zeigt sich die Richtigkeit der Position *revisionärer Metaphysik*, wie sie auch durch Popper vertreten wird.

Tatsächlich ist jede *wissenschaftliche Metaphysik* mit ihrem Ratio-Empirismus *revisionäre Metaphysik*, wobei hier vor allem die alternativen Systeme Bunges und Whiteheads ins Feld zu führen sind. Dabei ist nochmals zu betonen, dass im Zuge der zweiten Wende der Kern der Kantischen (1781) Position insofern nicht aufgegeben, sondern lediglich revidiert wird, als der Subjektivismus im Whiteheadschen (1929a) *Subjekt-Superjekt* erhalten

²³⁵³ Vgl. Popper in Popper/Eccles (1977: 7).

bleibt. Allerdings ist dieses bei Whitehead gleichzeitig integrierter Bestandteil der Natur und damit des Ontischen selbst. Das widerspricht auch gar nicht der Position Kants; allein betont er den Umstand, dass die Welt als Vorstellung dem Subjekt entspringt, was im W2-Sinne natürlich auch richtig ist. Eine gängige Fehlinterpretation Kants läuft somit darauf hinaus, seinen zu relativierenden Idealismus ungefähr auf eine Stufe zu stellen etwa mit dem extremen Idealismus Berkeleys (1710). Allerdings sollte nicht übersehen werden, dass dieser als Solipsismus gänzlich anders geartet ist.²³⁵⁴ Mit Kants (1781) Bekenntnis zur Existenz der Außenwelt ist gewiss auch bei ihm das Subjekt Bestandteil der Natur, zeigt sich also keineswegs anders konzipiert als bei Whitehead, wobei zudem hier wie dort die *Natur der Außenwelt* im Zeichen des *Selbstorganisationsprinzips* verstanden wird.^{2355, 2356} So gesehen ist es relativ unerheblich, wenn Whitehead mit der naturalen Immanenz des *Subjekt-Superjekts* wie seiner Prozessualität wieder dem Ontischen den primären Stellenwert einräumt, wie es insgesamt auch richtig ist. Genauso unerheblich ist es, wenn Kant den Fokus auf kognitive resp. epistemologische Aspekte setzt. Diese Verengung ist insofern tolerierbar, als es bei Kant (1781) – im Gegensatz etwa zu Whitehead (1929a) – auch nicht um einen Metaphysikentwurf geht, sondern, wie der Titel unmissverständlich zum Ausdruck bringt, um eine *Kritik der reinen Vernunft*. Mit dem *Ratio-Empirismus* wissenschaftlicher Metaphysik konfligiert eine solche Kritik gerade nicht, ganz im Gegenteil; in diesem besteht die einzig sinnvolle Antwort auf diese Kritik. Entsprechend sollte insgesamt auch keine Ausschließlichkeit von Seins- und Denk-Kategorien angenommen werden; es gibt beides, nur in unterschiedlichen Welt- bzw. Ontologietypen. Beide Sichtweisen ergänzen sich dann, wenn sie in einer in sich konsistenten Welttypen-Systematik auf Basis einer metaphysisch fundierten *Top-level Ontologie* kategorial in Einklang gebracht werden.²³⁵⁷ Im Grunde aber lassen sie sich nicht trennen, denn beides ist in der W1-W2-Interaktion überaus wesentlich, wie es mit der sich heute in Raumzeit autonom bewegenden kognitiven Robotik im unten dargelegten Sinne Minskys (1997) offensichtlich wird.

Insofern ist die W2-Welt des *Subjekt-Superjekts* in die W1-Welt, also in die natürliche Welt bzw. die physisch-materiale Welt inkorporiert; sie ist ihr integrativer Bestandteil. Dabei besteht das Integrative darin, dass das *Subjekt-Superjekt* nicht nur die W1-Welt universal im Zeichen von "*sense-data*" beständig wahrnimmt, sondern mit ihr interagiert, also

²³⁵⁴ Vgl. hierzu auch Fn. 2035.

²³⁵⁵ Vgl. hierzu Kant (1790).

²³⁵⁶ Ein zentraler Unterschied zwischen Kant (1781) und Whitehead (1929a) besteht hingegen darin, dass erster die Substanzkategorie befürwortet, zweiter sie rigoros ablehnt. Dabei gründet die Definition der *Substanzkategorie* bei Kant (1781: B 183) auf der *Beharrlichkeit* als zentralem Charakteristikum: »Das Schema der Substanz ist die Beharrlichkeit des Realen in der Zeit, d. i. die Vorstellung desselben, als eines Substratum der empirischen Zeitbestimmung überhaupt, welches also bleibt, indem alles andre wechselt«; auch hat Kants (1781: B 225 ff.) *erste Analogie der Erfahrung* zum Gegenstande den Grundsatz der *Beharrlichkeit der Substanz*, was dem Prozessdenken diametral entgegensteht. Dies ist insofern bemerkenswert, als die Substanz bereits bei Leibniz als Monade eine prozessuale Aktivierung findet.

²³⁵⁷ Natürlich steht außer Frage, dass die Whiteheadschen Kategorien in ihrem *Ereigniszentrismus* anders gelagert sind als die Kantischen; genauso steht außer Frage, dass nur diese in diesem *Ereigniszentrismus* die Orientierung für die *Ontologie komplexer Systeme* bieten können.

auf sie – innerhalb spezifischer Grenzen – auch Einfluss nehmen kann. Vor diesem Hintergrund lässt sich wieder klar zwischen dem Ontischen und dem Epistemischen differenzieren, ohne dabei in wissensontologischer Hinsicht die für die AI-Praxis elementare Idee *epistemologischer Ontologien* aufgeben zu müssen. Denn diese ist insofern AI-elementar, als sich ohne sie die *Struktur der Denkinhalte* nicht in Künstlicher Intelligenz im Zeichen von Weltmodellen abbilden ließe. Allerdings hat man zum frühen Zeitpunkt der Herausbildung dieser Idee völlig übersehen, dass klassisch ontische Ontologien für eine fortgeschrittene AI-Praxis – auch gerade in ihrem Zusammenspiel – nicht weniger wichtig sind. Tatsächlich bezieht sich die *Epistemologie* auch nur in den seltensten Fällen ausschließlich auf die *interne Welt*, d.h. strikt auf die *W2-Welt an sich*. Selbst Gedankenexperimente weisen in aller Regel einen wie auch immer gearteten Bezug zur Außenwelt auf. In diesem Sinne steht die Epistemologie im Allgemeinen in einem *Erfahrungszusammenhang*, womit sich auch die *epistemologische Ontologie* auf die externe Welt, also die Außenwelt richtet, die zuvorderst, wenn auch nicht ausschließlich, der Welt 1, also der Welt der Natur, entspricht: »Epistemology is a study of that part of our total experience which culminates in certain knowledge about what is called the external world«. ²³⁵⁸ Auch wenn dies in dieser Ausschließlichkeit strittig sein mag, ist diese Feststellung allgemein richtig. Dabei gilt sie sowohl im wissensontologischen Sinne mit Blick auf *Scientific Ontologies*, als gerade auch im metaphysischen Sinne mit Blick auf die in reale, physische Welten eingebetteten CPS.

Für eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption ist der W1-Kontext insofern von Relevanz, um über W3-Steuerungsentologien und die kategoriale TLO-Basis hinausgehend zusätzlich auf einzelwissenschaftliches Domänenwissen zurückgreifen zu können; etwa auf geospezifisches empirisches Wissen, wenn mit McCarthy (1977: 1039) gilt: »A robot must be able to express knowledge about space, and the locations, shapes and layouts of objects in space«. Bei der W1-Welt handelt es sich somit um die naturwissenschaftlich zugängliche physisch-materiale Welt; somit ist hier Ontologie im Sinne Quines als *empirisches Unterfangen* zu verstehen. Die Inhalte dieser Ontologien referenzieren dabei analog zu Smithens (1998a) *R-ontology* auf *reale Welten*, gestützt durch Empirie. Entsprechend gilt hier im Sinne Quines ein *epistemologischer Realismus*, der mit Popper darüber hinaus auch als *metaphysischer Realismus* verstanden werden muss. Denn nur über diesen ist das universalontologische Moment im ratio-empirischen Sinne einlösbar. Demnach handelt es sich bei W1-Ontologien um *Scientific Ontologies*, die im Sinne erfahrungswissenschaftlicher Theoriebildung *objektives Wissen* repräsentieren. Ontologien verkörpern hier also die Ergebnisse bzw. Zwischenergebnisse der Wissenschaftspraxis. Als solche handelt es sich bei ihnen grundsätzlich um *öffentlich-wissenschaftliche* Ontologien. Ein aussagekräftiges, wenngleich unvollkommenes Beispiel besteht in den biomedizinischen *Scientific Ontologies* der OBO-Foundry; werden diese im Popperschen Sinne neu aufgesetzt, ist abzusehen, dass dieser Ontologietypus mit der *Semantic E-Science* starke Verbreitung finden wird.

²³⁵⁸ Vgl. Margenau (1952: 342).

Wenn die vier Welten als durchgängig zu erachten sind, wenn sie interdependent bzw. interaktiv sind, dann bilden sie zusammen eine Wirklichkeit. Dabei steht außer Frage, dass sich die Ereignisse bzw. Dinge der Realität im Sinne des in Pkt. 6.2.7 erklärten *multiplikativen Ontologieverständnisses* regelmäßig über mehrere Welten erstrecken, was schon an der W1-Immanenz der W2-Welt ersichtlich wird. Im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF bestehen diese Relationen parallel in den metaphysischen Welten wie in den Wissenswelten: Intelligente MAS-basierte CPS sind mit dem Agentenmoment der Natur bzw. der Welt 1 als *Subjekt-Superjekte* immanent, wie es etwa in GIS-Kontexten bereits berücksichtigt wird. Ihre Inferenz vollzieht sich im Kern auf Basis von W2-Ontologien. Damit sind sie als erkenntnisfähige technologische Systeme gleichzeitig im W1-, W2-, W3- sowie W4-Sinne existent, erstrecken sich über diese Welten und nehmen diese etwa über Sensoren und Rückkopplungen wahr. Etwa cyber-physische Verkehrsleitsysteme beziehen auch noch die metaphysische W4-Welt, die *sozio-materiale Welt*, mit ein. So können etwa intelligente CPS-Verkehrsleitsysteme als technologische W3-Systeme in ihren Algorithmen soziales Verhalten im Zeichen kontextueller Rationalität berücksichtigen. Sie können entsprechend auf W4-Wissen zurückgreifen, um diese zu optimieren. Intelligente Klinikinformationssysteme als W3-Systeme greifen demgegenüber im Sinne der erwähnten biomedizinischen Ontologien auf W1-Wissen zurück, während sich ihre Steuerungslogik durch W3-Ontologien, etwa den Einsatz der in Pkt. 3.3.1 definierten *Aufgabenontologien* (TO), stützen lässt.

Sowohl in der wissenschaftlichen Hinsicht von *Scientific Ontologies* als auch in technologischer Hinsicht der realweltlichen CPS-Eingebundenheit sind die Welt 1 sowie entsprechende W1-Ontologien für die Informatik gesetzt. Indem die Relevanz der Technopraxis und damit die Welt 3 wie entsprechende W3-Ontologien für die Disziplin – wie weiter unten thematisiert – ohnehin außer Frage steht, muss es zunächst insbesondere insofern um die Welt 2 gehen, als in dieser der bidirektionale Mittler zwischen Welt 1 und Welt 3 besteht. Das ist zwar bereits bei Popper genau in diesem Sinne gedacht, zeigt seine Relevanz aber insbesondere erst im Kontext der Ontologiediskussion der Informatik. Tatsächlich ist gerade auch die W2-Ontologie für die Informatik überaus zentral, und es bietet sich auch in dieser Sache an, auf Poppers W2-Überlegungen zu setzen. Denn diese betreffen bei Popper jene Welt, in die alle *psychologischen resp. geistigen Zustände* gehören. Und genau hier knüpft die AI-Disziplin in ihrer kognitiven Grundlagendiskussion immer schon an. In der Tat wird gerade heute mit realweltlichen AI-basierten CPS deutlich, dass sich der eigentlich sachgerechte Zugang zur Disziplin der *Künstlichen Intelligenz* in ihrer Mittlerfunktion und ihrer Interdependenz mit den anderen Welten in besonders geeigneter Weise über die Poppersche Welt 2 erschließen lässt. Dabei sollte mit Blick auf ihre Interdependenz, Interaktion und Mittlerfunktion entsprechend nicht der Fehler begangen werden, diese W2-Welt als Erkenntnisphäre etwa mit der Cartesischen *res cogitans* gleichzusetzen, oder sie phänomenologisch auslegen zu wollen. Richtig verstanden ist sie vielmehr im

Sinne des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts*, und in genau dieser Komplexitätsorientierung ist die W2-Welt für die Zwecke der Informatik von Belang. Poppers W2-Welt steht also in bester AI-Tradition, weil Popper sie selbst nicht nur metaphysisch resp. ontologisch konzipiert, sondern sie vor allem im Rahmen der Erkenntnistheorie wie der Philosophie des Geistes bemüht. Es sind diese beiden letzteren Bereiche, die maßgeblich die Sichtweisen der AI-Disziplin bestimmen. Vor diesem Hintergrund konstatiert H.A. Simon (1992: 21), »that an epistemology for computers is possible because computers do think«.²³⁵⁹

Wenn sich der sachgerechte Zugang zur AI-Disziplin im Allgemeinen vor allem über die Poppersche Welt 2 erschließen lässt, so gilt dies entsprechend auch für die AI-Ontologie im Besonderen. Und dann deutet sich bereits die Konsequenz an, die in Pkt. 4.3 vollzogen wird, nämlich, dass sich das gesamte zeitgemäße Ontologieverständnis auf der Grundlage der Whiteheadschen Prozessmetaphysik allein im Wechselspiel mit der Komplexitätsforschung sachgerecht entwickeln lässt. Dabei rückt insbesondere die Automatentheorie in den Fokus, in der gleichzeitig eine *Theorie komplexer Systeme* wie eine Kerntheorie der Informatik besteht. Wenn sich H.A. Simons (1992: 21) obige Position auf die Welt 2 bezieht, kommt nun vor ihrem Hintergrund J. von Neumann (1951) ins Spiel. Denn mit ihm lässt sich die Welt 2 im Zeichen der Automatentheorie tatsächlich *universal* konzipieren, wie es für eine *universale Ontologie* Grundvoraussetzung ist. Alle Ontologie, und damit auch die epistemologische Ontologie, ist insofern als *formale Ontologie* zu verstehen, als sie der modernen logischen Form zu entsprechen hat. Neumann (1951) ist somit zuzustimmen, dass entsprechende geistige Erkenntnisprozesse im Zeichen der mathematischen Logik zu interpretieren sind. Daraus folgt für Neumann (1951), dass der menschliche Geist in seiner Logikfähigkeit im Leibniz-Whiteheadschen Sinne grundsätzlich als eine besondere Klasse von Automaten zu erachten ist. Insofern ist es Neumann (1951), der die W2-Welt – über Popper maßgeblich hinausgehend – im direkten Zeichen von Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* universalisiert. Entsprechend findet man zur W2-Ontologie dann den richtigen Zugang, wenn sie *sui generis* an die Automatentheorie gekoppelt wird, die für die Philosophie und Informatik gleichermaßen von wesentlicher Relevanz ist.²³⁶⁰

Indem für CPS im Sinne der Sensorverarbeitung, Agentenwelten und Inferenzprozesse gerade die Welt 2 maßgeblich ist, muss sie auch für eine CPSS-adäquate Ontologie – und damit insgesamt für die Ontologiediskussion der Informatik als zentral verstanden werden. Vor diesem Hintergrund wird ersichtlich, dass die AI-Ontologie engstens verwoben ist mit allen Grundfragen der AI-Disziplin. Das wird oftmals insofern vergessen, als sich AI-Ontologien in ihrer verfehlten Ausrichtung als linguistische Ontologien in den letzten Jahrzehnten einseitig zulasten der Metaphysik und benachbarter Disziplinen um die Linguistik

²³⁵⁹ Vgl. hierzu etwa die Beiträge von Pollock (1998) sowie Kyburg (1998).

²³⁶⁰ Die Interpretation der W2-Ontologie im Sinne der *Automatentheorie* erscheint auch insofern konsequent, als selbst rigorose Verfechter eines strikten Materialismus wie Bunge (1973) einen Rückgriff im Zuge der Metaphysik auf diese empfehlen – wobei Bunge bekanntlich die Begriffe *Metaphysik* und *Ontologie* synonym gebraucht, vgl. etwa Bunge (1977a: 1).

gedreht haben. Diese Strategie der einseitigen Ausrichtung der AI-Ontologie auf die Linguistik ist grundsätzlich gescheitert, weil sie für die "*nontoy worlds*", die Hayes (1979) einfordert, keine Alternative darstellen kann. Denn diese "*nontoy worlds*" sind vor dem Hintergrund einer IoX- bzw. CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption prinzipiell in den *vier Weltypen* der CYPO-Ontologiekonzeption und ihrem Wechselspiel auszumachen. Somit wird eine Rückbesinnung auf die grundsätzlichen Fragen wesentlich, was insbesondere die Hinwendung zur Philosophie, speziell zur Metaphysik als ihrer Basisdisziplin verlangt. Denn mit McCarthy (1995) sind die zentralen AI-Ideen *philosophische* Ideen. Mit Simon (1982b) sind zum Zwecke der Annäherung an die *Artifizielle Intelligenz* somit zunächst die klassischen Erkenntnisprozesse zu universalisieren, was im Sinne der Automatentheorie darauf hinausläuft, das menschliche Gehirn in seiner Logikbefähigung als *physikalisches Symbolsystem* zu verstehen.²³⁶¹ Ähnlich erachtet auch Thagard (1982) mentale Prozesse als "computational". In diesem Sinne beziehen sich Denkprozesse universal auf *kognitive Systeme*,²³⁶² schließen somit die *kognitive Robotik* mit ein, was für das Verständnis Cyberphysischer Systeme (CPS) wegweisend erscheint. Insofern muss das Ziel im Zeichen der Leibniz-Whiteheadschen Perzeption und Kognition in einer vereinheitlichten Kognitions- resp. Erkenntnistheorie bestehen, deren gemeinsame Momente mit Newell (1990: 15 ff.) etwa in der *Problemlösung*, der *Entscheidungsfindung* sowie in *regelbasiertem Verhalten* zu suchen sind.

Damit kommen wir zurück zur Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a), indem diese bereits die *Perzeption* als universales Moment konzipiert,²³⁶³ wie es mit der späteren Idee der Automatenklassen Neumanns (1951) korrespondiert. Offenbar verlangt eine integrierte Ontologiekonzeption zunächst einmal die hinter den Typen von Wissensontologien liegenden *metaphysischen* Strukturen und Prozesse in der ganzen erforderlichen Tiefe zu verstehen. Nur wenn diese begriffen sind, lassen sich diese Typen tatsächlich in universaler wie transdisziplinärer Hinsicht integrieren, was wiederum eine sachgerecht konzipierte *Top-level Ontologie* voraussetzt. Demnach lässt sich das Ontologieproblem der Informatik, wie es in den verschiedensten Hinsichten offensichtlich geworden ist, nur dann lösen, wenn die Disziplin bereit ist zunächst die AI-Grundfragen, die vor allem philosophische Fragen sind, zu klären. Dann aber führt kein Weg an der Metaphysik vorbei, denn auf ihr baut alles andere systematisch auf. Mit dem universalen Whiteheadschen *Subjekt-Superjekt* ist Wahrnehmung dann im subjektivistischen Sinne der W2-Ontologie zu verstehen als *interpretative Wahrnehmung*. Diese ist insgesamt in einen ebenso universal zu verstehenden umfas-

²³⁶¹ Vgl. hierzu ergänzend Sowa (2016).

²³⁶² Vgl. Holland et al. (1986: 2): »Since we are concerned with both the inductive processes of organisms, notably humans, and those of computers, we will refer to *cognitive systems* to describe the 'thought processes' of everything from man to mouse to microchip«.

²³⁶³ Über das universale Moment der *Perzeption* hinausgehend lässt sich dieses mit Heisenberg (1969: 160) um die *Apperzeption* erweitern; insofern lässt sich zwischen *reinen Wahrnehmungsakten* und den diesen übergelagerten *Bewusstseinsakten* unterscheiden, was sich bei Kant näher herausgearbeitet findet. Perzeption setzt kein Bewusstsein voraus; Apperzeption hingegen schon.

senden Prozess epistemologischer Informationsverarbeitung eingebettet, der für alle Klassen intelligenter Automaten bzw. Agenten in gleicher Weise strukturiert ist.

Die Richtigkeit der oben dargelegten These, wonach ein zeitgemäßes Ontologieverständnis im Wechselspiel mit der Komplexitätsforschung zu entwickeln ist, zeigt sich nicht allein an den universalen Zusammenhängen der Automatentheorie. Vielmehr sind intelligente Systeme als *adaptive Systeme* zwingend in den Kontext der *Complex Adaptive Systems* (CAS) zu stellen, um diese sachgerecht konzipieren zu können. Zweifellos handelt es sich nicht nur bei der kognitiven Robotik, sondern im Grunde bei allen tatsächlich intelligenten Cyber-physischen Systemen (CPS) um *kognitive Systeme*, die sie mit ihrer Sensorik, mit entsprechenden Sensorontologien und auch mit den erwähnten SAW- oder CAW-Ontologien besitzen. Entsprechend ist auch in dieser Sache auf die Grundlagenarbeiten der AI-Disziplin zurückzugehen, indem diese darlegen, dass es sich bei kognitiven Systemen insofern zugleich um *adaptive Systeme* handelt, als sie Lernfähigkeit besitzen. Damit wird Lernen mit H.A. Simon (1983a: 28) genauso universal als *effizienzbedingte Änderung des Verhaltens* adaptiver Systeme verstanden. Dabei weist diese Adaption auf die selbstorganisatorische Fähigkeit der *gelernten Perzeption*, wie sie bereits durch Farley (1960) in neurophysiologischer Hinsicht untersucht worden ist.

Im Zuge der in Pkt. 4.3 behandelten Komplexitätsforschung und ihrer prozessmetaphysischen Grundlegung zeigt sich, dass eine selbstorganisatorische Adaption die Fähigkeit der Organismen bzw. Agenten zur Klassifikation der Inputstimuli voraussetzt. Diese kognitive Fähigkeit zur Signalperzeption zeigt sich wiederum unmittelbar verknüpft mit der auf den Sinn resp. die Bedeutung (Meaning) dezidierter Informationen zielenden *regelbasierten Interpretation*, da sich diese zuvorderst durch die Funktionsweise des jeweiligen Wahrnehmungssystems bedingt zeigt.²³⁶⁴ Die semantische Interpretationsfunktion eröffnet die direkte Verkopplung mit AI-Ontologien, allerdings gewiss nicht mit solchen, wie sie im Zeichen linguistischer Gruberscher Ontologien im objektzentrischen Sinne stehen. Denn diese Inputstimuli erfordern bei adaptiven Systemen zunächst einmal eine Ereignisklassifikation – und damit eine *realistisch-metaphysische ereigniszentrierte Ontologiekonzeption*, die Objekte aus Ereignissen erschließt bzw. diese in den Ereigniszusammenhang zu stellen vermag. Jenseits der gegenwärtigen Ontologieproblematik hat bereits in den Anfängen der AI-Disziplin auf Basis der Automatentheorie Einsicht in dieses Erfordernis bestanden.²³⁶⁵ Allerdings ist diese ursprüngliche Ereigniszentrierung mit den objektzentrischen semantischen Netzen bzw. später mit der linguistischen Gruberschen Ontologiekonzeption wieder verloren gegangen.

Es ist weniger die Frage der CM-Ontologie als vielmehr jene der AI-Ontologie, die in der Ontologiedebatte strittig ist, indem insbesondere hier linguistische und realistische Ontologiekonzeptionen im Widerstreit stehen. Dabei versagt sich ihre Koexistenz insofern,

²³⁶⁴ Vgl. in Bezug auf *kognitive Strukturerkennung* Stadler/Haynes (1999: 190, 205).

²³⁶⁵ Vgl. etwa Kleene (1956), Burks/Wang (1957), Copi et al. (1958) sowie Petri (1963).

als sie einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität diametral entgegensteht. Es gilt also das Inkommensurabilitätsproblem, dessen Lösung ein einheitliches Ontologieverständnis impliziert. Wie die AI-Ontologie zu verstehen ist, was sie leisten können muss, lässt sich nur dann sachgerecht beantworten, wenn man mit ihr zu den AI-Kernaspekten bzw. zu den eigentlichen AI-Ursprüngen vorrückt. Mit R. Kline (2011) ist das Verständnis der AI-Ursprünge zu Recht in der zweimonatigen *Dartmouth-Konferenz* mitsamt Shannon/McCarthy's (1956) *Automata Studies*, die ihre wesentlichen Ergebnisse manifestiert, zu suchen. Das ist insofern angezeigt, als sich die speziell auf McCarthy zurückgehende Disziplinbezeichnung "*Artificial Intelligence*" mit McCarthy et al. (1955) im Forschungsantrag dieser Konferenz findet.²³⁶⁶ Wird vor diesem Hintergrund die Frage nach den AI-Kernaspekten gestellt, rücken die *Automatentheorie* bzw. die darauf aufsetzenden *Theorien komplexer adaptiver Systeme* in den Fokus. Insbesondere in ihnen sind letztlich die Kerntheorien der AI-Tradition zu sehen, womit es gilt, auch die AI-Ontologieproblematik nicht zuletzt genau unter diesem Blickwinkel zu erörtern. Natürlich ist ein adäquates AI-Ontologieverständnis allein im Zeichen eines adäquaten AI-Gesamtverständnisses zu gewinnen. Indessen zeigen sich die gängigsten TLO-Theorieanwärter auf den Grundlagen veralteter philosophischer Ontologien entwickelt, indem diese an einem Objekt-, Ding- oder Substanzgedanken ansetzen, der kaum mit Shannon/McCarthy's (1956) *Automata Studies* in Einklang zu bringen ist.

Für ein adäquates AI-Gesamtverständnis muss vor allem mit Pkt. 6.2.1 das *Complex Event Processing* (CEP) wesentlich erscheinen, indem jede moderne AI-Konzeption insbesondere in IoX-Kontexten bei hybrider Agentenarchitektur auf dieses hinausläuft, was nicht zuletzt hinsichtlich des MAS-Zusammenspiels gilt. Indem tatsächlich intelligente AI-Systeme *ontologiebasierte* Systeme darstellen, konkret *TLO-referenzierende* Systeme, ist das CEP-Konzept regelmäßig im Sinne des ebenfalls in Pkt. 6.2.1 behandelten *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) zu sehen, in dem eine solche TLO-Referenz angelegt ist. Dabei ist entscheidend, dass der CEP-Ansatz maßgeblich auf verschiedensten Varianten der Automatentheorie aufbaut. Wenn im CEP- bzw. SCEP-Ansatz mit Blick auf die "*Event Streams*" von IoX-Umgebungen, etwa den in Pkt. 2.5 behandelten *RFID Data Streams*, die einzig tragfähige operationale CPS-Basis zu sehen ist, wird deutlich, dass ihre Ontologie, insbesondere die *Top-level Ontologie* als Referenzebene auch tatsächlich den Belangen der Automatentheorie in voller Gänze zu entsprechen hat. Indem ein modernes, universales Ontologieverständnis der Informatik bei geltenden IoX-Umgebungen dem Kriterium der *CPSS-Adäquanz* Rechnung tragen muss, sind die Implikationen, die aus diesen Feststellungen resultieren, evident: Die Informatik benötigt ein vollkommen neues Ontologieverständnis, nämlich eines, das *systematisch* auf *Komplexitätsgesichtspunkte* wie Evolution, Wandel, Vernetzung, Adaption, Agenten, Ereignis, Prozess, Struktur, Ordnungszustand usf. abstellt. Weil es vor dem Hintergrund vollumfänglicher semantischer

²³⁶⁶ Vgl. auch Moor (2006).

Interoperabilität nur *ein* universal gültiges Ontologieverständnis geben kann, folgt daraus, dass alle objektzentrischen wie rein linguistischen Ontologieverständnisse *ad acta* zu legen sind. Mit Blick auf die für ein modernes Ontologieverständnis elementaren CAS-, CEP- und CPS-Aspekte handelt es sich um veraltete und damit letztlich um potentiell fehlleitende Ansätze. Demgegenüber müssen Objekte einerseits und die Normalsprache andererseits gerade in diesen CEP-Kontext im Sinne von Situationen und Ereignissen rücken.

Die Informatik benötigt ein Ontologieverständnis, dessen metaphysischer Kern zugleich die Automatentheorie bzw. *Theorie komplexer Systeme* zu fundieren vermag. Indessen gibt es bisher keinen TLO-Theorieanwärter, der systematisch auf ihrer Basis entwickelt worden ist. Analog dazu ist zu konstatieren, dass sie bisher weder *systematisch* im Hinblick auf CAS, den CEP-Ansatz und CPSS noch damit verbunden auf den IoX-Hyperspace entwickelt werden. Vielmehr orientieren sie sich einseitig insbesondere an der Linguistik, der Kognitionstheorie, der Logik sowie der Philosophie, jedoch kaum spezifisch an der Prozessmetaphysik, und in keinem Fall an der Komplexitätsforschung. Allerdings ist gerade letztere mit Blick auf die Automatentheorie für die Ontologie der Informatik entscheidend. Somit können sich die bisherigen TLO-Ansätze offenbar auch nur bedingt für moderne CPS- bzw. CEP-basierte Systeme eignen. Vor diesem Hintergrund benötigt die Informatik eine CAS-, CPS- wie CEP-adäquate *Top-level Ontologie*, die im Kontext der *Theorie komplexer Systeme*, speziell der Automatentheorie sowie der Prozessmetaphysik als fundamentaler Grundlegung zu entwickeln ist. Mit der Automatentheorie als CEP-Fundament führt sie somit auf die eigentlichen Ursprünge der AI-Tradition zurück.

Somit schließt sich der Kreis: AI-Systeme sind intern wie extern, d.h. in ihrer System-Umweltinteraktion im Kern im Sinne von Shannon/McCarthy (1956) *Automata Studies* zu verstehen, benötigen jedoch zwingend im automatenbasierten SCEP-Sinne eine *ereigniszentrierte Ontologie*, insbesondere eine entsprechend *ereigniszentrierte Top-level Ontologie*. Diese ist wiederum im Zeichen der Automatentheorie und damit auf Grundlage der Komplexitätsforschung, insbesondere im Sinne von *Complex Adaptive Systems* (CAS) zu entwickeln. Indem es hierbei um ein universales Weltverständnis geht, das insbesondere reale Weltstrukturen bzw. insgesamt sämtliche ontologisch relevanten Fragen bezüglich der *Grundstrukturen aller Welten* zu klären hat, reicht eine rein methodologische Behandlung keinesfalls aus. Vielmehr zeigt sich, dass die Ontologiefrage im Sinne einer realistischen TLO-Konzeption nur lösbar ist, wenn komplexe IoX-Systeme vor dem Hintergrund der *metaphysisch adäquaten Repräsentationen* bei McCarthy/Hayes (1969) in Bezug zu einer passenden techno-wissenschaftlichen Metaphysik gesetzt werden. Damit gelangt man in der Kombination von mathematischer Logik, Prozess und Komplexität offener organischer Systeme bei der Frage ihrer kategorialen wie meta-ontologischen Bestimmung zwangsläufig zur Metaphysiksystematik Whiteheads. Wie erwähnt, rekurrieren auf diese nicht nur McCulloch/Pitts (1943) als zentraler Ausgangsbeitrag der *Dartmouth-Konferenz* in Bezug auf die mathematische Logik, sondern auch bereits McCulloch (1954) in Bezug

auf seine Prozessmetaphysik. Analoges gilt für J. von Neumanns (1951, 1966) Idee *selbst-reproduzierender Automaten* und seinen Gedanken universaler Automatenklassen. Denn auch diese finden sich im Original bei Whitehead.

Bei der Frage des *Objekt- vs. Ereigniszentrismus* handelt es sich nicht etwa um eine nebensächliche Debatte, sondern vielmehr um nichts anderes als den Kern der Sache, und das in dreifacher Hinsicht: Erstens handelt es sich, was den Aspekt der *Scientific Ontology* (W1, W4) betrifft, bei den Inhalten, die Ontologien repräsentieren, um komplexe Systeme bzw. um *komplexe adaptive Systeme* (CAS). Zweitens, was den Aspekt *epistemologischer Ontologien* (W2) betrifft, sind Ontologien im Kontext agentenbasierter Systeme bzw. MAS-Ontologien allein im Zeichen *komplexer adaptiver Systeme* (CAS) verstehbar, wie es auch schon Poole/Mackworth (2010) darlegen. Drittens, was den Aspekt *technologischer bzw. praktischer Ontologien* der Technopraxis (W3) betrifft,²³⁶⁷ sind alle ontologiegestützten Systeme (ODIS, CPS usw.) bzw. deren Teilsysteme (intelligente Sensoren, Smart Objects usw.) Elemente *komplexer adaptiver Systeme* (CAS). Teilweise bewegen sie sich als CAS wiederum in komplexen, evolutionären Umgebungen (GIS-basierte CPS, autonome bzw. kognitive Robotik usw.). Wenn bereits mit Kleene (1956) deutlich geworden ist, dass das CAS-Verhalten, das den Kern adaptiver Systeme darstellt, *ereigniszentriert* zu konzipieren ist, sollte auch die Ontologiekonzeption *ereigniszentriert* und nicht etwa – wie in den meisten bisherigen Fällen – objektzentrisch verfasst sein.

Wenn etwa mit Worboys/Hornsby (2004) im CPS-relevanten GIS-Zusammenhang gilt, vom stationären Objekt- zum evolutionären Ereigniszentrismus zu kommen, sind die "Events" der linguistischen Tradition Davidsons (1967) zwar von Interesse, aber insofern mit Vorsicht zu bemühen, indem die Ereignisse in der Sprache primär objektbezogen sind: »Jones buttered the toast slowly« und ähnliche Beispiele Davidsons (1967: 82) zeigen, in welchem Geiste solch linguistisch gefasste *Handlungen und Ereignisse* stehen. Dennoch bleibt die linguistische Ereignisrepräsentation – allein schon mit Verweis auf moderne *Structured English-Ansätze* wie SBVR – natürlich wesentlich. Nur kann die linguistische Ereignissemantik, wie sie sich traditionell konzipiert zeigt, offenbar nicht die Orientierung vorgeben, wenn es um CPSS-adäquate Ontologien geht. Denn diese bewegen sich mit Verweis auf Pkt. 6.2.1 naturgemäß auf CAS- bzw. CEP-Basis, was wiederum beides auf die Automatentheorie und komplexe Systeme zurückführt. Schon mit E. Berkeley (1954: 234) wird auf Basis der Booleschen Algebra deutlich, dass das Verhältnis von komplexen Systemen und linguistischer normalsprachlicher Repräsentation in genau dieser Richtung verläuft. Damit hat man entsprechend auch bei ersteren anzusetzen:

²³⁶⁷ Dieses ontologische Wechselspiel von *technologischen* und *praktischen* Ontologien in der *Technopraxis* begründet sich zum einen durch den Rekurs praktischer *Anwendungsontologien* auf technologische *Referenzontologien*. Zum anderen steht es im Zeichen des Grundverständnisses der *Technologie* an sich, indem mit Bunge (1966b: 341) für diese gilt: »The goal of technology is successful action rather than pure knowledge, and accordingly the whole attitude of the technologist while applying his technological knowledge is active in the sense that, far from being an inquisitive onlooker or a diligent burrower, he is an active participant in events«.

»[A] circuit element on at one time may be off at another time. It is customary in ordinary language to talk about one of these changes of state as an event, and so it is reasonable to speak of this extension of the algebra of classes as the algebra of states and events.«

Demnach muss es im oben dargelegten Sinne gelten, zu den eigentlichen Ursprüngen der AI-Disziplin zurückzukehren, und die "Events" im realistisch-metaphysischen Sinne Whiteheads im Zeichen der mathematischen Logik und Automatentheorie zu konzipieren. Das aber führt zu "Events", die nicht objektzentrisch sind, sondern die vielmehr Objekte auf Ereignisse beziehen, und sie schließlich insgesamt im prozessualen Sinne auch selbst als *Ereignisse* auszulegen sind. Dennoch sind Objekte im Whiteheadschen Sinne als eigenständige Kategorie abzugrenzen. Aber sie sind nichts Statisches. Wie in Pkt. 3.3.2 dargelegt, setzen dabei einfachste *Finite-state Automata* (FSA) an "*input events*" an, in deren Tradition auch das in Pkt. 6.2.1 behandelte *Complex Event Processing* (CEP) steht.

Mit den Überlegungen Neumanns (1951), Simons (1982b, 1983a) oder Newells (1990) ist der in Pkt. 6.1.2 erläuterte,²³⁶⁸ im Sinne *prozessualer Form* verstandene *Funktionalismus* impliziert, genauso wie die dort näher begründete *Äquivalenzthese*, auf die wir weiter unten ebenfalls zurückkommen. Auch McCarthy (1977) baut auf der Automatentheorie auf, wenn er auf Basis der *Theorie zellulärer Automaten* epistemologische Einsichten für die AI-Disziplin wie für die Philosophie zu gewinnen sucht.²³⁶⁹ Auch wenn mit McCarthy (1995) gilt, dass die zentralen AI-Ideen *philosophische* Ideen sind, ist dies keinesfalls einseitig zu verstehen. Denn mit Minsky (1997: 25) lassen sich auf dieser Basis wiederum Rückschlüsse in anderer Richtung ziehen: »Computer Science [...] will help us understand brains. [...] It will help us learn what Knowledge is. It will teach us how we learn, think, and feel«. ²³⁷⁰ Dass auch diese Auffassung zweifellos richtig ist, wird sich schon daran zeigen, dass bereits durch die einfache Aufschaltung verschiedenster Domänenontologien gewissermaßen auf Knopfdruck praktische Situationen entstehen, die in der Philosophie eher theoretisch diskutiert werden. Allerdings sind im Kontext der AI-Ontologie die damit verbundenen wissenstheoretischen Herausforderungen *de facto* zu lösen. Insofern gibt es hier Einsichten, die für die theoretische Diskussion gewiss einen Impuls bilden können.

Ontologien spielen in der Entwicklung der AI-Disziplin nicht von Anfang an, sondern erst seit McCarthy/Hayes (1969) eine Rolle,²³⁷¹ wobei sie bis zu Grubers (1993, 1995) durch die Disziplin offenbar als "bahnbrechend" wahrgenommenen Beiträgen ein Schattendasein führen. Wenn es auch viele andere wichtige parallele Entwicklungen gibt, sind es erst die in der TLO-Referenz über Gruber hinausgehenden *explikativen* Ontologien, die den eigentlich revolutionären Schritt in der AI-Entwicklung markieren.²³⁷² Denn sie ma-

²³⁶⁸ Vgl. dazu auch bereits Pkt. 4.6.

²³⁶⁹ Vgl. hierzu ergänzend McCarthy (1979: 175 ff.).

²³⁷⁰ AI-Kritiker wie Hofstadter (1985: 654) nehmen eine dazu gegenteilige Position ein; auch Searle (1986: 39) hat herausgestellt, dass das menschliche Hirn kein – bzw. nicht bloß ein – digitaler Computer ist.

²³⁷¹ Mealys (1967) Ontologie zielt nicht auf die AI-Sphäre, sondern auf die *Datenmodellierung*.

²³⁷² Bei Lindsay (1963: 218) heißt es noch: »The meaning of meaning and the meaning of understanding have never been adequately explicated when applied to human thought processes. How then can we hope

chen aus der rein *syntaktischen* Turingmaschine eine *semantische Maschine*,²³⁷³ die wesentlich über die bereits existenten bloßen semantischen Netze hinausgeht. Damit führen sie nicht nur Searles (1980) "*Chinese Room*"-Argument *ad absurdum*,²³⁷⁴ sondern widerlegen bezüglich des Semantikarguments auch verschiedene Kritiker.²³⁷⁵ Beckermann (1990) wie auch Kim (1996: 101) haben bereits zu Recht festgestellt, dass es unangebracht ist, den Geist als *semantische Maschine*, den Computer im Gegensatz dazu aber nur als *syntaktische Maschine* auffassen zu wollen.²³⁷⁶ Wie es die Welt 2 und korrespondierende W2-Ontologien zeigen, bestehen diese Unterschiede auf Basis TLO-referenzierender AI-Ontologien tatsächlich nicht mehr zwingend. Vor allem ist mit Pkt. 6.3 bzw. Pkt. 8.2 absehbar, dass semantische Maschinen sich in Form von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* darstellen, deren maschinelle Agenten im Zeichen der Superintelligenz der dritten AI-Generation menschlichen Agenten zunehmend auch im techno-wissenschaftlichen Bereich überlegen sind. Maschinelle Agenten können im Zusammenspiel von IoD, IoS, IoT und IoA über Messungen und Testversuche mittels Sensorik und Aktorik beständige Falsifikationsversuche eigener Hypothesen rund um die Uhr vollziehen. In Verbindung mit einer transdisziplinären Wissensrepräsentation und einem beständigen *Ontology Learning* kann dies einen großen Erkenntnisfortschritt eröffnen.

Entsprechend werden computergestützte Systeme – etwa im Zuge der in Pkt. 2.5 erwähnten semantischen M2M-Interoperabilität oder der in Pkt. 3.3.2 diskutierten situativen SAW-Ontologien – bereits explizit als *semantische Maschinen* verstanden.^{2377, 2378} Mit Blick auf die in Pkt. 6.3 umrissene *Superintelligenz* der dritten AI-Generation sei angemerkt, dass die Nivellierung von Neumanns (1951) Automatenklassen bereits über das Semantikmoment weit hinausgeht. Denn *semantische Maschinen* machen nicht nur an der Semantik fest, sondern setzen etwa mit der *Intentionalität* auch an Bereichen an, die ebenfalls lange für nicht erschließbar gehalten wurden. Bspw. suchen jüngere Beiträge zu HLIF-Informationsfusionsmodellen diese intentionale Ebene zu inkorporieren und beziehen sich

to make them precise enough to enable us to build machines which understand meaning?«. Diese Frage beantwortet Lindsay (1963: 227 ff.) zumindest mit einem Programm zur Semantikanalyse.

²³⁷³ Hofstadter (1979: 578 f.) hat die Church-Turing-These (vgl. hierzu Fn. 2970) in eine *AI-Variante* umgemünzt, die besagt, dass geistige Prozesse jeder Art durch Computerprogramme simuliert werden können.

²³⁷⁴ Vgl. hierzu ergänzend Boden (1990b).

²³⁷⁵ Vgl. etwa Kauffmans (2008: 192-194) zu Searles (1980) "*Chinese Room*" Argument analoge Kritik: »A central failure of the 'mind as a computational system' theory is that computations, per se, are devoid of meaning. They are purely syntactic. They are devoid of semantics. [...] The mind makes meanings. It makes understandings. [...] Thus, while the human mind, central to our human embodied agency, is sometimes algorithmic and sometimes computes, it does some things we do not yet understand; it makes meanings. [...] So the syntactic, algorithmic, connectionist theory of mind is part of the truth, but it is far from adequate«.

²³⁷⁶ Diese Sichtweise schließt nicht aus, dass geistige Prozesse, etwa bezüglich Kognition, Rationalität und Kreativität besondere ontologische Berücksichtigung finden. Das läuft dann auf die klassische *Ontologie des Geistes* (*Ontology of Mind*) hinaus, wie sie speziell seit F. Brentano in Cartesischer Tradition verfolgt wird, vgl. hierzu etwa Mulligan/Smith (1985), Steward (1997) sowie Addis (2008).

²³⁷⁷ Vgl. etwa Lambert (2009).

²³⁷⁸ Insofern gilt dies auch für *technologische Artefakte* und damit für W3-Ontologien.

dabei auf relevante philosophische Modelle.²³⁷⁹ Es steht außer Frage, dass die Informatik damit endgültig in den Kernbereich der Philosophie des Geistes vorrückt.²³⁸⁰ Entsprechend wird McCarthys (1995) These, wonach die zentralen AI-Ideen *philosophische* Ideen sind, nochmals unterstrichen; gleichzeitig wird umso klarer, wie verfehlt die Reduktion der AI-Ontologie auf eine rein linguistische Ontologie eigentlich ist. Denn sie kann die erörterten Momente einschließlich des unten diskutierten *ontologiegestützten Entscheidungsverhaltens* in Agentensystemen in keiner Weise sachgerecht inkorporieren.

Moderne AI-Systeme sind *agentenbasiert*; entsprechend wird versucht, im Zuge der Imitation bzw. Simulation, Optimierung oder einer darüber hinausgehenden AI-Neukonzeption menschlichen (Entscheidungs-) Verhaltens tatsächlich intelligente, selbstorganisierende autonome kognitive Systeme zu begründen.²³⁸¹ Wie bereits in Pkt. 3.3 erwähnt, bauen im Grunde sämtliche AI-Aspekte auf *philosophischen* Überlegungen auf und sind ohne diese Grundlegungen kaum sachgerecht zu verstehen; das betrifft auch die Grundidee des *perzeptiven (kognitiven) bzw. rationalen Agenten*, die auf den Cartesischen Rationalismus, in der Folge über Spinoza und Leibniz bis zu Kant als letztem Aufklärer zurückgeht.²³⁸² Alle Agenten-Charakteristika, von der Selbstreflexion, prinzipiellen Autonomie oder Intentionalität angefangen bis zur Interaktion mit der Außenwelt besitzen genau hier ihre Ursprünge. Indem Whitehead auf diesen Grundlagen aufbaut, finden sich in seiner Prozessmetaphysik gerade auch dieses Moment in Form des *Subjekt-Superjekts* wieder. Vor diesem Hintergrund spielen die auf den genannten Grundlagen entwickelten, mitunter heterogenen *Agententheorien* für die AI-Tradition seit langem eine essentielle Rolle.^{2383, 2384} Bei solchen Agententheorien handelt es sich im Wesentlichen um *Spezifikationen*,²³⁸⁵ die sich auf *komplexe Systeme* beziehen. Im Mittelpunkt steht dabei die Interaktion von Agenten mit ihren Welten,²³⁸⁶ deren Schemata zuweilen als *Interactive Routines* bezeichnet werden.²³⁸⁷ Im Sinne der *Situated Robotics* zeigen sich Agenten somit regelmäßig in Umwelten eingebettet.²³⁸⁸ Diese lassen sich nur dann tatsächlich vollständig in der ganzen erforderlichen Tiefe modellieren, wenn dabei disparate Welttypen differenziert werden. Denn es geht – im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF – on-

²³⁷⁹ Vgl. etwa Scholz/Smith/Gossink (2012).

²³⁸⁰ Vgl. hierzu Ao/Scholz/Oxenham (2014: 2): »HLIF is the machine counterpart to human comprehension and projection, and so is concerned with abstract information, e.g. semantic relationships, expectations and consequences, capabilities, purpose and intent«.

²³⁸¹ Für H.A. Simon (1987c) geht es im Sinne der *Kognitionswissenschaften* insgesamt um die Simulation intelligenten menschlichen Verhaltens. Diese Auffassung deckt sich mit jener von Boden (1990a: 1), die die AI-Disziplin als »*science of intelligence in general*« bzw. als »intellectual core of cognitive science« auffasst. Vgl. hierzu ferner Sokolowski (1988).

²³⁸² Vgl. hierzu auch Fn. 2035 sowie Fn. 2581.

²³⁸³ In Betonung der *Heterogenität* der Agententheorien unterteilen Johnston/Milton (2002) die Ansätze in "*deliberative*" und "*situational*" als generische Gruppen.

²³⁸⁴ Vgl. etwa Suchman (1985), Bratman (1987), Cohen/Levesque (1990), Brooks (1991c, 1991d) sowie Rao/Georgeff (1991).

²³⁸⁵ Vgl. Wooldridge/Jennings (1995: 118).

²³⁸⁶ Vgl. hierzu auch Brooks (1991d).

²³⁸⁷ Vgl. Agre/Chapman (1987: 269).

²³⁸⁸ Vgl. hierzu Hendriks-Jansen (1996), Clancey (1997) sowie Wooldridge (2002b).

tologisch offenbar um mehrere Welttypen und deren Interaktion; konkret um die hier dargelegten vier Welten, nämlich W1, W2, W3 und W4 und deren Integration. Dabei spielt nicht nur das durch *universale Agenten* verkörperte Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt* im Zeichen der W2-W1-Interaktion eine zentrale Rolle, sondern mit Blick auf technologische Steuerungen gewiss auch der W3-Bereich bzw. in MAS-Hinsicht die W4-Sphäre.²³⁸⁹ Insofern empfiehlt sich der Bezug jeder CPSS-adäquaten Agententheorie auf eine *Vier-Welten-Ontologie*, wie sie hier mit CYPO FOX wird. Denn intelligente AI-Systeme bewegen sich im CPST-Hyperspace und damit im CPS/SEA- bzw. MAS/CAS-Kontext.²³⁹⁰

Geht es um die ontologische Fundierung von Multiagentensystemen, nehmen wiederum *Top-level Ontologien* eine zentrale Funktion wahr. Denn für diese sind einheitliche meta-ontologische Spezifikationen wie einheitliche *Top-level Kategorien* im Sinne von McCarthy (1995) "*general world view*" nicht nur im prozeduralen Kontext, sondern vor allem auch hinsichtlich der Wissensrepräsentation unverzichtbar. Dabei sei kurz auf einen alternativen Ansatz in dieser Sache verwiesen, wie er in der *Ontology for Autonomous Systems* (OASys) verfolgt wird.²³⁹¹ Hier versucht man statt der TLO-Referenz die Fundierung über die *Allgemeine Systemtheorie* und einer davon teils losgelöst entwickelten Mereologie und Topologie zu bewerkstelligen.²³⁹² Diese vermeintliche TLO-Alternative ist jedoch aus mindestens drei Gründen als überaus problematisch zu werten: (i) wie in Pkt. 6.1.3 deutlich wird, muss es eine Konsistenz in sämtlichen meta-ontologischen Belangen geben, die sich letztlich nur dann realisieren lässt, wenn sie alle aus einem metaphysischen Guss entwickelt sind. Gerade für autonome CPS ist ein robustes Fundament erforderlich, das allen Anforderungen autonomer komplexer Systeme standhält. (ii) Im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* kommt man nicht an einer umfassenden metaphysischen Kategorialanalyse vorbei, wie sie in Pkt. 6.1.3 umrissen wird. Dabei ist diese nicht nur im prozeduralen Sinne agentenbezogener *Weltauffassungen* erforderlich, sondern gerade auch für die Zwecke einer umfassenden transdisziplinären Wissensrepräsentation. Indessen kommt die Idee, die Systemtheorie anstelle der Kategorialanalyse zu bemühen, mit Bertalanffy aus der Disziplin selbst; entsprechend wird am Ende von Pkt. 6.1.3 dazu nochmals kritisch Stellung genommen. (iii) Wie bereits Abb. 2 in Pkt. 1.5.1 zeigt, geht es selten um isolierte autonome Systeme bzw. um isolierte CPSS. Wie IoX-Umgebungen indizieren, stehen solche Systeme vielmehr in umfassender Vernetzung und Interaktion. Mit Abb. 2

²³⁸⁹ Die W2-W1-Interaktion bzw. W2-W4-Interaktion, die eine Integration von *epistemischen* und *ontischen* Ontologien in einer Mehrweltenkonzeption implizieren, ist bereits *ex definitione* in der kausalen Natur des Agentenbegriffs angelegt: »At a very basic level, an agent is any entity *able to act*, i.e., to produce some causal effect and some change in its environment«, vgl. Castelfranchi (1998: 160), Hvh. im Orig. Wooldridge (2002b) fasst ihn in anderer Hinsicht genauso breit, wenn er an den *Entscheidungsstrukturen* ansetzt und auf dieser Basis bereits jedes einfache *Steuerungssystem* als "Agenten" erachtet.

²³⁹⁰ Das gilt schon hinsichtlich der Steuerungsaspekte, indem mit Marinagi et al. (2005: 226) gilt: »Agent technology is one of the vehicles of AI planning research towards practical real-world applications«.

²³⁹¹ Vgl. hierzu Bermejo-Alonso et al. (2010a, 2010b, 2011, 2013).

²³⁹² Der Rekurs auf die *Allgemeine Systemtheorie* bezieht sich dabei auf Klir (1969, 1985, 1991), der bereits wesentlich auf *autonome Systeme* abstellt, vgl. hierzu speziell Klir (1985).

zeigt sich konkret im PLM-Kontext, dass U-PLM-Systeme als polymorphe Cyber-physische Systeme (CPS) zu erachten sind. Im Closed-loop PLM bzw. *Ubiquitous PLM* (U-PLM) stellt sich dies konkret so dar, dass etwa ein ontologischer PEID-PLM-Bezug erforderlich wird, der wiederum eine vollumfängliche semantische Interoperabilität einfordert. Dann aber geht es offensichtlich um das ganze Integrationsszenario, was sich in anderen Fällen ähnlich darstellt. Insofern ist entsprechend die Ontologie autonomer CPS bzw. die PEID-Ontologie in die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* einzubeziehen und auf einem einheitlichen TLO-Ansatz zu begründen. Demgegenüber abstrahiert der OASys-Ansatz von allen drei genannten Erfordernissen, womit dieser selbst für einfachste Systeme fragwürdig erscheint. Vielmehr kommt es erst deshalb zu solchen fragwürdigen Konzepten, weil der Informatik das eigentlich unabdingbare digitalmetaphysische Fundament fehlt. Bertalanffys (1951b) *Systemtheorie*, die genauso wie Wieners (1948) *Kybernetik*, Koesters (1967) *"Holonen"* oder Laszlos (1972a) darauf aufsetzende *Systems Philosophy* direkt bzw. indirekt vom Leibniz-Whitehead-Konnex abgeleitet sind, vermögen diesen jedoch lediglich höchst bedingt, zumeist sehr eingeschränkt und teilweise falsch widerzuspiegeln.²³⁹³ All solche Ansätze können letztlich kein Ersatz für eine echte techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik sein.

Im Zuge einer weitreichenden Imitation menschlichen Entscheidungsverhaltens geht es um die Fassung aller mentalen Determinanten von Agenten in Attribute, die dazu strukturell wie dynamisch in Beziehung gesetzt werden. Zu diesen Attributen gehören im Grunde sämtliche Aspekte, die auch für die menschliche Agentenklasse relevant sind: etwa Bedürfnisse (desires), Ziele bzw. Absichten (intentions); Annahmen, Überzeugungen (beliefs) und Wissen; Wahlmöglichkeiten und Handlungen; Fähigkeiten sowie schließlich Beziehungen bzw. Interaktionen, wie sie für die W4-Sphäre konstituierend sind.²³⁹⁴ Damit wird zugleich deutlich, dass die Agentenrationalität und korrespondierende Rationalitätsbegriffe wie Rationalitätstheorien genauso eine elementare Rolle für die Modellierung des Agentenverhaltens spielen wie etwa Adaptionsprozesse und Lerntheorien.²³⁹⁵ Ältere Agententheorien wie jene Bratmans (1987) stellen dabei noch nicht auf ontologische Aspekte ab;²³⁹⁶ hier geht es noch um jene Gesichtspunkte, die klassischerweise im Zuge von *Agent-based Modeling and Simulation* (ABMS) in den verschiedensten wissenschaftlichen Paradigmen, etwa der *Agent-based Computational Economics* (ACE) als Strömung der *Evolutorischen Ökonomik*,²³⁹⁷ zugrundegelegt werden.²³⁹⁸ ABMS-Modelle lassen sich als Modelle *komplexer Systeme* erachten, wobei insbesondere auf Wolframs (1983a) *Theorie zellulärer Auto-*

²³⁹³ Bspw. wird bei Bertalanffy auf den kategorialen bzw. ontologischen Aspekt verzichtet, auf den es jedoch in der Informatik gerade ankommt. Genauso fehlt etwa in allen Ansätzen der beständige Ratio-Empirismus, der die Metaphysik in direkt durchgängige Weise zum Wissenschaftsfortschritt bringt.

²³⁹⁴ Vgl. etwa Jureta/Faulkner (2005) sowie Jureta et al. (2006).

²³⁹⁵ Vgl. hierzu etwa Wooldridge/Jennings (1995), Nwana (1996) sowie Marinagi et al. (2005: 228).

²³⁹⁶ Analoges gilt etwa für Cohen/Levesque (1990) sowie Rao/Georgeff (1991).

²³⁹⁷ Vgl. etwa Arthur (2006).

²³⁹⁸ Vgl. hierzu etwa Bandini et al. (2009).

maten (CA) zurückgegriffen wird.²³⁹⁹ Denn auf CA-Basis lässt sich anschaulich illustrieren, dass aus dem Zusammenspiel von Agenten, die auf Grundlage einfacher Regeln operieren, dennoch ein potentiell chaotisches Systemverhalten resultieren kann, wie es in Pkt. 4.3 etwa Langtons (1992c) Topografie zellulärer Automaten illustriert.

Nicht zuletzt ältere Agententheorien wie jene bedeutende Bratmans (1987) sind elementar, wenn es gilt, eine integrierte Ontologiekonzeption zu entwickeln, die allen AI-Anforderungen gerecht wird. Von Bratman stammt nicht nur das vielbeachtete BDI-Modell (Belief, Desire, Intention), das durch Rao/Georgeff (1991) und andere weiterentwickelt wurde.²⁴⁰⁰ Vielmehr wird mit Bratman (1987) auch die zentrale Rolle der Agentenrationalität deutlich. Für die Frage der Ontologiekonzeption ist dabei bedeutend, dass gerade auch bei Bratman (1987) die modalen Aspekte im Vordergrund stehen. Im AI-typischen Sinne geht es auch hier darum, beliebige Diskursuniversen im Sinne einer *Mögliche-Welten-Semantik* zu adressieren und alternative Wahlhandlungen in den Kontext *möglicher Welten* zu rücken.²⁴⁰¹ Demgegenüber stoßen die älteren Agententheorien insofern an ihre Grenzen, als moderne agentenbasierte AI-Systeme auf hybriden Agentenarchitekturen stehen, für die insbesondere *Ontologien* elementar sind, und sich jüngere Agentenansätze entsprechend regelmäßig als ontologiebasiert erweisen.²⁴⁰² Wenn die Ontologiekonzeption einer *agentenbasierten* AI-Konzeption zwangsläufig die Zugrundelegung *möglicher Welten* impliziert, wird deutlich, dass etwa die BFO-TLO genauso wenig der Weisheit letzter Schluss sein kann wie auch die BWW-TLO. Tatsächlich gilt für CPS im Allgemeinen wie für die Robotik im Besonderen, dass in AI-Kontexten sowohl auf *aktuale* als auch auf *mögliche Ereignisse* abzustellen ist.²⁴⁰³ Diese Modi sind mit dem in Pkt. 6.2.1 behandelten *Complex Event Processing* (CEP) zu kombinieren. Es steht dabei außer Frage, dass *Ereignisse* für eine agentenbezogene AI-Ontologiekonzeption neben *Objekten* wesentlich sind. Somit ist auch hier mit Verweis auf Pkt. 4.4 die Verhältnisbestimmung von *Objekt und Ereignis* unverzichtbar. Ob sich dabei, wie etwa bei Bölöni/Marinescu (1999) Ereignisse auf Objekte beziehen, oder dies vielmehr umgekehrt zu sehen ist, sei an dieser Stelle dahingestellt. Allerdings ist dies semantisch entscheidend und entsprechend im fünften und sechsten Teil zu klären. Demgegenüber besitzen die beiden genannten TLO-Ansätze ihre relative Stärke in der Repräsentation wissenschaftlichen Wissens (BFO) bzw. – genauso vermeintlich – in der realitätsbezogenen konzeptuellen Modellierung (BWW). Tatsächlich aber scheitern diese beiden TLO-Ansätze an ihren jeweiligen Spezialbereichen,²⁴⁰⁴ während

²³⁹⁹ Vgl. *ibid.*; vgl. auch Bandini (2002).

²⁴⁰⁰ Vgl. hierzu auch Bölöni/Marinescu (1999); vgl. ergänzend Logan (2015).

²⁴⁰¹ Vgl. ähnlich Cohen/Levesque (1990), Rao/Georgeff (1991) sowie Wooldridge (1992).

²⁴⁰² Vgl. hierzu etwa DiLeo et al. (2002), Wooldridge (2002a: 180 ff.), Tamma/Cranefield et al. (2005), Bermejo-Alonso/Sanz (2006), Hadzic et al. (2009), Poole/Mackworth (2010), Warden et al. (2010), Davidovsky et al. (2012) sowie Addakiri/Bahaj (2013).

²⁴⁰³ Vgl. Haas (1985).

²⁴⁰⁴ Bzgl. BFO gilt dies insbesondere für die Inkompatibilität mit dem Popperschen Falsifikationsprinzip und objektivem Wissen. Bzgl. BWW ist festzustellen, dass CPS-Welten nicht auf Basis einer materialistischen Metaphysik modelliert werden können, die zudem endurantistisch verfasst ist.

die TLO-Alternativen für diese per se indiskutabel sind. Indessen hat die *Top-level Ontologie* mit Pkt. 3.2.3 vor allem auch insofern auf die AI-Wissensrepräsentation zu zielen, als diese gerade notwendig auf eine agentenbasierte AI-Konzeption zugeschnitten sein muss. Denn alles andere wäre keine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption, da diese mit der Intelligenz dieser Systeme zwangsläufig auf einen solch agentenbasierten Zuschnitt hinausläuft.

Gleichzeitig steht gerade mit der agentenbasierten AI-Konzeption außer Frage, dass die AI-Wissensrepräsentation nicht allein auf *wissenschaftliches Wissen* zielen kann, wie es indessen bei Smith (BFO), primär auch bei Bunge (BWW) systematisch angelegt ist. Eine CPSS-adäquate und damit agentenbasierte Ontologiekonzeption muss vielmehr auch jenseits davon auf die *Überzeugungen* (beliefs) abstellen, die immer schon Gegenstand der tradierten *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) der AI-Tradition sind. Allerdings können sich solche *Belief Systems* nur dann wirklich als intelligent erweisen, wenn es jenseits der Überzeugungen bei Ontologien auch um echtes Wissen im Popperschen Sinne geht. Somit ist etwa die allein auf die klassischen AI-Aspekte wie die *Mögliche-Welten-Semantik* abstellende DOLCE-TLO offenbar keine Alternative, da ihr genau jene wesentlichen Momente fehlen, die BFO bzw. BWW bieten. Insofern wird erneut deutlich: die Zukunft der AI-Disziplin kann allein in einer *integrierten Ontologiekonzeption* als *Mehrweltenontologie* bestehen, die CYPO FOX im Sinne all dieser Aspekte in sich zu inkorporieren versteht. Tatsächlich intelligente Systeme koppeln die Intelligenz; somit laufen agentenbasierte AI-Systeme auf *Multiagentensysteme* (MAS) bzw. *Distributed Artificial Intelligence* (DAI) hinaus.²⁴⁰⁵ Hier zeigen sich die Agenten nicht nur vernetzt und in Interaktion stehend, sondern im Zeichen der W4-Sphäre auch vollumfänglich semantisch interoperabel.²⁴⁰⁶

Indem *Komplexität* in Pkt. 4.3 im MAS-Agentensinne auf Basis von *Systeminteraktionen* zu definieren ist, besteht ein unmittelbarer Übergang zwischen den *Complex Adaptive Systems* (CAS) und Multiagentensystemen (MAS), was in Pkt. 6.2.1 nochmals aufgegriffen wird. Insofern ist es richtig, dass die AI-Konzeption universal auf die Basis der Komplexitätsforschung gestellt wird, indem gerade die W4-Sachverhalte zeigen, dass die kybernetische Alternative keine ist, die den Anforderungen der universalen Ontologie gerecht wird. Insofern überrascht es nicht, wenn Wiener (1965: 123 f.) zur Frage, ob die Sozialwissenschaften wirklich ein passendes Anwendungsfeld für die kybernetische Systemtheorie darstellen, selbst eine skeptische Position bezieht. Das ist bei der cyber-physischen Prozessmetaphysik Whiteheads, auf der die Kybernetik unmittelbar aufbaut, anders. Indessen ist nicht nur mit Blick auf die DAI/MAS-Momente ein unmittelbarer Bezug zwischen der AI-Tradition und der Komplexitätsforschung gegeben, der über die Automatentheorie als

²⁴⁰⁵ Vgl. hierzu etwa Sacerdoti (1978), O'Hare/Jennings (1996), Weiss (1999) sowie Wooldridge (2002a).

²⁴⁰⁶ Sokolova/Fernández-Caballero (2007) erkennen im MAS-Kontext bereits die Notwendigkeit, neben der *Agent Ontology* (W2) etwa auch eine *Task Ontology* (W3) sowie eine *Ontology of Interactions* (W4) abzugrenzen und alles auf eine fundamentale *Meta-Ontology* (TLO) zu beziehen. Es handelt sich auch hier insofern um eine *Mehrweltenontologie*, als es um gänzlich disparate Welten und Wissensarten geht.

Basistheorie weit hinausreicht. Vielmehr ist in der Komplexitätsforschung mit Pkt. 4.3 insgesamt jener Mittler auszumachen, der ausgehend von der empiristischen Universalsynthese für den *Ratio-Empirismus* der *Klasse-4-Metaphysik* unabdingbar ist. Entsprechend ist in ihr das *neue Paradigma* der Informatik auszumachen, das nicht nur in CPSS/SEA- wie in MAS/CAS-Hinsicht, sondern im Zeichen der dritten AI-Generation insgesamt für die Disziplin bestimmend sein sollte. Auch die Komplexitätsforschung hat die fundamentalen Strukturen der Welten bzw. Realität zum Gegenstand. Allerdings allein unter den Gesichtspunkten komplexer Systeme. Dabei will und kann sie die Metaphysik nicht ersetzen, indem die Komplexitätsforschung weder von kategorialer noch von rationalistisch-spekulativer Natur ist. Vielmehr ist sie mit Mainzer (2005: 73 f.; 2007a) *Methodologie*. Als solche ist sie jedoch der Metaphysik zweifellos immer insofern nachgeordnet, als auch sie nicht um meta-ontologische Dispositionen umhin kommt.

Insgesamt ist McCarthy (1995) Forderung nach einem "*general world view*" gerade im Kontext der *Agententheorie* zu sehen, indem auch für Brooks (1991a) außer Frage steht: »The key problem is in trying to build a model of the world«, womit »some internal representation of an external objective reality« gemeint ist.²⁴⁰⁷ Ferner ist zu konstatieren, dass Agententheorien für die TLO-Diskussion nicht nur mittelbar, sondern vielmehr unmittelbar eine zentrale Rolle spielen; das ist etwa bei der DOLCE-TLO, der 4D Upper Ontology Russell/Norvigs (2010), der Sowa-TLO, der UFO-TLO oder der Chisholm-TLO der Fall. Analoges gilt im Zuge der TLO-Referenz nachgeordneter MAS-basierter Ontologien, etwa wenn die ADACOR-Ontologie als PLM-CO auf die DOLCE-TLO referenziert. Gerade auch in solchen Fällen müssen die TLO-Theorieanwärter den MAS-Anforderungen gerecht werden. Allerdings ist festzustellen, dass einige TLO-Ansätze den MAS-Anforderungen überhaupt nicht zu entsprechen vermögen, während das für alle anderen mindestens insofern nur eingeschränkt gelten kann, als die gleichzeitige CPS- wie MAS-Entsprechung im Grunde durch keinen einzigen TLO-Theorieanwärter bewerkstelligt ist. Allerdings ist genau dies für moderne Systeme unabdingbar, wenn es um den IoX- bzw. CPST-Hyperspace geht.

Wie für die TLO-Ansätze, sind Agententheorien bzw. agentenbasierte AI-Ontologien auch für die EO-Ansätze von entscheidender Relevanz. Das gilt in mindestens vier Hinsichten: (i) Einer Reihe von EO-Ansätzen sind Agententheorien bzw. Fragmente davon inhärent, wobei zu betonen ist, dass es dabei allein um *realweltliche Agenten* geht,²⁴⁰⁸ nicht um agentenbasierte AI-Konzepte bzw. MAS. Ungeachtet dessen zeigt dieser Umstand gerade, dass das EO-Konzept offensichtlich in diese MAS-Richtung zu entwickeln ist. (ii) Schon die agententheoretischen Aspekte der Chisholm-TLO beziehen sich primär auf ein TLO-referenzierendes IS-Design,²⁴⁰⁹ womit diese eine zentrale Bewandnis für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) besitzen. (iii) Darüber hinaus stellen sich dezidierte agenten-

²⁴⁰⁷ Vgl. Brooks (1991a: 437), ohne Hvh. des Orig.

²⁴⁰⁸ So geht es etwa bei der REA-EO um *economic agents*; bei der TOVE-EO um *organization agents*.

²⁴⁰⁹ Vgl. etwa Johnston/Milton (2002) sowie Milton/Johnston/Lederman (2005).

basierte EO-Anforderungen auch insofern, als agentenbasierte AI-Ansätze ein zentrales Moment vielfältigster Teilaspekte der *Smart Factory* bzw. insgesamt der *Smart Enterprise Integration* (SEI) bilden.²⁴¹⁰ (iv) Schließlich ist im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hervorzuheben, dass es sich bei *PLM-Kernontologien* (PLM-CO) wie ADACOR um MAS-Ansätze handelt,²⁴¹¹ woraus eine unmittelbare EO-Relevanz resultiert. Denn die PLM-CO hat unter Integrationsaspekten im weiterreichenden EO-Ansatz aufzugehen, während wiederum die zwingende TLO-Referenz für EO-Ansätze als Kernontologie im Zeichen der Heavyweight-Ontologie außer Frage steht.²⁴¹² Entsprechend hat jeder sachgerechte TLO-Theorieanwärter einer MAS-adäquaten Ontologiekonzeption notwendig zu entsprechen. Aus diesen wie aus weiteren Punkten resultiert das Erfordernis, dass die *Enterprise Ontology* als Kernontologie nicht nur auf eine MAS-bezogene Ontologiekonzeption hinauslaufen muss,²⁴¹³ sondern dass ihre TLO-Referenz auch einen MAS-adäquaten TLO-Theorieanwärter voraussetzt. In IoX-Umgebungen gelten somit gleichzeitig die Kriterien der CPS- wie der MAS-Adäquanz.

Mit Mainzer (1999c: 1310) bezieht sich die zentrale Relevanz einer agentenbasierten AI-Konzeption auch auf die *starke Agententechnologie*; in dieser sind maschinelle Agenten nicht nur lernfähig und flexibel, sondern verfolgen eigene Ziele,²⁴¹⁴ verfügen über eine Motivationsstruktur und registrieren obendrein noch ihre Identität.²⁴¹⁵ Die eigentlichen CPS-Potentiale lassen sich gedanklich wie praktisch erst dann erschließen, wenn diese Auseinandersetzung mit der starken Agententechnologie etwa im Rahmen autonomer Robotik gesucht wird. Mit H.A. Simons (1996) *Machine as Mind* zeichnet sich ab, dass AI-basierte Systeme eine weitere Hürde nehmen werden, indem sie selbst vor dem Kreativitätsmoment nicht Halt machen: »They [computers, A.d.V.] have been thinking ‘logically’ and they have been thinking ‘intuitively’ – even ‘creatively’«. ²⁴¹⁶ Für die menschliche *Ratio* gilt Neumanns (1951) Nivellierung der Automatenklassen ohnehin, indem Simon (1976c) das menschliche Gedächtnis unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung adressiert. Gängige Rationalitätsauffassungen – etwa jene Reschers (1989) – lassen sich einschließlich der durch ihn betonten informationsökonomischen Aspekte offenbar problemlos auf AI-Automatenklassen projizieren, auch wenn dies unbeabsichtigt ist.²⁴¹⁷

²⁴¹⁰ Vgl. etwa Obitko/Marík (2002), Vrba (2005) sowie Alexakos/Kalogeras (2015).

²⁴¹¹ Vgl. etwa Leitão/Colombo/Restivo (2005), Leitão (2009a) sowie Dias et al. (2015).

²⁴¹² Bei ADACOR ist etwa eine TLO-Referenz auf DOLCE gegeben.

²⁴¹³ Andererseits wird damit deutlich, dass es ein *universales Agentenverständnis* geben muss, nämlich im Sinne der *Automatenklassen* bei Neumann.

²⁴¹⁴ Agententheorien sehen generell *Agenten als intentionale Systeme*, vgl. Wooldridge (1992: 10 f.).

²⁴¹⁵ Vgl. hierzu auch Sloman (1990) sowie Wooldridge/Jennings (1995).

²⁴¹⁶ Vgl. H.A. Simon (1996: 100) sowie ferner Boden (1998); vgl. dazu kritisch Bunge (1985a: 269).

²⁴¹⁷ Für Rescher (1989: 11 f.) besitzt *Rationalität* eine nichteliminierbare ökonomische Dimension, da die optimale Nutzung von Ressourcen einen kritischen Rationalitätsaspekt darstellt: »Rationality and economy are inextricably interconnected. Rational inquiry is a matter of epistemic optimization, of achieving the best overall balance of cognitive benefits relative to cognitive costs«, vgl. Rescher (1989: 13).

3. Diskurs genuiner Grundfragen der Ontologie komplexer IoX-Systeme

»To behave rationally is to make use of one's intelligence to figure out the best thing to do in the circumstances. Rationality consists in the use of reason to resolve choices in the best feasible way.«²⁴¹⁸

Dass der elementare Stellenwert des Rationalitätsmoments für die Informatik nicht zwangsläufig auf den ersten Blick offensichtlich ist, zeigt die an Darwin angelehnte *Evolutionary Computation*.²⁴¹⁹ Damit verbunden ist ein natürliches Adaptionsverständnis keines, das tatsächlich der Rationalität im engeren Sinne entspricht. Simon (1981: 11) erkennt, dass eine Agentenkonzeption auf andere Art zu entwerfen ist, wenn er feststellt: »Analogous to the role played by natural selection in evolutionary biology is the role played by rationality in the sciences of human behavior«. Damit wird deutlich, dass ein universales CAS-Adaptionsmoment nicht von den Naturwissenschaften im engeren Sinne, sondern vielmehr von den Verhaltenswissenschaften zu erschließen ist, was sozialpsychologische Momente zwangsläufig mit einschließt. Mit der Rationalität lässt sich der Adaptionsmechanismus schließlich universal in Gestalt der formalen Logik und formalen Ontologie fassen. Die Boolesche Algebra mathematischer Logik repräsentiert gleichzeitig eine raumzeitliche,²⁴²⁰ auf physische Welten applizierbare wie auch eine propositionale Logik, also eine Aussagenlogik.²⁴²¹ Insofern ist sie zugleich Grundlage formaler Regeln cyber-physischer Prozesse (Regulae) als auch logische Grundlage propositionaler Schlüsse (Ratio). Genauso wird damit offenbar, dass sie sowohl – im Sinne der Automatentheorie – von metaphysischer resp. ontologischer, als auch im AI-Sinne von epistemologischer Qualität ist. Damit vereint sie Prozesse des Denkens mit den Prozessen der Natur und Artefakte beziehungsweise versteht sie Prozesse des Denkens als Prozesse der Natur bzw. Artefakte.²⁴²² Indem artifizielle Prozesse logico-mathematische Prozesse darstellen, die keiner materialen Instantiierung bedürfen, kann ein universaler Adaptionsmechanismus nicht auf eine materialistische Ontologie hinauslaufen. Im einfachsten Fall zellulärer Automaten repräsentiert die formale Ontologie im ECA-Sinne nicht mehr als eine einfache Regel; im komplexesten Fall handelt es sich um einen Wissensspeicher, der die Anpassungsfähigkeit der Agenten entscheidend erhöht. Wie weiter unten ausgeführt, bildet das Vermögen der Anpassungsfähigkeit dabei eine Funktion des verfügbaren Wissens.

H.A. Simons Studien zum Rationalitätsmoment sind in erster Linie in diesem AI-Kontext zu sehen, auch wenn dies nicht immer offensichtlich ist. Insbesondere vor dem Hintergrund der oben erwähnten starken Agententechnologie ist auch Simons Konzept *begrenzter Rationalität* prinzipiell für alle Klassen intelligenter Agenten auszulegen, während Simons (1976b, 1987a) Differenzierung von *substantieller Rationalität* und der durch ihn selbst propagierten *prozeduralen Rationalität* im Sinne Neumanns (1951) genauso universal zu interpretieren ist. Wenn Simon (1976b, 1987a) mit psychologischen Aspekten pri-

²⁴¹⁸ Rescher (1989: 11).

²⁴¹⁹ Vgl. dazu Sipper (1999).

²⁴²⁰ Vgl. hierzu etwa Craig (1979).

²⁴²¹ Vgl. V. Lowe (1962: 136).

²⁴²² Dabei gilt mit Weaver (1948: 542): »The problems with which science can deal are those in which the predominant factors are subject to the basic laws of logic, and are for the most part measurable«.

mär auf die Klasse natürlicher Agenten abstellt, ist dies auch vor dem Hintergrund der Übertragbarkeit bzw. der Äquivalenzfrage zu sehen, und hier von zentralem Stellenwert:

»Behavior is substantively rational when it is appropriate to the achievement of given goals within the limits imposed by given conditions and constraints. Notice that, by this definition, the rationality of behavior depends upon the actor in only a single respect – his goals. Given these goals, the rational behavior is determined entirely by the characteristics of the environment in which it takes place. [...] Behavior is procedurally rational when it is the outcome of appropriate deliberation. Its procedural rationality depends on the process that generated it.«²⁴²³

Finden sämtliche Agentenklassen Berücksichtigung, ist evident, dass es verfehlt ist, den Kern der Rationalitätskonzeption mit Davidson (2005) auf die menschliche Psyche und mit ihr auf *propositionale Einstellungen* verlagern zu wollen. Damit eröffnen sich zwar Erwartungen, Zweifel, Überzeugungen, Sinn und Werte und darauf aufbauend die Möglichkeit von Überzeugungen, wie sie auch für die *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) der AI-Frühphase konstituierend sind. Vielmehr ist das Rationalitätsmoment nicht nur zu universalisieren, sondern auch mit Blick auf die Äquivalenzfrage um weitere Aspekte wie das oben erwähnte Kreativitätsmoment zu erweitern:

»A body of theory for procedural rationality is consistent with a world in which human beings continue to think and continue to invent; a theory of substantive rationality is not.«²⁴²⁴

Dass hinter Simons Studien genauso wie bei Newell (1990: 15 ff.) das Ziel einer einheitlichen Kognitions- resp. Erkenntnistheorie und schließlich einer rationalitätsbasierten universalen Entscheidungstheorie als Kernbereich der oben erörterten Agententheorie steht, wird deutlich, wenn es bei beiden um die gemeinsamen Momente von *Problemlösung*, *Entscheidungsfindung* und *regelbasiertem Verhalten* geht:

»Research on human thinking has progressed from relatively simple and well-structured phenomena [...] to more complex and rather ill-structured tasks (e.g. use of natural language, learning, scientific discovery, visual art). ‘Ill-structured’ means that the task has ill-defined or multidimensional goals, that its frame of reference or representation is not clear or obvious, that there are no clear-cut procedures for generating search paths or evaluating them – or some combination of these characteristics. [...] Making scientific discoveries is generally adjudged to be both ill-structured and creative.«²⁴²⁵

Die zwischen einzelnen Klassen intelligenter Agenten bestehenden Unterschiede werden dabei nicht bei Zugrundelegung substantieller Rationalität offensichtlich, sondern erst bei der grundsätzlichen Annahme *prozeduraler Rationalität*. Sie offenbaren sich anhand entsprechender empirischer Untersuchungen für spezifische Klassen, insbesondere jener menschlicher Agenten. Wird prozedurale Rationalität vorausgesetzt, resultieren daraus insgesamt entsprechende Konsequenzen:

»The shift from theories of substantive rationality to theories of procedural rationality requires a basic shift in scientific style, from an emphasis on deductive reasoning within a tight system of axioms to an emphasis on detailed empirical exploration of complex algorithms of thought.«²⁴²⁶

Ungeachtet der Möglichkeit des universalen Zugangs zur Rationalität aller Klassen intelligenter Automaten bleibt zu berücksichtigen, dass die Klasse menschlicher Agenten insbesondere im Hinblick auf irrationale Momente wie besondere Motivationsmomente

²⁴²³ H.A. Simon (1976b: 130 f.).

²⁴²⁴ H.A. Simon (1976b: 146).

²⁴²⁵ Vgl. Simon (1996: 91, 98).

²⁴²⁶ Simon (1976b: 147).

durch größere Besonderheiten gekennzeichnet ist.²⁴²⁷ Darin besteht zugleich der primäre Grund, warum die Phänomenologie von Husserl et al. für die Informatik irreführend ist. Tatsächlich weisen menschliche Entscheidungsprozesse aufgrund vielfältiger psychologischer bzw. sozialpsychologischer Einflussfaktoren eine ganz besonders hohe Komplexität auf, die für Simon (1987a) von entsprechendem Interesse ist:

»The emerging laws of procedural rationality have much more the complexity of molecular biology than the simplicity of classical mechanics. As a consequence, they call for a very high ratio of empirical investigation to theory building. They require painstaking factual study of the decision-making process itself.«²⁴²⁸

Vor diesem Hintergrund bleibt schließlich zu konstatieren, dass Neumanns (1951) universale Erfassung aller Automatenklassen im Leibnizschen Sinne insofern in einen komplexeren Kontext zu stellen ist, als die W2-Welt klassenabhängig via W3-Welt einen mehr oder weniger ausgeprägten Bezug zur W4-Welt, also zur sozio-materialen Welt aufweist. Dabei zeigt sich das subjektivistische W2-Moment von Agenten durch eine *kontextuelle Rationalität* determiniert, die auch Popper mit seiner *Situationslogik* selbst voraussetzt. Auf Basis der Whiteheadschen Relationenontologie wird deutlich, dass eine W2-W4-Interdependenz dergestalt besteht, dass im Zuge von MAS-Ontologien zu berücksichtigen ist, dass jeder Agent im W2-Sinne eine eigene subjektivistische Weltsicht besitzt, die jedoch als Handlungswelt gleichzeitig im Zeichen des W4-Typus sozial bestimmt ist. Im MAS-Kontext ist die W2-W4-Verkopplung insofern zwingend, als sich erst auf ihrer Basis die interaktive Situationslogik erschließt, indem sich diese maßgeblich auf das empirisch beobachtbare Verhalten relevanter anderer Agenten bzw. sozialer Systeme bezieht, das den Gegenstand der W4-Ontologie markiert.

Indem die W2-Ontologie sich ebenso auf P.M.S. Hackers (2004a) *Ontology of Belief* bezieht, muss eine integrierte Ontologiekonzeption ggf. bestehende Unterschiede zwischen den Automaten- bzw. Agentenklassen abbilden können. Das gilt gerade dann, wenn im Sinne der durch Mainzer (1999c: 1310) erörterten *starken Agententechnologie* solche Unterschiede immer stärker in den Hintergrund rücken. Ist dies tatsächlich der Fall, sind die komplexen Rückkopplungen umso mehr in den Fokus zu nehmen. Vor dem Hintergrund einer *universalen Ontologiekonzeption*, die für alle computergestützten Systeme einschließlich kognitiver Robotik gelten kann, sind entsprechend auch diese speziellen natürlichen Agenten zu berücksichtigen. Dabei muss wiederum die W2-W4-Interaktion in den Vordergrund rücken, wenn gerade sozialpsychologische Momente wesentlich sind, indem adaptive Systeme mitunter durch Kulturgebundenheit und Historizität geprägt sind. H.A. Simon (2000: 12) sieht entsprechend grundsätzlich alle individuellen Entscheidungen einer umfassenden sozialen Beeinflussung ausgesetzt: »As creatures of bounded rationality, the decisions we reach are strongly influenced by the social environment of information that surrounds us«. Bei dieser Klasse intelligenter Agenten sind also die spezifischen Eigenarten, die sich mit Simon (1983b: 75 ff.) insbesondere auch durch ihre Eingee-

²⁴²⁷ Vgl. hierzu auch Mainzer (2009a).

²⁴²⁸ Simon (1987a: 39).

bundenheit in soziale Systeme begründen, umfassend zu berücksichtigen. Insofern ist es nicht nur notwendig, Poppers Wissensontologie um die Metaphysik Whiteheads zu ergänzen; vielmehr erscheint diese Verkopplung auch in umgekehrter Richtung sinnvoll. Mit Poppers Welt 2 erhält das Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt* mit seiner subjektivistischen Welt ergänzt um Simons Rationalitätsaspekte jene Diskurssphäre, die für eine differenzierte Konzeption von Automaten wesentlich ist. Es gilt: Die Welt 2 ist die Welt des *Subjekt-Superjekts*; sie ist damit universal für alle Automatenklassen eine *perzeptive* Welt; für die höheren Automatenklassen, d.h. für kognitive Agentenklassen ist die Welt 2 zugleich eine kognitive Welt. Dabei ist bei den kognitiven Agentenklassen wiederum strikt zwischen maschinellen Agenten (IoA-Agenten) und menschlichen Agenten (IoP-Agenten) zu differenzieren, während gleichzeitig ihre Interaktion zu adressieren ist (M2H, H2M).

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, wie grundlegend der Unterschied zwischen der Welt 2 von CYPO FOX und den konventionellen Überzeugungssystemen ist. Denn letztere übersehen, dass es bei der Ontologie der Informatik gerade nicht allein um die konstruktivistische Agentensicht geht, auch dann nicht, wenn diese um *Consensus Ontologies* im Sinne regionaler Intelligenz ergänzt wird. Vielmehr ist das Rationalitätsmoment gerade auch mit Blick auf die Arbeiten von Newell (1982) und H.A. Simon (1976b, 1985, 1987b) im ganzen Spektrum des IMKO OCF, d.h. im Spannungsfeld zwischen *metaphysischer Ontologie* als Cyber-Physik und *Wissensontologie* zu begreifen. Nicht nur gilt Simons Kriterium *begrenzter Rationalität* sowohl für Poppers Welt 2 als damit korrespondierend für Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt*. Vielmehr läuft Newells (1982) *Knowledge Level* insofern unmittelbar auf eine *Mehrweltenontologie* im Sinne der Wissensontologie hinaus, als sich hier das *Rationalitätskriterium* mit dem Stand des verfügbaren Wissens verkoppelt zeigt: »Knowledge is intimately linked with rationality. Systems of which rationality can be posited can be said to have knowledge.«²⁴²⁹ Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass Agentensysteme in einer Weise zu konzipieren sind, die über ihre eigentliche subjektive Welt 2, die sich als solche isoliert bereits in den *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) der AI-Frühzeit findet, mit weiteren Welttypen zu verkoppeln ist. Dabei zeigt sich zum einen, dass der Rückgriff auf *wissenschaftliches* Wissen (W1, W4), das sowohl bei Whitehead als auch bei Popper gegenüber anderen Wissensarten eine superiore Stellung besitzt, in komplexen CPS/MAS-basierten Entscheidungskontexten wesentlich wird. Zum anderen steht die Relevanz *technologischer* Wissens (W3) etwa bei Problemlösungsagenten (PSA) genauso außer Frage. Das betrifft bspw. die in Pkt. 3.3.1 behandelten Methodenontologien (MO). Durch diesen Rückgriff auf externe Ontologien steigern Agenten im Sinne Newells (1982) ihr *verfügbares* Wissen und erweitern damit die Grenzen ihrer begrenzten Rationalität. Vollständige Rationalität entspricht in diesem Sinne vollständigem Wissen in allen Entscheidungssituationen, womit diese regelmäßig nicht gegeben ist. Wenn somit offenbar die Intelligenz der Agenten von ihrem Wissensstand und damit nicht

²⁴²⁹ Vgl. Newell (1982: 100).

zuletzt von der unmittelbaren Verfügbarkeit externer Ontologien determiniert ist, wird die Bewandnis einer durchgängigen Ontologiekonzeption klarer. Insofern steht außer Frage, dass eine Ontologiekonzeption, die nicht von vornherein den Weg zur *Superintelligenz* verbaut, immer das Erfordernis eines einheitlichen metaphysischen TLO-Fundaments voraussetzt. Je mehr solche Systeme in Richtung *Superintelligenz* der dritten AI-Generation tendieren, desto relevanter wird eine integrierte Ontologiekonzeption, weil nur sie die transdisziplinäre Durchgängigkeit der Ontologien gewährleisten kann. Indem agentenbasierte Systeme auch neues Wissen schaffen, ist zudem der Übergang zwischen Welt 2 und Welt 3 im Sinne des Übergangs von subjektivem zu objektivem Wissen auch in der AI-Ontologiekonzeption zu berücksichtigen, wie es das Poppersche Rahmenwerk insgesamt vorsieht. Das *emergentistische* Moment von *CYPO FOX* als *integrierter metaphysischer Wissensontologie* ist somit auch in diesem wissensontologischen Sinne zu verstehen.

Auch in der anderen Richtung, in jener von Welt 2 zu Welt 1, stellt sich die Interaktion der Welten vielfältig dar. Der MAS-Einsatz in CPS offenbart etwa, dass der W1-Rekurs der Welt 2 gewiss nicht allein wissensontologischer Natur im Sinne eines Rückgriffs auf *Scientific Ontologies* ist. Vielmehr ist die Welt 1 für W2-Agenten gerade auch insofern von zentraler Relevanz, als sie dieser immanent sind, mit ihr interagieren und sich mitunter in dieser stetig evolvierenden Welt auch geographisch bewegen. Auch in diesem Sinne sind alle Welttypen als *Event Driven World* zu verstehen, wobei gerade für die Welt 2 die beständigen *Event Streams* von besonderem Belang sind. Vor diesem Hintergrund ist offenbar prinzipiell bei allen kognitionsbefähigten Klassen intelligenter Automaten eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* vorauszusetzen, indem diese im Sinne von *Subjekt-Superjekten* selbst Bestandteil physisch evolvierender Welten der Mehrebenenontologie sind, und dabei autonom agieren bzw. reagieren. In dieser *integrierten metaphysischen Wissensontologie* ist es die *Top-level Ontologie*, der eine solch kombinierende Funktion zukommt. Denn sie übt eine zweifache Funktion aus: sie koppelt zum einen die Ontologie der Informatik mit Verweis auf Pkt. 4.1 an den *Ratio-Empirismus* technowissenschaftlicher Metaphysik, zum anderen bildet sie damit zusammenhängend als oberste Ontologieebene der Informatik und fundamentale Bezugsbasis den zentralen Referenzpunkt der gesamten Wissensontologie. Letzteres schließt sämtliche Ontologiearten wie sämtliche Ontologietypen ein. Insofern bildet die *Top-level Ontologie* das Scharnier der *integrierten metaphysischen Wissensontologie*, indem sie sowohl *metaphysische Ontologie* als auch *Wissensontologie* ist. In diesem Sinne kann sie mit Pkt. 3.2.4 gleichzeitig die CM- wie AI-Referenzebene stellen, und somit beide Sphären in konsistenter Weise koppeln.

Wenn Ontologien eine zentrale Basis bilden, um subjektive Erkenntnis resp. Wissen, das in Poppers Welt 2 als der Welt aller psychologischen Zustände fällt, in objektive Erkenntnis resp. Wissen zu transformieren, das Gegenstand von Poppers Welt 3 ist, wird die elementare Rolle der *Top-level Ontologie* ganz besonders deutlich: Geht es um eine umfassende rigore wie transdisziplinäre Objektivierung, lässt sich eine solche Transformation

subjektiven Wissens unterschiedlichster Provenienz in einer nachhaltigen, d.h. dauerhaft wiederwendbaren und mit anderen Ontologien kombinierbaren Weise gar nicht ohne *grundlegende* Kategorien bewerkstelligen. Top-level Ontologien kommt bei einer solchen Integration der vier Welten ein ganz grundsätzlicher Stellenwert zu, weil erst sie ein geteiltes Verständnis der jeweiligen konkreten Welt bzw. Domäne in umfassender Weise gewährleisten können. Entsprechend lässt sich auch insgesamt die Konsistenz der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* erst durch die *Top-level Ontologie* sichern. Das geschieht in Form der beständigen Reflexion der techno-wissenschaftlichen wie technopraktischen Adäquanz des Kategoriensystems wie der sachgerechten Spezifikation meta-ontologischer Dispositionen.

Mit dem prinzipiell gegebenen universalen Moment logischer Entscheidungsprozeduren gilt J. von Neumanns (1951) Auffassung, wonach Klassen von Automaten (bzw. Maschinen) differenziert werden können, und somit nicht nur für den syntaktischen, sondern im Zeichen von Ontologien auch für den semantischen Kontext.²⁴³⁰ Indem semantische Maschinen – wie auch andere Klassen intelligenter Automaten – ihre eigene ontologiegestützte Vorstellungswelt besitzen, steht außer Frage, dass die Informatik nicht um speziell abzugrenzende W2-Ontologien umhinkommt. Bspw. spielt sich das *Ontology Learning* aller Klassen semantischer Maschinen,²⁴³¹ also auch etwa im Kontext von semantischer Robotik und SAW-Ontologien, auf Basis von Ontologien ab, die als W2-Ontologien einzustufen sind.²⁴³² Indessen wäre es verfehlt, dieses allein auf den subjektiven W2-Modus beschränken zu wollen; vielmehr sind dabei gerade in MAS-Kontexten auch intersubjektive Momente im Spiel, was auf eine W2-W4-Interaktion hinausläuft.²⁴³³ Umgekehrt darf nicht übersehen werden, dass jeder Agent in Multiagentensystemen seine eigene Weltsicht bzw. seine eigene *Ontologie* besitzt,²⁴³⁴ und analoges gilt für natürliche Agenten, was sich mit Metzinger/Gallese (2003) darin spiegelt, dass auch jedes Gehirn in seiner Eigenschaft als Repräsentationssystem eine eigene *Ontologie* aufweist. Damit besitzen alle Klassen intelligenter Agenten mitsamt ihrer Instanzen eine eigene Ontologie, bei der es sich im Anschluss an Popper um die subjektivistische W2-Ontologie handelt. Sie ist subjektivistisch in dem Sinne, als sie im Kontext *agentenbasierter Systeme* prinzipiell identisch ist mit den *Überzeugungen* der tradierten *Überzeugungssysteme* (Belief Systems); nur stehen diese

²⁴³⁰ Als universale Grundlage aller Klassen intelligenter Automaten lässt sich dabei die Komplexitätsforschung heranziehen, da sich diese nicht nur auf AI-basierte Automaten, sondern gerade auch auf die *Philosophie des Geistes* anwenden lässt, vgl. dazu Mainzer (2006b).

²⁴³¹ Vgl. hierzu etwa Stanescu et al. (2003).

²⁴³² Mädche/Staab (2004) stellen darauf ab, dass *Ontology Learning* sowohl auf die Ontologiekonstruktion im Rahmen des *Ontology Engineering* als auch im Rahmen des *maschinellen Lernens* zielt. Während sie den vollautomatischen maschinellen Wissenserwerb noch in weiter Ferne sehen, verstehen sie das maschinelle Lernen als halbautomatischen Prozess mit menschlichem Eingriff. Entsprechend stellt das *Ontology Learning* bei Mädche (2002) oder bei Cimiano et al. (2009) auf den Ontology Engineer als menschlichen Agenten ab, während es etwa bei Moon/Park/Kim (2009) i.S. *maschinellen Lernens* bereits auf die HLIF-Plattform selbst zielt, vgl. hierzu auch Hazman et al. (2011).

²⁴³³ Vgl. hierzu etwa Soh (2002, 2003).

²⁴³⁴ Vgl. Tamma/Bench-Capon (2001a).

nicht für sich, sondern zeigen sich als W2-Ontologie eingebettet in die dargelegte Systematik interdependenter Ontologie- und Welttypen.

Nicht nur entsprechen W2-Ontologien als *epistemologische Ontologie* der gängigen AI-Ontologie im Gruberschen Sinne; vielmehr ist die AI-Disziplin mit Bunge (2003b: 289) umgekehrt auch als *epistemische Technologie* zu verstehen, was eine universale W2-Behandlung im Sinne aller Klassen autonomer Agenten nahelegt. Damit zeigt sich, dass die AI-Ontologie der tradierten *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) unmittelbar in die Systematik der Welttypen einzuordnen ist, damit ein unmittelbarer Übergang zwischen den Welten möglich wird. Mit dieser Einordnung steht einmal mehr außer Zweifel, dass nicht nur die Isolation der *Überzeugungssysteme* falsch ist, sondern auch die damit einhergehende Fixierung auf die Linguistik. Beides kann, um Hayes (1979) zu bemühen, höchstens im Kontext von 'toy problems' sinnvoll erscheinen. Die realweltliche Einbettung von AI-Systemen verlangt indessen auch in dieser Sache mit McCarthy (1995) die Hinwendung zur Philosophie, um die relevanten Aspekte sachgerecht identifizieren und vor dem Hintergrund *universaler Ontologie* erfassen zu können. Dazu lässt sich auf P.M.S. Hacker (2004a) verweisen, der als analytischer Philosoph mit Verweis auf Pkt. 3.1 den Ontologiebegriff im Sinne eines "mental image" bzw. einer "imagist representation" als *Ontology of Belief* versteht. Mit ihr wird der ontologische Status von *Überzeugungen* (belief) untersucht, was im Sinne von Bunge (2003b) *epistemischer Technologie* auf alle Klassen von Agenten zu beziehen ist. Daran lässt sich mit Ramsey (1927: 159) anschließen, der bereits konstatiert: »The mental factors of such a belief I take to be words, spoken aloud or to one's self or merely imagined, connected together and accompanied by a feeling or feelings of belief or disbelief [...]«. Epistemologie und Ontologie rücken in diesen *epistemologischen Ontologien* im Sinne des auf die Fregesche Ontologie bezogenen Aphorismus also eng zusammen, was sich zu der Feststellung verdichten lässt, »that epistemology is merely the ontology of the knowing situation«. ²⁴³⁵ Alternativ kann man auch mit Johansson (1989: 315) insgesamt eine *ontologiezentrierte Philosophie* vertreten, die so weitreichend gemeint ist, dass selbst die *Epistemologie* nicht als etwas erachtet wird, was jenseits der Ontologie steht, sondern vielmehr selbst als eine *regionale Ontologie* aufzufassen ist.

Während W1-Ontologien immer, W3- und W4-Ontologien zumeist realfaktisch geprägt sind und es sich bei ihnen im ersten Fall um objektive bzw. im zweiten um objektivierte Ontologien handelt, weisen W2-Ontologien als epistemische Ontologien die Besonderheit auf, dass sie *subjektivistischer* Natur sind. Zwar entspricht dies schon immer der Natur der *Belief Systems* der AI-Tradition, allerdings zeigen sich diese regelmäßig nicht-evolutionär konzipiert. Das subjektivistische Moment, wie es im Zeichen der Prozessmetaphysik steht, ist das des *Subjekt-Superjekts*, das selbst in stetigen Werdeprozessen begriffen ist. Insofern lässt sich dieses subjektivistische Moment nicht – wie bei Gruber – in einer objektzentrischen Sichtweise einfangen. Vielmehr geht es um die *Verkopplung von Makro- und Mikro-*

²⁴³⁵ Vgl. Bergmann (1964: 126), Hvh. im Orig.

roereignissen. Die hinter ihnen stehenden Whiteheadschen (1929a) "events" sind dabei insgesamt im Sinne des lateinischen "evenire" als prozessuales *Ergebnis* zu verstehen. Mit anderen Worten lässt sich die Ereigniskategorie *insgesamt* nicht im Sinne von Ereignissen fassen, von denen gemeinhin auf normalsprachlicher Basis im Zeichen *isolierter Ereignisse* die Rede ist. Insofern führen auch hier bloß linguistisch verstandene Ereignisse nicht weiter. Das gilt umso mehr, als es verschiedene Ereigniskategorien gibt, die in CPS- bzw. CEP-Kontexten einer Systematik zu entsprechen haben, die dezidiert mit den Sichtweisen der Automatentheorie bzw. der *Complex Adaptive Systems* (CAS) korrespondiert.

Die Ontologie ist insofern im prozessmetaphysischen Sinne als *Ontologie des Werdens* zu begreifen, als nur diese den AI-typischen Verarbeitungsgesichtspunkt, das *Processing*, konkret auch die komplexen Ereignisse im *Complex Event Processing* (CEP) richtiggehend adressieren kann. Auf rein linguistischer Ebene ist dies gewiss nicht möglich. Wie will man linguistische Kategorien bzw. Klassen sachgerecht abgrenzen ohne Referenz auf eine realistisch-materiale Theorie? Wie will man das universal vollziehen ohne ein allgemeines Kategoriensystem allgemeinsten Theorie? Wie soll dieser Schritt tatsächlich gelingen, ohne die damit verbundenen meta-ontologischen Aspekte zu klären? – Natürlich müssen *realistisch-materiale* Sachverhalte die Orientierung vorgeben, die im Sinne des *Ratio-Empirismus* auf ein abstraktes Niveau zu bringen sind. Dabei kann der notwendige transdisziplinäre Mittler techno-wissenschaftlicher Prozessmetaphysik allein in der universal anwendbaren *Theorie komplexer Systeme* bestehen. Also lässt sich der *Ereigniszentrismus*, in dem gerade auch die W2-Ontologie als subjektivistische Ontologie im Zeichen von *Event Streams* steht, nicht primär im linguistischen Sinne etwa des Whitehead- resp. Quine-Schülers Davidson (1977, 1980) erschließen. Vielmehr ist dieser Ereigniszentrismus im Zeichen von Prozessmetaphysik und Automatentheorie systematisch mit Blick auf das in Pkt. 6.2.1 erörterte *Complex Event Processing* (CEP) zu entwickeln. Dabei sollte wiederum nicht der Fehler begangen werden, solche CEP-Kontexte über die in der AI-Tradition oftmals bemühte *linguistische Ereignissemantik* erschließen zu wollen. An ihre Stelle hat vielmehr eine *metaphysische Ereignissemantik* zu treten. Insofern muss die Informatik nicht nur von Quine, sondern auch von Davidson zurück zu Whitehead, wenn es um die Frage eines sachgerechten *Ontology Engineering* und der offensichtlichen Priorität des *realistischen* OE-Ansatzpunkts geht.

W2-Ontologien zielen auf logisch rationale Prozesse wie auch auf kreative Prozesse. Aus ihnen können objektivierbare W3-Ontologien emergieren; in den meisten Fällen kommen sie aber über den Status von W2-Fällen gar nicht hinaus. Kreative W2-Prozesse können sich dabei auch ganz auf mögliche Welten beziehen, indem solche epistemischen Ontologien in *fiktiven Ontologien* münden, die die Informatik in verschiedener Hinsicht – mitunter selbst für wissenschaftliche Zwecke – ebenso abzudecken hat. Während die W1-Ontologie im Sinne eines metaphysischen Realismus mit allen metaphysischen Top-level Ontologien gesetzt ist, besteht auch mit Blick auf die W2-Ontologie weitreichender Kon-

sens. Bodenreider/Smith/Burgun (2004) erkennen die Notwendigkeit, dass strikt zwischen *Ontologie und Epistemologie* zu differenzieren ist, wobei jedoch auch für B. Smith außer Frage steht, dass im Zuge der AI-Epistemologie mit *Weltmodellen*, mithin mit *epistemologischen Ontologien*, zu arbeiten ist, wie es sich schließlich auch in Smithens (1998a) *E-ontology* manifestiert.²⁴³⁶ Diese ist allerdings nur vordergründig äquivalent mit der W2-Ontologie; tatsächlich entspricht Smithens Gesamtsystem mit den BFO-Universalien als eigentlichem Kern in keiner Weise W2- oder W3-Gesichtspunkten. An sich aber zielt Smithens (1998a) *E-ontology* wie Poppers Welt 2 auf subjektives Wissen, während Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* als erkennendes Subjekt auf eine Kombination von Smithens (1998a) *R- und E-ontology* hinauslaufen würde, wie sie bei Popper mit der W1-W2-Interaktion angelegt ist. Indessen handelt es sich auch bei dem durch Smith attackierten Ontologiekonzept Grubers (1993, 1995) wie auch bei anderen linguistischen Ontologien um W2- resp. W3-Ontologien. Jedoch ist dies mit Blick auf die aufgezeigten Interdependenzen der Welten nur genauso vordergründig wie bei Smith der Fall. Somit können die in Abb. 8 vollzogenen Zuordnungen allein einschränkenden Charakter besitzen. Denn weder das Ontologiekonzept Smithens, noch jenes Grubers oder Guarinos sind in eine Mehrwelten-systematik eingebunden, wie sie CYPO FOX an sich verkörpert. Vielmehr stehen alle bisherigen Ontologiekonzepte in ihrem jeweils spezifischen Weltbezug immer isoliert für sich. Und darin besteht bei Realisierung vollumfänglicher semantischer Interoperabilität ein Elementarproblem.

Ontologien repräsentieren *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle*, was für jeden der vier Weltypen und damit auch für die W2-Ontologie gilt. Diese bewusst knapp wie allgemein gehaltene Definition korrespondiert mit *jedem Universe of Discourse* (UoD), auf das im Rahmen formaler Ontologie explizit in allen vier Welten, mit Popper (1982a: 115) selbst etwa konkret in Bezug auf die Welt 3, rekurriert wird. Integrierbar sind diese vier Weltypen nur dann, wenn sie nicht nur diese universale Ontologiedefinition einheitlich voraussetzen, sondern dabei auch auf dem gleichen *fundamentalen Weltmodell*, nämlich auf derselben *Top-level Ontologie* aufbauen. Insofern es bei der Ontologie immer um *Weltmodelle* geht, gehen W2-Ontologien über einfache, linguistisch begründete *semantische Netze* weit hinaus. Inwiefern bilden sie also mehr als ein solches *semantisches Netz*, das aus Begriffen als Knoten und ihren Relationen als Linien bzw. Kanten besteht? Zwar ist dieser Netzwerkgedanke gerade auch für W2-Ontologien elementar, doch geht es dabei primär nicht um die Idee *semantischer Netze*, die nichts weiter als einfache linguistische Netze darstellen. Vielmehr wird die Idee *metaphysischer Netze* entscheidend, wie sie mit Pkt. 4.2 in den universal konzipierten *systemischen bzw. organismischen Relationen und Strukturen* der Prozessmetaphysik Whiteheads gegeben sind. Somit geht es nicht etwa um sprachliche Objekte, sondern um eine *Theorie der Objekte*, die prozessmetaphysisch zuvorderst als eine *Theorie der Ereignisse* zu verstehen ist. Dabei lässt sich die Funktions-

²⁴³⁶ Vgl. zu Smithens (1998a) *E-ontology* auch Fn. 2351.

weise solcher *metaphysischen Netze*, der in Pkt. 4.2 behandelten Whiteheadschen *systemischen Organismen*, anschaulich etwa anhand der Automatentheorie oder anhand der Booleschen NK-Netzwerke illustrieren.

Insgesamt rücken erneut die Whiteheadschen *Subjekt-Superjekte* in den Fokus, wobei zwei Aspekte entscheidend sind: zum einen sind W1-, W2-, W3- bzw. W4-Ontologien insbesondere im *agentenbasierten Sinne* zu verstehen. Gleichzeitig bewegen sich *Subjekt-Superjekte* im evolutionären physischen Raum bzw. Cyberspace, wie es gerade auch für CPS-Kontexte etwa auf Basis von *Local Positioning Systems* (LPS) charakteristisch ist. Zum anderen sind sie im *SCEP-Sinne* konzipiert, wobei mit Pkt. 6.2.1 deutlich wird, dass *SCEP-Engines* in sachgerechter Konzeption auf eine TLO-Referenz hinauslaufen. Auch damit sollten die grundsätzlichen Unterschiede, die zu einfachen *semantischen Netzen* im linguistischen OE-Ansatzpunkt bestehen, deutlich werden. Denn mit dieser TLO-Referenz bezieht sich die gesamte Semantik auf *TLO-Kategorien*, die immer als *metaphysische Kategorien* zu verstehen sind. Dabei müssen mit dieser TLO-Referenz die meta-ontologischen Dispositionen des referenzierten TLO-Ansatzes selbstverständlich auch für die W2-Ontologie an sich gelten. Denn ansonsten wäre die Interdependenz und Interaktion der vier Welten weder darstellbar noch ihre Integration vollziehbar. Somit ist das *Subjekt-Superjekt* nicht nur als vernetztes *Belief System* konzipiert, sondern es referenziert selbst auf die *Top-level Ontologie*. In seiner Eigenschaft als *Agent* besitzt es selbst metaphysische Überzeugungen, nämlich in dem Sinne, dass jedes *Belief System* nicht nur an sich ein W2-Weltmodell repräsentiert, sondern dabei wiederum auf ein fundamentales Weltmodell referenziert. Mit dieser TLO-Referenz erhält es im Sinne McCarthys (1995: 2041 f.) einen "*general world view*", den sämtliche Klassen von Agenten, intelligenten Automaten bzw. semantischen Maschinen benötigen, um die Fakten der Welt in ein in sich konsistentes, widerspruchsfreies systematisches Gefüge zu bringen, das eine logische Inferenz unmittelbar eröffnen kann. Damit ist dieser "*general world view*" für eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption nicht nur *in toto*, sondern auch in agentenbasierter W2-Hinsicht vorauszusetzen.

Wie W3-Ontologien operieren auch W2-Ontologien neben aktuellen Welten auf Basis *möglicher Welten*. Allerdings handelt es sich bei W2-Ontologien im Sinne der *Imagination, Invention, Reflexion* oder im Sinne von *Gedankenexperimenten* um jenen Ontologiemodus, der regelmäßig am umfassendsten auf Basis solcher möglichen Welten operiert.²⁴³⁷ Sie haben prinzipiell *alle logisch möglichen Welten* zum Gegenstand; im Sinne der *Mögliche-Welten-Semantik* einschließlich rein fiktiver Welten, wie sie etwa eine "*fairy ontology*" kennzeichnen. Sie haben allein dem Kriterium der Kohärenz zu entsprechen, was auf eine *imaginative Ratio* im Booleschen Sinne hinausläuft.²⁴³⁸ Entsprechend erfordert der W2-Modus einen possibilistischen W2P- bzw. fiktionistischen W2F-Submodus, die eine Mo-

²⁴³⁷ Vgl. hierzu auch Rescher (2005b).

²⁴³⁸ Insofern ist auch die *Evolutionäre Erkenntnistheorie* mit ihrem "*Trial and Error*" falsch konzipiert; diese ist vielmehr im Whitehead-Booleschen Sinne auf die Grundlage der *mathematischen Logik* zu stellen.

dalität "*de re*" (W2P) bzw. eine Modalität "*de dicto*" (W2F) zulassen. Auch diese sind in CYPO FOX integriert, denn mit Einstein (1931) gilt:

»Imagination is more important than knowledge. For knowledge is limited, whereas imagination embraces the entire world, stimulating progress, giving birth to evolution. It is, strictly speaking, a real factor in scientific research.«²⁴³⁹

Dabei lässt sich dieser Zusammenhang nicht anders interpretieren als im Zeichen der W2-W3-Transformation im Popperschen *Kritischen Rationalismus*, indem subjektives Wissen (W2) in objektives Wissen (W3) übergeht. Eine prozessuale Epistemologie hat nicht nur diese Transformation zu berücksichtigen,²⁴⁴⁰ sondern muss sie auch für sämtliche Agentenklassen, mit Langley/Zytkow et al. (1986) bzw. Langley/Simon et al. (1987) speziell auch für maschinelle Agenten für Zwecke der *Scientific Discovery* eröffnen können. Agenten als *Subjekt-Superjekte* sind integrierter Bestandteil der Natur; ihnen ist im Zeichen Leibniz-Whiteheadscher Metaphysik das ultimative Moment der Kreativität genauso inhärent wie dem Automatenuniversum als Ganzem. Anhand von Steinharts (1998) *Digital Metaphysics* zeigt sich genauso wie etwa anhand der AL-Forschung, dass dieser Bezug auf mögliche Welten auch für die *Theorie zellulärer Automaten* problemlos darstellbar ist. Denn sie ist – wie jede dem *metaphysischen Logizismus* im Kern verpflichtete Metaphysik – universal. Insofern es um diese möglichen Welten geht, stehen nicht mehr jene Seins-Kategorien im Vordergrund, die für die W1- und W4-Ontologie bestimmend sind, sondern es rücken vielmehr Denk-Kategorien in den Fokus. Ein solches Unterfangen korrespondiert mit einer *Ontology of the Possible*, wie sie durch Rescher (1979) thematisiert wird, und in Reschers (1973a) *konzeptuellen Idealismus* einerseits, wie in Reschers (1973b) *Kohärenztheorie der Wahrheit* andererseits ihre Grundlage findet. Die Welt 2 ist somit nicht nur empiristische Erkenntnisphäre der Welt 1, in die sie jenseits des Cartesischen Dualismus ontisch selbst integriert ist, sondern sie fordert darüber hinaus auch eine *Ontologie möglicher Welten* im Sinne Reschers (1979) ein. Insgesamt wird deutlich, dass die W2-Ontologie drei differente Submodi aufweisen muss, denn sie kann sich im Zeichen des *Aktualismus* auf die *aktuale Welt* (W2A), im Zeichen des *Possibilismus* auf *mögliche Welten* (W2P) sowie schließlich im Sinne des *Fiktionalismus* auch auf *fiktionale Welten* (W2F) beziehen.²⁴⁴¹ Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist die W2-Ontologie in jeder Hinsicht zentral, nicht allein in CPS-, CPPS bzw. MAS-Hinsicht, sondern insbesondere auch mit Blick auf *Engineering Ontologien* im Rahmen PLM-zentrischer Innovationsprozesse. Tatsächlich lassen sich die für U-PLM-Systeme elementaren Innovationsprozesse nur dann vollständig ontologisch stützen, wenn sie nicht nur sachlogisch, sondern auch prozedural in der W2-Sphäre beginnen.

²⁴³⁹ Einstein (1931: 97).

²⁴⁴⁰ Vgl. hierzu auch Riche (2004), insbes. p. 193.

²⁴⁴¹ Im Kontext *agentenbasierter Systeme* grenzen Gero/Kannengiesser (2004) *drei Welten* ab, nämlich die "*external world*", die sich im CYPO Ansatz aus W1, W3 und W4 konstituiert, die "*interpreted world*" des Agenten (= W2A) sowie die darauf bezogene "*expected world*" des Agenten (= W2P).

Imagination, Invention, Reflexion oder *Gedankenexperimente* bilden in erster Linie subjektive Akte im Kontext subjektiven Wissens,²⁴⁴² die entsprechend auf W2-Ontologien hinauslaufen.²⁴⁴³ Diese bilden wiederum regelmäßig die Vorstufe zur W3-Ontologie, durch die sie im Konsens objektiviert werden. So gehört nicht nur das fertiggestellte technologische Produkt in die Welt der W3-Entitäten, sondern auch das damit zusammenhängende technologische Wissen, das als objektiviertes Artefakt dem Typus der W3-Ontologie entspricht.²⁴⁴⁴ Nicht nur mit Blick auf die Wissensontologie sollte diese Durchgängigkeit bestehen, sondern auch mit ihrer Kehrseite, nämlich dem metaphysischen Zusammenhang: Ontologie klassischen Zuschnitts als Lehre vom *ens qua ens* sollte gerade auch prinzipiellen Aufschluss darüber zulassen, wie das Neue in die Welt kommt. In einer *Ontologie des Seins*, also für *Substanzontologien*, wie sie die meisten TLO-Ansätze kennzeichnen, erscheint das vergleichsweise unwichtig. In einer *Ontologie des Werdens*, also bei *Prozessontologien*, ist die endogene Behandlung von Neuerungsprozessen jedoch elementar. Wo die Objekte herkommen, wie sie in neue transformiert werden, stellen gerade für eine auf Innovation fixierte *Ontologie komplexer IoX-Systeme* Fragen dar, die zu beantworten sind. Offenbar muss eine IoX-adäquate *Top-level Ontologie* damit nicht nur auf eine *Ontologie des Werdens* zielen, sondern sie muss auch *Kreativität im Universum* überhaupt erst zulassen. Das aber ist für die wenigsten Metaphysiken und Ontologien kennzeichnend, während es bei Whitehead den obersten Grundsatz darstellt.

Die W2-Ontologie besitzt als einzige epistemologische Ontologie einen Sonderstatus, womit abschließend noch die für die Diskussion von Automatenklassen wie für die Konzeption agentenbasierter Systeme wesentliche *Äquivalenzthese* zu erörtern ist, die für die Automatentheorie insgesamt zentrale Bewandnis besitzt. Ausgehend von Turing (1950) wird bereits in der AI-Frühphase prinzipiell eine *funktionale Äquivalenz* von Gehirn und Computer unterstellt.²⁴⁴⁵ Dabei erfordern die im Sinne von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* sich stetig erweiternden Objektbereiche der Informatik, dass diese *funktionale Äquivalenzthese* sehr viel weiter gefasst wird. Nämlich in der Art, wie Wolfram (2002) sie versteht, wenn er im Zeichen der *Theorie zellulärer Automaten* und seines "*Principle of Computational Equivalence*" insgesamt die *Äquivalenz von natürlichen und artifiziellen*

²⁴⁴² Dies ist i.S. des in Pkt. 4.2 behandelten Whiteheadschen (1929a) *Subjekt-Superjekts* gemeint.

²⁴⁴³ Damit korrespondiert Mainzers (2007c: 157) Feststellung, dass *logische Tiefe* auch ein Maß für Innovation und Kreativität ist.

²⁴⁴⁴ Zwar gehören alle Ontologien als subjektgelöste Artefakte in die Welt 3, es sind aber nur solche Ontologien als W3-Ontologien zu bezeichnen, die sich selbst auf die Welt 3, also auf Artefakte, beziehen. Während W1-Ontologien auf die Natur zielen, sind W2-Ontologien immer subjektgebunden, d.h. nicht-objektiviert. Demgegenüber beziehen sich W4-Ontologien im empirischen Sinne auf die *soziale Interaktionssphäre* natürlicher wie maschineller Agenten.

²⁴⁴⁵ Vgl. hierzu etwa Simon (1975); vgl. in diesem Zusammenhang auch Newell/Simon (1956, 1972) sowie Newell/Shaw/Simon (1960, 1962). Wichtig ist es herauszustellen, dass lediglich eine *funktionale Äquivalenz* postuliert wird, nicht eine strukturelle Identität. So konstatiert auch Simon (1951: 72) im Kontext der Automatentheorie: »[I]t is dangerous to carry such analogies [between automata, on the one hand, and organisms and social systems on the other, A.d.V.] in detail – e.g., to compare specific structures in a computer with specific neural structures«.

Prozessen wie von Natur- und Denkprozessen voraussetzt.^{2446, 2447} Eine solch erweiterte *Äquivalenzthese* ist dabei insbesondere im Zuge der metaphysischen Fundierung einer CPSS-adäquaten Ontologie im CPST-Hyperspace von Relevanz. Indessen wird etwa mit Steinharts (1998) *Digital Metaphysics* deutlich, dass sich eine solch erweiterte *Äquivalenzthese* nicht einfach ohne weiteres behaupten und methodologisch voraussetzen lässt. Indem Materialisten wie Bunge zumindest eine *starke Interpretation der Äquivalenzthese* rigoros ablehnen,²⁴⁴⁸ benötigt ihre Rechtfertigung offenbar ein adäquates integriertes metaphysisches Fundament. Anders ließen sich schon die grundsätzlichen Bungeschen Vorbehalte nicht entkräften, und diese sind mit Pkt. 5.3 an sich nicht ganz unbegründet.

Diese Rechtfertigung auch gerade der *starken Interpretation der Äquivalenzthese* wird umso mehr erforderlich, je umfassender die durch Mainzer (1999c) erörterte *starke Agententechnologie* Wirklichkeit wird; je stärker autonome Robotik oder hochintelligente Cyber-physische Systeme (CPS) sich in praxi durchsetzen, je verbreiteter intelligente Materie oder synthetisch erzeugte Organismen werden. Tatsächlich ist es im Zeichen von Searles (1980: 417) "*strong AI*" kaum möglich, etwa der kognitiven Robotik diese Eigenschaft absprechen zu wollen. Entsprechend ist von theoretischer wie technologischer Seite eine metaphysische Begründung der *Äquivalenzthese* mitsamt ihres Gültigkeitsspektrums zu fordern. Selbstverständlich ist das nur auf Basis einer Metaphysik möglich, die in engster Korrespondenz zur Automatentheorie steht, was nur bei einer Metaphysikvariante tatsächlich der Fall ist, nämlich bei der Whiteheadschen Prozessmetaphysik, aus der sie letztlich stammt. Demgegenüber favorisiert zwar auch Bunge (1973: 154) die Automatentheorie im Rahmen metaphysischer Diskurse, indem er sie auf alle Systeme anwendbar sieht. Doch mit Blick auf die *Äquivalenzthese* kann ihre Verwendung bei ihm allenfalls mit den größten Einschränkungen statthaft erscheinen. Tatsächlich steht die Automatentheorie zumindest in der *starken Interpretation der Äquivalenzthese* in Konflikt mit Bunges materialistischer Metaphysikposition wie seinem darauf gründenden Realitätsverständnis. Das impliziert mit Verweis auf Pkt. 5.3 letztlich eine CPS-Inkompatibilität der Bungeschen Metaphysik, die wiederum mit Pkt. 4.1 wesentlich mit der für die Informatik zwingenden Konzeption der Metaphysik als *Technoscientific Metaphysics* der Klasse 4 zusammenhängt.

Nicht zuletzt in CPS-Kontexten erfordert die Informatik eine *integrierte Metaphysik der Natur und des Artifizialen*, wie sie in Form von Whiteheads (1929a) an der mathematischen Logik orientierten Prozessmetaphysik begründet wird. Mit Blick auf AI- wie AL-Prozesse und ihrer heute notwendigen starken Interpretierbarkeit nimmt Whitehead (1929a) nicht nur die Prozesse der universellen Turingmaschine oder zellulärer Automaten in grundsätzlicher Hinsicht vorweg. Vielmehr geht er insofern darüber entscheidend hin-

²⁴⁴⁶ Vgl. Wolfram (2002: 715 ff.).

²⁴⁴⁷ Dieses Prinzip ist keineswegs nur ein methodologisches Prinzip, sondern – über Wolfram hinausgehend – letztlich mit der Voraussetzung einer umfassenden Prozessäquivalenz etwa im Hinblick auf die Form-Materie-Dichotomie zuvorderst ein *metaphysisches* Prinzip.

²⁴⁴⁸ Vgl. etwa Mahner/Bunge (1997: 149 ff.).

aus, indem es sich gleichzeitig um artifizielle wie materialisierte Prozesse handeln kann. Denn Whitehead (1920, 1929a) wie Russell (1927a) fassen *Materie* im CPS-Zeichen der mathematischen Logik als "*system of events*" auf; genauso lassen sich Computer im Sinne der Automatentheorie als "*systems of events*" verstehen. Es steht außer Frage, dass diese prozessual *ereigniszentrische* Sichtweise mitsamt der strukturalistischen Form ihrer Ordnungszustände den für die Informatik richtigen metaphysischen Ansatzpunkt markiert, während die *substanz-, ding- oder objektzentrische* Sichtweise für ihre Zwecke als inferior zu werten ist. Wenn das mit der ganz überwiegenden Zahl der Ontologiekonzeptionen und TLO-Theorieanwörter primär im zweiten objektzentrischen Sinne gesehen wird, zeigt sich wiederum der umfassende ontologische Revisionsbedarf. Tatsächlich weist die Automatentheorie wie insgesamt die *Theorie komplexer Systeme* ganz entschieden in die andere, die erste Richtung, genauso wie es darauf aufsetzend für das *Complex Event Processing* (CEP) als technologisches IoX-Basisparadigma zu konstatieren ist.

Dass die Informatik nicht an der Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) vorbeikommt, ist als direkte Folge der CPS-Natur ihrer Systeme zu erachten, die lange Zeit missverstanden wurde. Denn die Disziplin hat es immer weniger mit rein virtuellen Welten zu tun. Auch wenn virtuelle Welten wichtig bleiben, verwachsen sie zunehmend mit der physischen Sphäre, wie es etwa die *Augmented Reality* in Pkt. 4.6 illustriert. Insofern lässt sich feststellen, dass Cyber-physische Systeme (CPS) in ihrer *ereigniszentrischen universalen Prozessualität* nicht weniger verlangen als die Revision der bisherigen theoretischen Grundlegung der Informatik in grundsätzlicher Hinsicht: Offenbar sind die Beiträge Turings (1936, 1937) oder Neumanns (1948, 1951) zwar elementar, reichen aber insofern nicht aus, als die *funktionale Äquivalenzthese* als nicht hinreichend zu werten ist. Analoges gilt mit Blick auf Wolfram (2002); denn selbst die *erweiterte Äquivalenzthese* lässt sich nicht als hinlänglich erachten. Vielmehr wird eine Metaphysik als Fundament aller Grundlagen zwingend, auf dem sich die zunehmende Verquickung physischer Welten mit dem Cyberspace ontologisch begründen lässt.

Die *Äquivalenzfrage* kann zu einer solch integrierenden Metaphysik nicht mehr als eine Vorstufe bilden, indem es nicht mehr um *zwei separierte Weltsphären* geht, vor deren Hintergrund sich die Frage der tatsächlichen *Äquivalenz* der einen zur anderen Weltsphäre stellt. Denn diese *Äquivalenzfrage* stellt sich demgegenüber bei einer *einheitlich konzipierten Weltsphäre* mitsamt der Aufhebung der Subjekt-Objekt-Dichotomie nicht mehr. Mit Cyber-physischen Systemen (CPS) geht es im Leibniz-Whiteheadschen Sinne insofern um *eine* einheitliche platonistische Weltsphäre, als sich zum einen ihr Systemgedanke auf das *CPS-Systemganze* erstreckt. Damit ist zum anderen ein entsprechend *nahtloser Übergang* erforderlich, der allein schon für Zwecke der CPS-Steuerungslogik zu fordern ist. D.h. das Physische spielt unmittelbar mit dem Virtuellen zusammen, bildet im Systemsinne eine *kausale Ganzheit*, die sich in keiner Weise separieren bzw. isolieren lässt. Somit *existiert* ein CPS auch immer nur als *Ganzheit*; man könnte also nicht sagen, nur der eine Teil

sei *real*. Wenn man sich auf Bunges Position stellte, wäre *nur Materie* real, nicht aber ein CPS-Teil als solcher, denn die Existenz des Teils eines Ganzen erfordert immer auch die Existenz des Ganzen selbst. Das CPS als solches ist also immer nur in seiner Ganzheit gegeben. Andererseits ist die Position Bunges im physikalisch-materialen Sinne aber auch nicht unbegründet. Insofern kann die Synthese nur in Poppers Welttypen von CYPO FOX bestehen, womit gilt, dass sich CPS gleichzeitig über mindestens zwei Welten, nämlich über die Welt 1 und die Welt 3 erstrecken; agentenbasierte CPS weisen demgegenüber eine W1-W2-W3 Interdependenz auf, während IoX-adäquate MAS-basierte CPS prinzipiell eine W1-W2-W3-W4 Interdependenz voraussetzen. Denn bereits in ihrer CPS-Steuerungslogik ist mit der Welt 4 auch noch soziales Verhalten zu berücksichtigen. Offensichtlich sind also der klassische Existenzbegriff wie auch das klassische Realitätsverständnis im CPS-Kontext grundsätzlich zu revidieren, insbesondere in der Weise, die *technologie-adäquat* ist. Demgegenüber müssen philosophische, wissenschaftstheoretische wie wissenschaftliche Auffassungen wenig hilfreich erscheinen, die die Existenz bzw. Realität von *Technologien* entweder gar nicht, oder allenfalls bedingt gelten lassen. Denn das ist aufgrund der nachweisbaren Rückkopplungen sachlogisch falsch. Insofern liegt Popper mit der unterstellten Realität der Welt 3 und der genauso unterstellten Interdependenz der Welten richtig; auch insofern ist die *emergentistische Mehrweltenontologie* als Schlüssel zu einer ontologischen Synthese zu erachten.

Cyber-physische Systeme (CPS) stellen insofern *Prozesssysteme* dar, als es sich um *informationsverarbeitende* Systeme handelt. Analoges gilt mit Blick auf die erwähnte HLIF-Informationsverdichtung, wenn im JDL-Modell die Ebene 4 jene der Prozessoptimierung darstellt. Indem moderne CPS regelmäßig AI-basiert sind, gilt dieser Prozessgedanke auch für den AI-Gesichtspunkt selbst. Tatsächlich repräsentieren Prozeduren der AI-Inferenz genauso ein *Processing*; auch die ihr vorgeschaltete *Ereignisdetektion* im Rahmen des auf der Automatentheorie gründenden *Complex Event Processing* (CEP) insgesamt. Wenn zu fragen ist, wie sich CPS universal verstehen lassen, dann lautet die Antwort: als "*system of events*". In ihrer realweltlichen Einbettung, ihrem prozessualen Ereigniszentrismus wie ihrer Ereignisdetektion, ihrer interdependenten W1-, W2-, W3- bzw. W4-Konstitution, ihrer MAS-, CEP- bzw. SCEP-Grundlegung und damit in ihrer ontologischen Basis. Schließlich ist es in ihrer Natur als *Complex Adaptive Systems* (CAS) unmöglich, solche Systeme systemtheoretisch zu begründen: Sachgerecht begründbar sind CPS als "*systems of events*" allein auf Grundlage *prozessualer Metaphysik*, konkret auf Basis des Whiteheadschen Systems. Denn CPS erfordern die Auseinandersetzung mit den fundamentalen Strukturen der Welt bzw. Welten, auch mit jenen der Realität als solcher – und das ist ureigenste Sache der Metaphysik, genauso wie die Adaption durch die Subjekt-Superjekte.

Cyber-physische Systeme (CPS) stellen insofern *Wissenssysteme* dar, als sie sich nicht nur insgesamt auf AI-Ontologien beziehen, sondern auch mit dem auf der CEP-Konvention aufbauenden SCEP-Konzept im wissensontologischen Sinne auf die *Top-level Ontologie*

referenzieren. Somit stellen mit Verweis auf Pkt. 1.5 nicht nur U-PLM-Systeme im Ganzen *kombinierte Prozess- und Wissenssysteme* dar, sondern diese sind auch für CPS bzw. CPPS als PLM-Teile selbst konstituierend. Entsprechend sind CPS auch im Hinblick auf ihre Eigenart als *Wissenssysteme* als "*systems of events*" prozessmetaphysisch zu begründen, nämlich im Zeichen metaphysischer Ontologie. Hier ist vor allem die kategoriale Frage mitsamt der zugehörigen meta-ontologischen Dispositionen zu klären, was Gegenstand des sechsten Teils ist. Vor diesem Hintergrund läuft die Revision der theoretischen, technologischen wie praktischen Grundlegung der Informatik darauf hinaus, diese insgesamt um die techno-wissenschaftliche Prozessmetaphysik Whiteheads (1917, 1919, 1920, 1925, 1927, 1929a, 1929b) und ihren metaphysischen Logizismus zu erweitern. Wolframs (2002) *New Kind of Science*, die auf methodischer Basis von Computersimulationen und Computereperimenten zuvorderst als eine im Zeichen der *Theorie komplexer Systeme* stehende *computergestützte Wissenschaft* zu verstehen ist,²⁴⁴⁹ lässt sich genauer besehen erst auf dieser prozessmetaphysischen Grundlage richtiggehend eröffnen. Denn mit der zu klärenden Frage der fundamentalen Strukturen der Welten wie der ontologischen Aspekte reicht ihr Verständnis im methodologischen Sinne keineswegs aus, auch wenn darin Wolframs (2002) eigentliches Charakteristikum besteht.

Die These, wonach die prozessmetaphysische Grundlegung für die Informatik im Allgemeinen wie für die Automatentheorie bzw. Theorie zellulärer Automaten im Besonderen als direkte Folge der CPS-Immanenz unabdingbar ist, gilt wiederum im Zeichen der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF bzw. von CYPO FOX. Dabei ist festzustellen, dass nicht nur die fundamentalen Strukturen der Popperschen Welten, sondern auch jene der Automatenwelten selbst von Relevanz sind: *Dissipative Zelluläre Automaten* (DCA) setzen etwa andere fundamentale Weltstrukturen voraus als alternative Klassen zellulärer Automaten. Also gibt es offensichtlich nicht nur mit Bunge (1973), Zuse (1982) oder Steinhart (1998) eine metaphysische Relevanz der Automatentheorie, sondern im *intelligiblen Universum* resp. *intelligiblen Welten* umgekehrt vielmehr eine primäre Relevanz der Metaphysik für die Automatentheorie. Beide sind allerdings erst dann als wirklich kompatibel zu erachten, wenn Metaphysik mit Pkt. 4.1 als *techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik* auch sämtlichen Belangen der Automatentheorie gerecht zu werden vermag. Das kann für die Bungesche (1977a) Klasse-3-Metaphysik nicht gelten, für die Whiteheadsche (1929a) indessen schon. Indem eine computergestützte Wissenschaft, insbesondere wenn sie sich als *neue Art von Wissenschaft* verstehen will, kaum an den erwähnten *Semantic E-Sciences* vorbeikommt, ist nicht nur die metaphysische Seite der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* von Relevanz, sondern genauso das Moment der Wissensontologie. Somit fungiert die *Top-level Ontologie* nicht nur im Hinblick

²⁴⁴⁹ Vgl. hierzu Mainzer (2014c) sowie Mainzer/Chua (2012, 2013). Dabei geht es insbesondere um *Cellular Neural Networks* (CNN), vgl. dazu auch Mainzer (2002a).

auf CM-Aspekte der Diskurswelten als Referenzbasis, sondern ist in gleicher Weise für die KR-Aspekte von elementarem Belang.

Indessen ist nicht nur in dieser Hinsicht ein neues Wissenschaftsverständnis zu fordern, das über Wolframs (2002) *New Kind of Science* insofern hinausgeht, als es beide Seiten der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF inkorporieren muss. In ihrem Zeichen, speziell vor dem Hintergrund der auf die wissenschaftliche, technologische wie praktische Ontologie gleichermaßen abzielenden CYPO FOX ist dieses *neues Wissenschaftsverständnis* vielmehr auch in der Weise auszulegen, als der Interdependenz der Ontologien umfassend Rechnung zu tragen ist. Das heißt, dass insbesondere die Grundlagen der Automatentheorie wie das insgesamt Weltverständnis von vornherein so auszulegen sind, dass beides sich tatsächlich auf all ihre Anwendungssphären gleichzeitig erstrecken kann. Somit geht es nicht nur etwa im Sinne der *Theorie zellulärer Automaten* um natürliche bzw. soziale Welten im W1- bzw. W4-Sinne, sondern gleichsam um komplexe Strukturen der Welt 2, die über eigentliche W1-Aspekte wie die *neural events* bei McCulloch/Pitts (1943) hinausgehen.²⁴⁵⁰ Sie sollten sich vielmehr auch im MAS-Sinne von Agentenwelten auf tatsächliche W2-Aspekte, nämlich auf die Epistemologie im klassischen Sinne, beziehen können. Indem zum einen Metaphysik wie Ontologie *an sich* universal sind, zum anderen die Automatentheorie etwa mit Shannons (1938) *Schaltalgebra* von Beginn an vor allem auch auf die *Technopraxis* bezogen ist, spielt gerade die Welt 3 für sie eine entscheidende Rolle. Mit CEP-basierten Cyber-physischen Systemen (CPS) wird dies besonders offensichtlich. Entsprechend hat das hier geforderte neue Wissenschaftsverständnis insbesondere Simons (1969) *Sciences of the Artificial* mit einzubeziehen, die für die Informatik zweifelsohne von besonderer Relevanz sind.

In diesem Sinne ist eine *kombinierte metaphysische Multi-Wissensontologie* wie CYPO FOX im IMKO OCF für ein solch neues Wissenschaftsverständnis konstituierend, das dem CPST-Hyperspace der Informatik erst tatsächlich gerecht wird. Denn dieser ist sowohl wissenschaftlich, technologisch wie auch praktisch gehalten. Speziell mit der Automatentheorie bzw. der *Theorie zellulärer Automaten* zeigt sich das Erfordernis, strikt zwischen spezifischen Welttypen zu differenzieren: während sich die Automatentheorie etwa bei Bunge (1973) oder Zuse (1982) als Kosmologie auf die *aktuelle Welt* bezieht, ist dies bei Steinharts (1998) *Digital Metaphysics* insofern anders, als sich diese im Sinne von Leibnizens *Monadologie* genauso auf *mögliche Welten* erstreckt. Diese spielen insbesondere auch im Bereich des *Artificial Life* (AL) der Bioinformatik eine wichtige Rolle. Damit hat die Informatik auf Grundlage der Automatentheorie auch diese mit einzubeziehen.²⁴⁵¹ Insbesondere mit dem *Strong Artificial Life* und im Zeichen der *einen einheitlichen Weltsphäre*

²⁴⁵⁰ Dennoch sind die Überlegungen von McCulloch/Pitts (1943) für die AI-Disziplin zentral; nicht umsonst sucht auch J. von Neumann (1958) mit seiner Theorie der idealisierten Nervensysteme die logische Struktur *neuronaler Netze* zu analysieren, um *künstliche Neuronale Netze* (ANN) zu begründen.

²⁴⁵¹ Wie Mainzer (1999a: 2) bereits feststellt, verändert und ergänzt nicht nur die Informatik die Methoden und Problemlösungen in den Einzelwissenschaften; vielmehr wird sie auch umgekehrt von den Themen und Denkweisen der Einzelwissenschaften beeinflusst.

sind dabei gerade die *Übergänge* zwischen *möglichen virtuellen Welten* und der *aktualen physischen Welt* zu berücksichtigen.²⁴⁵² Solche unmittelbaren Übergänge bestehen auch in anderen Bereichen; mit Pkt. 1.5.1 etwa bei 3D-Druckern bzw. 3D-Scannern. Offenbar liegen in einem *intelligiblen Universum* Materielles und Immaterielles, etwa Regeln, Problemlösungen, Ideen resp. Kreativität, sehr viel enger zusammen, als es Materialisten wahrhaben wollen. Natürlich findet sich beides, d.h. Materielles wie Immaterielles im *gleichen Universum*; genauso wird es auch explizit in Booles (1854: 30) UoD-Sinne behandelt. Somit wird im Whiteheadschen Sinne die Überwindung des vermeintlichen Gegensatzes von Materialismus und Idealismus notwendig. Bzw. ist damit im Popperschen Sinne die Interdependenz wie Interaktion von Welt 1 und Welt 3 impliziert. Gerade diese Übergänge erfordern eine *integrierte Ontologiekonzeption*, die sich sachgerecht nur als *integrierte metaphysische Wissensontologie* entwickeln lässt.

Das *intelligible Universum*, das in seiner *Organisiertheit* und *Ordnung* genauso im metaphysischen Zeichen Kants (1800) oder Whiteheads (1929a),²⁴⁵³ im wissenschaftstheoretischen Sinne Toulmins (1961) oder Reschers (1987b),²⁴⁵⁴ wie in der systemtheoretischen Argumentation Bertalanffys (1951c) zu verstehen ist,²⁴⁵⁵ berührt nicht nur die W1-W3-Interaktion. Vielmehr betrifft es genauso grundlegend die Welt 2: im Sinne Kants (1781) ist es *an sich verstehbar*, nämlich im Sinne der Kantischen (1790) *Naturzwecke*, wie es durch Whitehead nicht anders vorausgesetzt wird. Dabei ist diese Verstehbarkeit weniger nach bisheriger Tradition im Sinne empirisch bestätigbarer Gesetze bzw. zugehöriger Theorien zu sehen. Vielmehr stützen die Kantischen (1790) *Naturzwecke* genauso wie Feynmans (1967, 1982, 1986) *Regeluniversum* Wolframs (2002) Standpunkt auf Basis der *Theorie zellulärer Automaten*, mit der die formale Logik und entsprechende Regeln in den Vordergrund zu stellen sind. Erst damit rücken Computersimulationen und Computerexperimente stärker in das Zentrum der Wissenschaften, während ihre zentrale Stellung für Technologien auf gleicher Basis gänzlich außer Frage steht. Das *intelligible Universum* besitzt zwar Ordnung, doch geht es nicht nur um die Ordnungsstrukturen als solche, sondern gerade auch um die Regeln, die diese Ordnungen bedingen. Insofern basiert die CYPO-Ontolo-

²⁴⁵² Vgl. hierzu etwa Brooks (1992), Sober (1992), Olson (1997) Shanken (1998) sowie Rennard (2005).

²⁴⁵³ Vgl. auch Cobb (1984: 139).

²⁴⁵⁴ Vgl. hierzu speziell Toulmin (1961: 99): »The central aims of science are, rather, concerned with a search for understanding – a desire to make the course of Nature not just predictable but intelligible – and this has meant looking for rational patterns of connections in terms of which we can make sense of the flux of events«. Vgl. darüber hinaus Rescher (1987b: 105): »A world in which creatures possessed of high intelligence emerge through the operation of evolutionary processes must be a highly intelligible world«, ohne Hvh. des Orig.

²⁴⁵⁵ Vgl. hierzu bereits Bertalanffy (1951c: 344) sowie Bass (1951); vgl. auch Bertalanffy (1975: 97, 117). Vgl. zur Konzeption der Finalität in der *Allgemeinen Systemtheorie* Bertalanffy (1968: 77 ff.). Für Bertalanffy (1968: 45) steht vollkommen außer Frage, dass das Teleologiemoment in die Biologie wie in die Systemtheorie zu inkorporieren ist: »you cannot conceive of a living organism, not to speak of behavior and human society, without taking into account what variously and rather loosely is called adaptiveness, purposiveness, goal-seeking and the like« – was allerdings Bertalanffys Ausblendung des Rationalitätsmomentes konterkariert.

giekonzeption als *integrierter metaphysischer Wissensontologie* auf Kants (1800) obersten Grundsatz des Regeluniversums:

»Alles in der Natur, sowohl in der leblosen, als auch in der belebten Welt geschieht nach Regeln, ob wir gleich diese Regeln nicht immer kennen. [...] Die ganze Natur überhaupt ist eigentlich nichts Anderes, als ein Zusammenhang von Erscheinungen nach Regeln; und es giebt überall keine Regellosigkeit. Wenn wir eine solche zu finden meinen, so können wir in diesem Falle nur sagen: dass uns die Regeln unbekannt sind.«²⁴⁵⁶

Dabei gilt dieser Grundsatz der Regelbasiertheit, nicht nur für die Welt 1. Kant (1800) sieht dies analog im Hinblick auf die W2-Sphäre, indem er an gleicher Stelle konstatiert:

»So wie nun alle unsre Kräfte insgesamt [sic!], so ist auch insbesondere der Verstand bei seinen Handlungen an Regeln gebunden, die wir untersuchen können. Ja, der Verstand ist als der Quell und das Vermögen anzusehen, Regeln überhaupt zu denken.«²⁴⁵⁷

Offenbar, das sei an dieser Stelle nochmals im Rückblick auf Pkt. 3.3.2 angemerkt, ist Kant mit dieser Sichtweise nicht weniger der *revisionären Metaphysik* zuzuordnen als etwa Descartes. Denn mit diesen Regeln meint Kant (1800) im Zeichen seiner Logik allein *logische Regeln*, und die Behauptung, dass der *gesamten* Natur *Logik* inhärent ist, dass sie komplett *auf Grundlage der Logik* "funktioniert", stellt eine fundamentale metaphysische Position dar. Es ist genau diese Position, die des *intelligiblen Universums* und damit *intelligibler Welten*, die erst die außerordentliche metaphysische Relevanz der Automatentheorie im Sinne Bunges (1973), Zuses (1982) oder Steinharts (1998) eröffnet. Auch ist es diese Kantische Position, die für alle vier Welten von CYPO FOX grundlegend ist, was sich auch in ihrer Ontologiedefinition widerspiegelt, indem Ontologie als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* gesehen wird, die selbst die formale Logik mitsamt ihres *Processing* impliziert. Die Kantische (1800) metaphysische Position *ontologisch* auszulegen, wie es die metaphysische Ontologie impliziert, ist der entscheidende Schritt, der bislang übersehen wird: Keine Ontologiekonzeption, insbesondere auch nicht der Informatik, wird speziell von diesem zentralen Kantischen Gedanken, und damit ausgehend vom *Processing* der Automatentheorie entwickelt. Stattdessen leiten sich alle heute wesentlichen Ontologieansätze, speziell auch jene der Informatik, im Sinne von Bunges (1977a) "*Furniture of the World*" her. Ob das auf Basis einer *Objekt-, Ding- bzw. Substanzontologie* oder auf Basis objektzentrischer *linguistischer Analyse* vollzogen wird, ist dabei unerheblich. In jedem Fall ist dieses OE-Procedere, für das die Subjekt-Objekt-Dichotomie konstituierend ist, zutiefst problematisch.

Kants (1790) *Selbstorganisationsprinzip* wie Kants (1800) *intelligibles Universum* mit seinem logischen Regelvollzug weist offensichtlich bereits in Richtung des *Complex Event Processing* der Automatentheorie, speziell etwa in jenes *Dissipativer Zellulärer Automaten* (DCA), weniger in Richtung der "furnished rooms". Insofern ist es vor dem Hintergrund des Kantischen Gesamtwerks nicht nur ungerechtfertigt, sondern auch falsch, Kant insgesamt unter Strawsons (1959) Abgrenzung einer gesonderten *deskriptiven Metaphysik* fassen zu wollen. Wenn Strawson (1959) diese gerade zentral an Kant festmachen will,

²⁴⁵⁶ Kant (1800: 12).

²⁴⁵⁷ Ibid.

zeigt sich die Ungeeignetheit einer solchen Abgrenzung an sich. Indem sich linguistische Ontologiekonzeptionen der Informatik wiederum in zentraler Weise dadurch begründen, dass sie sich etwa mit Guarino/Guizzardi (2006: 121 ff.) explizit auf die *deskriptive Metaphysik* Strawsons (1959) berufen, steht außer Frage, dass die Ontologiediskussion im Zeichen der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF allein *im Ganzen* geführt werden kann.

Indem die Kantischen (1800) *Regeln* auf die W1- wie W2-Sphäre bezogen sind, folgt in CYPO FOX mit der Interdependenz der Welten daraus, dass sie auch für die W3- und W4-Sphäre konstituierend sind. Alles Wissen, alle Artefakte der Welt 3 sind primär unter diesen *Regeln*, den *Regulae der Technopraxis*, zu verstehen. Genauso folgt alles Geschehen der Welt 4 einer *kontextuellen Situationslogik*, die auf den *Regulae*, etwa Routinen der Welt 3, aufbaut. In diesem Sinne ist mit Margenau (1950) ontologisch vorauszusetzen, »that constructs shall possess *logical fertility*«, womit gilt: »the constructs shall *obey logical laws*«. ²⁴⁵⁸ Damit ist die *Ontologie der Natur* unmittelbar berührt, was wiederum dann in der *Top-level Ontologie* der Informatik zwingend zu berücksichtigen ist, wenn diese einheitlich für alle vier Welten vorausgesetzt werden können soll. Im Sinne solcher logischen Welten kann es bei der Welt 2 insgesamt um alle logisch möglichen Welten gehen, wobei es sich durchaus auch um rein *fiktive* Weltmodelle handeln kann. Insofern werden im Kontext der W2-Ontologie auf Basis zellulärer Automaten Gedankenexperimente im Sinne eines "What if X?" möglich. ²⁴⁵⁹ Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* sind auch solche fiktiven Weltmodelle von Relevanz, indem sich ihr Einsatz nicht notwendig auf die Grundlagenforschung beschränkt, sondern sie durchaus auch direkt im Rahmen von Innovationsprozessen PLM-relevanter Industrien wie etwa der Biotechnologie eine Rolle spielen können. Denn in PLM-typischen, wissensorientierten Industrien verschwimmen die Grenzen zwischen der wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Sphäre zusehends: ihre an sich spezifischen Ontologien werden gerade im Zuge solcher komplexen Innovationsprozesse mehr und mehr kombiniert.

Mit solchen "What if X?"-Gedankenexperimenten zeigt sich insbesondere die Welt 2 als *Welt des Möglichen*, weil das Mögliche in seiner ganzen Rigorosität nur individuell gedacht werden kann und sich mitunter nur zum Teil objektivieren lässt. Insofern vor allem die Welt 2 die *Welt des Möglichen* ist, wird deutlich, dass ihr Realitätsstatus vom jeweiligen Verhältnis zur Welt 1 abhängig ist. Die unmittelbar auf die *aktuale Welt* bezogene *realfaktische Möglichkeit*, wie sie Gegenstand der Husserlschen Phänomenologie ist, besitzt ganz offensichtlich einen anderen Realitätsstatus als die rein logische bzw. hypothetische Möglichkeit, wie sie in der Analytischen Philosophie vertreten wird und auch für die tradierte AI-Ontologie im Sinne Grubers (1993, 1995) charakteristisch ist. Darauf kommen wir weiter unten mit der Frage nach einem über die Realität der Welt 1 hinausgehenden

²⁴⁵⁸ Vgl. Margenau (1950: 82).

²⁴⁵⁹ Vgl. hierzu Bedau (1998b), insbes. p. 145; vgl. hierzu ergänzend Rescher (2005b).

Mehrwelten-Realitätsverständnis zurück. Jedenfalls besteht bereits ein W2-W1-Bezug insofern, als mit Margenau (1952) die *physische Realität* als solche überhaupt *erkennbar* sein muss, damit sie in der Ontologie begründet vorausgesetzt werden kann. Das wiederum ist insofern unabdingbar, als die Frage der *realen* Existenz spezifischer Entitäten in CPS-Kontexten notwendig zu klären ist. Für CPS ist die damit zusammenhängende Differenzierung von *realer vs. definitorischer Existenz* zweifellos überaus entscheidend. Tatsächlich besteht gerade darin der entscheidende Schritt, wenn sich die AI-Praxis im Sinne von Hayes (1979) den *nontoy worlds* zuwenden muss. Denn agentenbasierte CPS setzen *per definitionem* nicht nur einen *metaphysischen*, sondern gleichermaßen einen *epistemologischen Realismus* voraus, indem sie sich zuvorderst auf *physische Welten* beziehen. Wenn mit Verweis auf Simons (1976b, 1987a) oben erwähnte Differenzierung von *substantieller vs. prozeduraler Rationalität* die Erkenntnis der physischen Realität nie *ad hoc* in toto möglich ist, sondern im prozeduralen Entdeckungsprozess nur nach und nach, ist offenbar eine davon gesonderte *epistemische Realität*, mit Margenau (1952) eine "*known reality*", zu unterscheiden. Bereits in Bezug auf die aktuelle natürliche Welt ist somit offenbar zwischen einer W1- und einer W2-Realität zu differenzieren, genauso wie im Zeichen Simons (1976b, 1987a) eine W2- und W3-Realität oder eine W2- und W4-Realität abzugrenzen ist. Denn epistemische Prozesse korrelieren immer mit dem agentenindividuellen subjektivistischen Erkenntnisvermögen, für das wiederum Simons Moment *begrenzter Rationalität* universal vorauszusetzen ist. Diese Auffassung geht auch mit dem für die AI-Praxis konstituierenden Gedanken der *Belief Revision* konform.²⁴⁶⁰

In Erkenntnisprozessen menschlicher Agenten existieren W2-Objekte prinzipiell nur insofern sie gedacht werden, und im Sinne Wittgensteins ist dieses Denken sprachabhängig. Dennoch ließe sich auch in diesem Fall nicht sagen, dass W2-Ontologien mit *linguistischen Ontologien* gleichsetzbar sind; denn zum einen basieren sie auf metaphysischen TLO-Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen, zum anderen sind sie mit den anderen Welten interdependent. Was die vor diesem Hintergrund relevante Existenzfrage betrifft, werden bereits in Husserls (1901) *Logischen Untersuchungen* im Kontext seines subjektivistischen Ontologiegedankens *zwei Existenzverständnisse* unterschieden, die sich im oben dargestellten Sinne nach Popperscher Nomenklatur ebenfalls als physisch-objektivistische W1-Existenz und als subjektivistische W2-Existenz deklarieren lassen. Dabei stehen auch hier beide Existenzverständnisse gemäß der Popperschen W1-W2-Interdependenz bereits bei Husserl (1901) in einem wechselseitigen Verhältnis:

»Der Gegenstand ist ein "bloß intentionaler", heißt natürlich nicht: *er existiert* [...]; sondern es heißt: die Intention, das einen so beschaffenen Gegenstand "*Meinen*" existiert, aber *nicht* der Gegenstand. Existiert andererseits der intentionale Gegenstand, so existiert nicht bloß die Intention, das Meinen, sondern *auch* das Gemeinte.«²⁴⁶¹

Kommen wir damit zur Welt 3 sowie auf die W3-Ontologie zu sprechen, die mit Popper (1982a: 115) im Sinne von *Entitäten* »a class of things« bzw. »a universe of discourse«

²⁴⁶⁰ Vgl. hierzu Fn. 2315.

²⁴⁶¹ Husserl (1901: 439 f.), Hvh. im Orig.; dort gesperrt gedruckt.

repräsentiert. Die Welt 3 verkörpert die Welt der Artefakte, und hat als solche auch alle nicht rein-gedachten Ontologien als Artefakte zum Gegenstand. D.h. alle Ontologien, die in einer Repräsentationssprache wie OWL usf. formalisiert sind. Damit sind, wie oben erwähnt, formalisierte W1- und W4-Ontologien *in ihrer Eigenschaft als Artefakte* genauso der W3-Sphäre zuzurechnen wie etwa W4-MAS-Ontologien, auch wenn sie sich jeweils auf andere Welten beziehen. Allein die *epistemische Ontologie* in der Eigenart menschlicher Denkprozesse, bei der *Epistemologie* als »ontology of the knowing situation« verstanden wird,²⁴⁶² ist nicht in der W3-Sphäre, sondern mit Verweis auf die Abgrenzung der Ontologieebenen in Pkt. 6.2.7 als Sonderfall in der W2-Sphäre zu verorten. Indessen zielt die eigentliche W3-Ontologie, deren Gegenstand die Welt 3 selbst ist, auf die Technopraxis. Als solche hat sie entweder technologische oder praktische Welten zum Gegenstand. Damit geht es hier um die Repräsentation artifizieller Welten, etwa artifizieller Systeme und damit um technologische oder praktische Wissensontologien. Die Technopraxis der Welt 3 ist die Welt der Artefakte, zu denen auch das Wissen selbst gehört, soweit es objektives bzw. objektiviertes Wissen ist. Handelt es sich demgegenüber um subjektives Wissen, dann ist dieses Wissen Bestandteil der Welt 2. Denn zum einen ist es an die Existenz konkreter Subjekte gebunden, zum anderen hat es noch nicht die methodologische Verfahrenspraxis der Welt 3 durchlaufen. Vor diesem Hintergrund bringt Popper nicht nur seinen Kritischen Rationalismus in eine Verbindung zu seinem Drei-Welten-Realismus, sondern sieht in der Existenzvoraussetzung der Welt 3 nicht weniger als eine wesensnotwendige Bedingung seiner Methodologie:

»[I]t makes a great difference whether we merely think some thought or whether we formulate it in a language (or still better, write it down, or get it printed). As long as we merely think the thought it cannot be objectively criticized. It is part of ourselves. To be criticizable it must be formulated in a human language, and become an object: a World 3 object. Linguistically formulated thoughts belong to World 3. They can be logically criticized, for example by showing that they have certain unwelcome or even absurd logical consequences. Only thought contents belonging to World 3 can stand in logical relationships, such as equivalence, deducibility, or contradiction. Thus we must clearly distinguish between the subjective thought processes, which belong to World 2, and the objective contents of thoughts, the contents in themselves, as it were, which constitute World 3.«²⁴⁶³

Während Poppers unterstellte Interdependenz von *Kritischem Rationalismus* und objektivem Wissen der Welt 3 als schlüssig zu erachten ist, kann das in Bezug auf die Position Bunge nicht behauptet werden. Denn Bunge vertritt mit seinem *Scientific Realism* an sich ganz ähnliche methodologische Positionen wie Popper, lehnt jedoch in seinem Emergentischen Materialismus die Existenzvoraussetzung der Welt 3 ab. Mit anderen Worten ist W3-Wissen als von Subjekten unabhängiges Wissen für Bunge nicht real; denn im Materialismus kann es für sich nicht existieren, wie es für Antimaterialisten wie Whitehead und Popper jedoch problemlos möglich ist. Die Kantische (1800) Position des *intelligiblen Universums* ist auch hier entscheidend: wenn die logischen Regeln der physisch-materialen Welt selbst inhärent sind, einschließlich der Ratio, und Materie mit Kant immer in diesen Regeln zu denken ist, dann sind diese Regeln immanent immer existent. Sie existieren ge-

²⁴⁶² Vgl. Bergmann (1964: 126), Hvh. im Orig.

²⁴⁶³ Popper (1982a: 118 f.).

nauso wie darauf aufbauende technologische Möglichkeiten immer implizit, und werden in Form objektiven Wissens lediglich expliziert. Offensichtlich fehlt damit bei Bunge jene Konsistenz, die bei Popper zwischen metaphysischer Position und Methodologie gegeben ist. Darüber hinaus ist der Position Poppers auch insofern der Vorzug zu geben, als Bunges Ablehnung der Existenz der Welt 3 weder den Zwecken der Informatik noch überhaupt allen Zwecken sämtlicher Realwissenschaften und Technologien entspricht. Das gilt gerade mit Blick auf die umfassende Interdependenz, die zwischen den vier Welten in metaphysischer wie wissensontologischer Hinsicht besteht. Insofern ist offensichtlich nicht die Existenz der Welt 3 in Frage zu stellen als vielmehr Bunges Realitätsverständnis, was weiter unten nochmals detaillierter dargelegt wird.

Die Produkte des menschlichen Geistes oder auch Künstlicher Intelligenz sind, insofern sie objektivierbar sind, nicht mehr ontologischer Gegenstand der Welt 2, sondern der Welt 3, wie sie bereits bei Popper (1965, 1967) abgegrenzt wird: »By 'World 3' I mean the world of the products of the human mind.«²⁴⁶⁴ Um neben der Welt 2 auch Poppers Welt 3 mit der Nivellierung von Neumanns (1951) Automatenklassen vereinbar zu machen, muss es insgesamt um W2-Produkte gehen, also universal um Produkte intelligenter Automaten bzw. Agenten. Als Welt der Artefakte bzw. artifizielle Welt läuft die Welt 3 entsprechend auf eine *Ontologie der Artefakte* hinaus, wie sie in Pkt. 4.6 diskutiert wird. Auch diese ist als *kombinierte metaphysische Multi-Wissensontologie* zu sehen, indem auch die fundamentalen Strukturen der Welt 3 zu klären und zu definieren sind, bevor sich Entitäten in W3-Ontologien sachgerecht repräsentieren lassen. Konkret impliziert dies die Klärung, ob die Strukturen, die mit der *metaphysischen Top-level Ontologie* für die W1- und W2-Welt gelten, auch in W3-Welten Bestand haben können. Speziell ist zu prüfen, ob der *Ereigniszentrismus*, der für die W1- und W2-Welt gilt, auch für W3-Welten gelten kann. Mit dem in Pkt. 6.2.1 behandelten CEP-Ansatz, der in der Tradition der Automatentheorie steht, zeigt sich, dass darin auch gerade für die Welt 3 die sachgerechte metaphysische Kategorisierung besteht.

Während alle *konkreten Objekte* einschließlich menschlicher Körper bei Popper in die Welt 1 fallen, gehören bei ihm alle *psychologischen Zustände* in die Welt 2. Diese sind allerdings in der universalen CYPO-Ontologiekonzeption im Sinne von Neumanns Automatenklassen als Spezialfall menschlicher Agenten zu sehen. Demgegenüber fallen alle *abstrakten Objekte* wie Probleme, Theorien und Argumente, einschließlich der falschen, in die Welt 3.²⁴⁶⁵ Popper führt dazu folgende heterogene Beispiele an: Kunstwerke, ethische Werte, soziale Institutionen, Gesellschaften, wissenschaftliche Bibliotheken, Bücher, wissenschaftliche Probleme, Theorien, einschließlich falscher Theorien.²⁴⁶⁶ Hierzu gehören aber gerade auch Technologien.²⁴⁶⁷ An diesen Beispielen wird bereits die enge Interdepen-

²⁴⁶⁴ Vgl. Popper (1982a: 114); vgl. ähnlich Popper (1978a: 144).

²⁴⁶⁵ Vgl. Popper (1982a: 115).

²⁴⁶⁶ Vgl. Popper (1982a: 114).

²⁴⁶⁷ Vgl. Popper (1972a: 155, 159).

denz der Welten offenbar, insbesondere auch jene zwischen Welt 1 und Welt 3. So betont Popper selbst, dass ein Theater- oder Musikstück in Bezug auf die komplexen physischen Ereignisse in die Welt 1 gehört, während es in Bezug auf seinen Inhalt, Botschaft oder Bedeutung der Welt 3 zuzuordnen ist.²⁴⁶⁸ Ähnliches gilt für technologische Anlagen, die in ihrer Materialität in die Welt 1 gehören, in Bezug auf ihre ideelle Verfahrenskomponenten usf. jedoch in die Welt 3. Cyber-physische Systeme (CPS) sind ein weiteres Beispiel, indem das Physische in die Welt 1 gehört, der Cyberspace als artifizielle Welt im Sinne Simons (1969) grundsätzlich jedoch in die Welt 3.

Während Bunge eine materialistische Position vertritt, ist es bei Popper eine antimaterialistische.²⁴⁶⁹ Wenn sich Popper insgesamt gegen den Physikalismus wendet, gilt dies speziell auch im Rahmen der Philosophie des Geistes. Dabei greift er in seiner Argumentation wiederum auf seine *Drei-Welten-Lehre* zurück und konkretisiert diese im Zusammenhang mit der Welt 3. Dabei unterscheidet Popper (1974b: 1050 ff.) drei Subtypen von Welt 3: die materialisierten Teile von W3-Entitäten gehören für Popper in die Welt 3.1; es geht hier also um den physikalischen Speicher nichtphysischer W3-Objekte bzw. Entitäten. Demgegenüber steht die Welt 3.2 für jene Teile von W3-Entitäten, die durch Individuen bereits geistig erfasst bzw. begriffen sind, während die Welt 3.3 das große Schattenreich des noch nicht geistig Erfassten markiert. Man könnte insofern sagen, es handelt sich im platonistischen Sinn um das Reich noch unentdeckter Ideen bzw. *logische Regeln* sowie darauf bezogene unrealisierte Problemlösungen, als Popper (1974b: 1052) diese Welt 3.3 selbst an Problemen und neuen möglichen Wegen zu ihrer Lösung festmacht. Insofern wird insgesamt deutlich, dass die Welt 3 keine reine Begriffswelt ist, die sich auf die symbolische Ebene (Signifikant) des *semiotischen Dreiecks* der Linguistik reduzieren ließe bzw. dieser entspricht. Diese Fehlinterpretation zeigt sich insofern des Öfteren, als das semiotische Dreieck zuweilen in eine Verbindung zur Popperschen *Drei-Welten-Lehre* gebracht wird. Wohl lässt sich sagen, dass alle Symbolik in die Welt 3 gehört, diese jedoch weit darüber hinausgeht.

Der Umstand, dass Poppers Welt 3 gänzlich anderen Charakters ist als die symbolische Ebene (Signifikant) des *semiotischen Dreiecks*, wird nicht nur anhand praktischer bzw. technologischer Ideen, Verfahren oder insgesamt anhand von *Engineering Artefakten* deutlich, sondern auch mit dem objektiven bzw. objektivierten Wissen in seiner inhaltlichen Gesamtheit. Dabei ist dieses Wissen nicht nur als wissenschaftliches Wissen zu verstehen, sondern gerade auch als technologisches und praktisches Wissen, das im Sinne eines universalisierten Intelligenz- und Lernverständnisses etwa alle intersubjektiven bzw. objektivierten Regeln, und damit auch alle Institutionen mit umschließt. Damit zeigt sich auch die enge Interdependenz von Welt 2 als individueller Lernwelt, Welt 3 als Welt intersubjektiver bzw. objektivierter Regeln, und Welt 4 als empirisch zugängliche wissen-

²⁴⁶⁸ Vgl. Popper (1982a: 115).

²⁴⁶⁹ Vgl. etwa Popper in Popper/Eccles (1977: 78 ff.).

schaftliche Welt, die dieses Wechselspiel im sozialpsychologischen Regelsinne zum Gegenstand hat, und damit alle drei anderen Welten voraussetzt. Diese Interdependenz gilt auch mit Blick auf Poppers Erkenntnistheorie bzw. *Theorie des Wissens*, für die das Wechselspiel von Welt 2 und Welt 3 zentral ist: »While knowledge in the sense of ‘I know’ belongs to what I call the ‘second world’, the world of *subjects*, scientific knowledge belongs to the third world, to the world of objective theories, objective problems, and objective arguments«. ²⁴⁷⁰

Dabei hat jede objektive Theorie im Sinne Poppers hypothetischen Charakter,²⁴⁷¹ sie ist somit fallibel. Mit Poppers *Theorie des Wissens* wird der Zugang zur Wissensontologie eröffnet, die sich als integrierte Ontologiekonzeption auf die verschiedenen Welttypen bezieht. Demgegenüber verharrt Quines *naturalisierte Erkenntnistheorie* mit Verweis auf Pkt. 5.1 notwendig in der Welt 1, und kann somit keine transdisziplinär gültige Grundlage einer integrierten Ontologiekonzeption bilden, wie sie die Informatik indessen benötigt. Insofern gilt mit Kaiser (1988), dass der Naturalismus in verschiedener Hinsicht nicht mit dem in der Wissenschaftstheorie heute allgemein akzeptierten *Kritischen Rationalismus* vereinbar ist: wenn etwa Vollmer – und mit ihm viele andere – zugleich Kritischer Rationalist im prinzipiellen Sinne von Poppers objektivem Wissen *und* Naturalist im engeren Sinne sein will, der die Welt 2 und Welt 3 ablehnt, geht das offensichtlich nicht zusammen. Auch Popper und Whitehead werden zwar verschiedentlich als *Naturalisten* verstanden, doch ist eine solche Sichtweise nicht mit dem engen Naturalismus vereinbar; allenfalls mit einer sehr weiten Auffassung desselben.²⁴⁷² Sachgerechter ist es, bei beiden von Verfechtern metaphysischer Ontologie zu sprechen, die sich im Zeichen von *Kosmologie* bzw. von Poppers Welt 1 in elementarer, kritisch-realer Weise an der *Welt der Natur* orientiert, ohne dabei jedoch andere, nicht klassisch-naturalistische Aspekte aus dem Auge zu verlieren. Damit sind insbesondere die epistemologischen Momente sowie die Artefakte gemeint, womit die Position Whiteheads wie Poppers insgesamt auf die *Drei-Welten-Lehre* hinausläuft bzw. in letzter Konsequenz auf die vier Welten bei CYPO FOX.

Unter die Klasse von W3-Ontologien fällt eine Vielzahl von Ontologiearten. Das gilt zum einen insofern, als die Welt 3 den Gegenstandsbereich des technologischen Ontologietypus verkörpert. Entsprechend kann es sowohl um Kern-, Domänen-, Aufgaben-, Methoden- oder aber um Anwendungsontologien gehen. Zum anderen handelt es sich um die Wissenssphäre intersubjektiven bzw. objektivierten Wissens, indem die Welt 3 als *Welt der Artefakte* nicht nur artifizielle, sondern auch fiktionale Welten eröffnet. So sind nicht nur Simons (1969) *Sciences of the Artificial* in der Welt 3 zu verorten, sondern genauso etwa fiktionale Kulturprodukte, etwa *Science Fiction*. Eine integrierte Ontologiekonzeption

²⁴⁷⁰ Vgl. Popper (1972a: 108).

²⁴⁷¹ Vgl. Popper (1972a: 80).

²⁴⁷² Dann ist mit Kelly (1977: 87) nicht nur Popper als »nonphysicalistic or nonmaterialistic naturalist« aufzufassen, sondern genauso Whitehead; ebenso ist nicht nur Poppers Ansatz "platonisch", sondern auch jener Whiteheads, und sie sind beide parallel durch eine Reihe weiterer Ansätze geprägt.

verlangt, dass nicht nur die Welttypen an sich, sondern auch ebensolche Submodi strikt abzugrenzen sind, weil sie etwa in epistemologischer oder methodologischer Hinsicht disparat sind. Entsprechend konkretisieren die Submodi den einzelnen Welt- bzw. Ontologietypus. Dabei weist der W3-Ontologietypus nicht nur die drei Submodi der W2-Ontologie auf, sondern auch noch einen vierten und fünften Submodus: (i) im Sinne des Aktualismus die *aktuale Welt* (W3A) als Standardfall; (ii) im Sinne des Possibilismus *mögliche Welten* (W3P); (iii) im Sinne des Fiktionalismus *fiktionale Welten* (W3F); (iv) daneben *Common Sense-Ontologien* (W3L) sowie (v) *Multiagentenontologien* im *technologischen Steuerungs- bzw. Regelungsmodus* (W3M). Dieser Ontologiemodus basiert auf der Interaktion rein maschineller MAS-Agenten und ist an sich konsensbasiert.²⁴⁷³ Zwar haben W3-Ontologien allesamt Artefakte zum Gegenstand, sind jedoch hochgradig divergent: so schließt etwa der W3A-Ontologietyp kontrafaktische Aussagegehalte aus, was etwa im Sinne produktionstechnischer oder sonstiger Steuerungserfordernisse mitunter zwingend sein kann. Dabei korrespondiert der W3A-Typus als technologische Ontologie streng mit der Welt 1; d.h., seine Sachverhalte sind empirisch nachprüfbar und stehen nicht im Konflikt zu naturwissenschaftlichen Theorien bzw. zu W1-Ontologien. Demgegenüber lässt der W3F-Ontologietypus solche kontrafaktischen Aussagegehalte im Sinne von Wyssussek (2006b) "*fairy ontology*" uneingeschränkt zu. In Abb. 9 sind die fünf Submodi des W3-Ontologietypus nochmals zusammengefasst:

Akronym	Modus	Definition
W3A	Aktualismus (Standardfall)	auf aktuelle Welten bezogene W3-Ontologie; strikte Korrespondenz mit der Welt 1 bzw. Welt 4
W3P	Possibilismus (Modalität " <i>de re</i> ")	mögliche Welten mit einbeziehende W3-Ontologie; technologischer Entwurf, Engineering, Invention, AL-Welten
W3F	Fiktionalismus (Modalität " <i>de dicto</i> ")	auf fiktionale Welten bezogene W3-Ontologie; Kontrafaktisches zulässig, z.B. <i>Science Fiction</i>
W3L	Common Sense (DO)	Allgemein akzeptierte W3-Artefakte sowie allgemein vereinfachte W1- bzw. W4 Sachverhalte (Korrespondenz mit Welt 1 bzw. Welt 4)
W3M	Multiagent (DO/MO/TO/FO)	Multiagent (Artificial Societies) – MAS-konsensbasiert [technischer Steuerungs- bzw. Regelungsmodus maschineller Agenten]

Abb. 09: Submodi des W3-Ontologietypus von CYPO FOX

Im Gegensatz zu Referenzontologien zielen *Anwendungsontologien* primär nicht auf uneingeschränkte Wiederverwendbarkeit durch unbeteiligte Dritte. Daher wird insbesondere an ihnen ein zentrales Charakteristikum der W3-Ontologie deutlich, dass sie als technologische bzw. praktische Ontologie strikt von *Scientific Ontologies* im W1- bzw. W4-Sinne unterscheidet: Hier, und nur hier trifft zu, was Linguisten meinen für alle Ontologie beanspruchen zu können, nämlich, dass ihre Wahrheit durch *bloßen Konsens* vereinbar ist.²⁴⁷⁴ Im Sinne *ontologischer Verpflichtung* meint Gruber (1993: 201) damit »agreements

²⁴⁷³ Vgl. hierzu Olfati-Saber et al. (2007), Z. Li et al. (2010) sowie Colistra et al. (2014).

²⁴⁷⁴ Vgl. hierzu auch die Idee bei Stephens/Huhns (2001), Stephens et al. (2003, 2004) sowie J. Huang et al. (2005), die mit ihren *Consensus Ontologies* dafür votieren, im *Semantic Web* auf eine *globale Ontologie*

about the objects and relations being talked about among agents«, wobei – wie dargelegt – Gruber nicht nur seine *linguistischen Konzepte* mit *Objekten* verwechselt,²⁴⁷⁵ sondern oben-drein "*objects*" in einer neutralen, unvoreingenommenen Sichtweise durch den generischen Begriff "*entities*" ersetzt werden sollte. Denn es sollte keine monodimensionale Kategorisierung ohne Kategoriensystem vorgenommen werden, da sie sich nicht sachgerecht begründen lässt. Vielmehr muss es gelten, die fundamentalen Strukturen im objektiven Sinne der *Top-level Ontologie* zunächst einmal freizulegen. Das wird insbesondere im W3A-Fall unerlässlich, während der W3F-Fall eigentlich genau das repräsentiert, worauf Grubers Ontologiekonzept als "treaty" hinausläuft, indem hier alles beliebig repräsentierbar und im kollaborativen Konsens festlegbar ist. In diesem Fall verkörpert das *Ontology Engineering* reine Konstruktionsakte. Insgesamt aber, insbesondere was die *Top-level Ontologie* betrifft, bilden Ontologien jedoch insofern keine beliebig definierbaren rein *sozialen* Konstrukte, als sie zunächst einmal den *fundamentalen Strukturen der Realität* zu entsprechen haben. Das ist für alle W1A-, W2A-, W3A- sowie W4A-Ontologien verpflichtend, während gewiss auch alle anderen Weltmodelle als Subtypen fundamentale Strukturen aufweisen, die oftmals lediglich Modifikationen der genannten Ontologietypen repräsentieren.

Allein dem W3-Ontologietypus lassen sich die Ontologieverständnisse Studers et al. (1998) bzw. Grubers (2004) in einem je abgewandelten Popperschen Verständnis zuordnen, wenn diese auf *soziale* Konstruktionsakte abstellen. Dann gilt mit Studer et al. (1998) in der Tradition Grubers (1993): »An ontology is a formal, explicit specification of a *shared* conceptualisation«. ²⁴⁷⁶ Genauso gilt hier Grubers (2004: 5) erweitertes Ontologieverständnis, das als "*treaty*" im Sinne *praxiskollaborativer Überzeugungen* (beliefs) auf ein "social agreement" abstellt. Dessen Teilung ist bei Gruber (2004) wiederum durch ein wie auch immer geartetes "common motive" bedingt. Mit Uschold/Grüninger (1996) geht es um ein *intersubjektiv* geteiltes Verständnis der realen Welt, das mit Akkermans (2008: 11) nicht vom gemeinschaftlichen *Kontext* separierbar ist, in dem es entwickelt wird. ²⁴⁷⁷ Allerdings handelt es sich in allen Fällen nicht um ein *metaphysisches* Ontologieverständnis, sondern um ein linguistisches. Das läuft also im Sinne von Uschold/Grüninger

(TLO) verzichten zu können, indem ein *impliziter Konsens* zwischen einer Vielzahl von Ontologien (bzw. Ontologen) durch automatische Analyse von Häufigkeitsmerkmalen in Klassenbildungen und Relationen realisiert wird. Ein solches Vorgehen kann im WWW-Kontext durchaus sinnvoll und hinreichend erscheinen. Allerdings löst es keinesfalls das Problem der SWT-basierten *Smart Factory*, bei der Aspekte wie Stabilität und Präzision einen solchen Ansatz inopportun machen.

²⁴⁷⁵ Vgl. hierzu auch B. Smith (2003a).

²⁴⁷⁶ Vgl. Studer et al. (1998: 184), ohne Hvh. des Orig.; Hvh. des Verf.

²⁴⁷⁷ Die Tatsache, dass die Ontologien der Informatik zuweilen durch einen sozialen Kontext geprägt sind, markiert gerade das zentrale Problem; Ontologien sind deshalb von diesem sozialen Kontext konsequent zu lösen und im Rekurs auf die Top-level Ontologie wie auf objektive wissenschaftliche Ontologien so weit wie möglich *universalistisch* zu gestalten. Bei wissenschaftlichen W1- resp. W4-Ontologien lässt sich zwar auch dieser Kontext mit Verweis auf Pkt. 5.1 im Sinne von Quines wissenschaftlichen Theorien unterstellen, doch ist er bei allgemein akzeptierten, wissenschaftlich objektiven Schlüsseltheorien unbedeutend. Das gilt so lange, wie methodologisch allgemein akzeptierte Vorgehensweisen, insbesondere die auf Falsifikation angelegte Hypothesenbildung im Sinne des Kritischen Rationalismus Anwendung finden. Bei subjektiven W2-Ontologien ist diese kontextuelle Natur ebenfalls nicht von zwingender Relevanz, allenfalls in sozialpsychologischer Hinsicht.

(1996) darauf hinaus, ein fundamentales reales Weltverständnis im Konsens festzulegen, ohne dass diesem eine umfassende metaphysische Analyse und Klärung der fundamentalen Strukturen der Welt, insbesondere der Realität, zugrundeliegt. Für ein *universales* Ontologieverständnis, auf das gleichzeitig die *Scientific Ontology* wie technologische und praktische Ontologien im TLO-Sinne referenzieren können, wird das auf diesem Wege kaum gelingen können. Denn die Interdependenz realer Welten bei Popper zeigt, wie umfassend die Aspekte sind, die es für ein solch integriertes Ontologieverständnis zu klären gilt. All die genannten Ansätze stehen in einer Denktradition, die Mikas (2007) Rede von "*ontologies are us*" vielleicht am besten zum Ausdruck bringt. Für die Ontologiedebatte ist gerade die Assoziation der *linguistischen OE-Tradition* mit Mikas (2007) Rede von "*ontologies are us*" überaus aufschlussreich. Denn wenn jede "*shared conceptualisation*", jedes "*social agreement*" bzw. jeder "*treaty*" im Zeichen von Mikas (2007) Rede des "*ontologies are us*" steht, wird fassbar, dass es gerade dieser *linguistische OE-Ansatzpunkt* mit seinen frei definierbaren Konzeptualisierungen bzw. Konzepten ist, der das ontologische Kernproblem der Inkommensurabilität bedingt.

Es ist dieser *linguistische OE-Ansatzpunkt*, der das Inkommensurabilitätsproblem erst in seiner ganzen Dimension induziert. Da Mikas (2007) "*ontologies are us*" einer *vollumfänglichen semantischen Systemintegration* diametral entgegensteht, sind die oben erwähnten, primär auf die Technopraxis zielenden Ontologiekonzeptionen offensichtlich zu korrigieren. Ihre Korrektur ist möglich, indem sie als W3-Ontologien der CYPO-Ontologiearchitektur konzipiert werden. Dazu haben sie zum einen die Interdependenz zu den anderen drei Ontologietypen zu berücksichtigen. Zum anderen haben sie damit verbunden mit ihnen zusammen auf eine einheitlich vorausgesetzte realistische *Top-level Ontologie* zu referenzieren. Diese klärt als metaphysische Ontologie nicht nur die fundamentalen Strukturen der Diskurswelten an sich, sondern insbesondere auch die fundamentalen Strukturen der Realität. Erst in dieser Gesamtbetrachtung lässt sich ein CPSS-adäquates Realitätsverständnis konzipieren, das sich auf Basis linguistischer Ontologien gewiss nicht in der erforderlichen Breite und Tiefe des CPST-Hyperspace erörtern lässt.

Im Anschluss an Poppers *Drei-Welten-Lehre* erscheint es mit Blick auf methodologische Erwägungen angezeigt, eine *vierte Welt*, die Welt 4 als gesonderte *soziale Welt* abzugrenzen, womit sich insgesamt CYPO FOX konstituiert. Dieses Erfordernis resultiert aus dem Popperschen Werk selbst: Wie im IMKO OCF als *integrierter metaphysischer Wissensontologie* werden schon bei Popper die Welttypen in einem *dualistischen* Sinne verstanden. Einerseits repräsentieren sie bei ihm metaphysische Welten, andererseits aber auch Wissenswelten. Allerdings beschränkt sich Popper dabei auf die Unterscheidung von subjektivem (W2) und objektivem Wissen (W3), die wiederum unmittelbar im Zeichen der philosophischen Epistemologie stehen. Poppers *Drei-Welten-Lehre* ist allein philosophischen resp. wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkten wie menschlichen Agenten verpflichtet, während CYPO FOX dies zwar inkorporiert, jedoch primär auf die damit korres-

pondierenden Zwecke der Informatik abstellt. Bei ihr geht es also um eine umfassende Eröffnung einer *metaphysischen Wissensontologie*, die unmittelbar allen postklassischen CM- und AI-Zwecken genügen muss. Dazu werden die Popperschen Welten nicht nur auf die Grundlage der universalen CYPO-Ontologiedefinition gestellt, die Welt 1 und Welt 4 im Zeichen von CPS als evolvierende Welt konzipiert, die Welt 2 im Sinne von Agentensystemen bzw. intelligenten Automaten für alle Klassen universalisiert, die Welt 3 in ihrer Uminterpretation als regelbezogene *Technopraxis* unmittelbar auf die in Pkt. 4.6 behandelte *Ontologie der Artefakte* bezogen und schließlich weisen alle Popperschen Welten auf den CYPO-konformen TLO-Ansatz als integrierenden Rahmen. Somit wird gerade mit Blick auf die *metaphysische Ontologie* wie *Wissensontologie* deutlich, dass eine *vierte Welt* gesondert abzugrenzen ist.

Diese Welt 4 steht genauso wie alle CYPO-Welten immer im gleichzeitigen Zusammenspiel von wissenschaftlicher, technologischer und praktischer Ontologie. Bei wissenschaftlichen Ontologien läuft die Welt 4 auf die *Semantic E-Science* hinaus; bei praktischen Ontologien hingegen etwa auf die Auswertung und direkte praktische Nutzbarmachung großer Mengen empirisch-sozioökonomischer Daten.²⁴⁷⁸ Demgegenüber fällt die gesamte CPS-Thematik in den Bereich der technologischen Ontologien, indem solche Systeme gerade auch im Kontext von *Scientific Ontologies* stehen, nicht zuletzt was ihre physische Sphäre betrifft. Zudem bildet sie einen typischen Fall von Simons (1969) *Sciences of the Artificial*. In diesem technologischen CPS-Kontext dreht sich die *Welt 4* speziell um die Interaktion in *Multiagentensystemen* (MAS), die schließlich auf *Cyber-physische Soziosysteme* (CPSS) und *Artificial Societies* (AS) hinauslaufen.²⁴⁷⁹ Dabei kann es um eine ganze Reihe von Aspekten gehen; generell sind diese in den für das *Smart Enterprise* elementaren *Smart Communities* und in *Ubiquitous Intelligence* zu sehen,²⁴⁸⁰ speziell etwa im *Social Sensing* bzw. *Crowd-Sensing*.²⁴⁸¹ In der Analyse von CPSS als *empirisch zugänglichen* Soziosystemen handelt es sich um Prozesse, die sich zwar durch W3-Artefakte genauso wie durch W1- bzw. W2-Momente bestimmt zeigen, jedoch sowohl in metaphysischer, methodologischer als auch in wissensontologischer Hinsicht nicht diesen drei Popperschen Welten entsprechen. Dass indessen die Poppersche Weltendifferenzierung insgesamt die richtige Orientierung vorgibt, zeigt sich auch daran, dass Smirnov et al. (2015) auch gerade in CPSS-Kontexten explizit zwischen *subjektivem, kontextbezogenem Wissen* einerseits und *objektiviertem, emergentem Wissen* andererseits differenzieren. Das kommt dem Unterschied von subjektivistischem W2- und konsensbasiertem W3-Wissen gleich, lässt jedoch W4-Wissen als *Scientific Knowledge* außer Betracht. Entsprechend bilden CPSS allein in dieser *empirischen*, nicht in technologischer (W3M) Hinsicht einen W4-Fall

²⁴⁷⁸ Hierzu gehört etwa die soziale Netzwerkanalyse im *Social Web*, vgl. etwa Curran/Curran (2014).

²⁴⁷⁹ Vgl. hierzu F.-Y. Wang (2010), Z. Liu/Yang et al. (2011), Xia/Ma (2011), Frazzon et al. (2013), Smirnov et al. (2014, 2015), Teslya et al. (2014) sowie S. Wang/D. Wang et al. (2014).

²⁴⁸⁰ Vgl. etwa Xia/Ma (2011).

²⁴⁸¹ Vgl. hierzu etwa S. Wang/D. Wang et al. (2014).

(W4M). MAS, CPSS wie AS weisen dabei unmittelbar auf die *Komplexitätsforschung*, die als *CPS-Paradigma* (CAS) wie auch grundsätzlich als *Basisparadigma der Informatik* zu erachten ist. Das gilt nicht zuletzt insofern, als es sich bei CPS wie bei CPSS im Zeichen von Leibnizens Automatenuniversum um *selbstorganisatorische Systeme* handelt.²⁴⁸²

CPSS besitzen auch im *empirischen* W4-Fall eine überaus große Relevanz für die Informatik, nämlich einmal im Hinblick auf *Social Computing* bzw. *Social Intelligence*,²⁴⁸³ zum anderen im Sinne des CPS-basierten U-PLM gerade auch mit Blick auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme*. Das wird etwa mit F.-Y. Wang (2010) deutlich, wenn hier das *Smart Enterprise* im CPSS-Sinne konzipiert wird. Damit zeigt sich wiederum ein weiteres Argument für die hier vertretene Position, wonach jede *Smart Enterprise Integration* (SEI) im Zeichen der *Ubiquitous Intelligence* auf eine TLO-basierte *cyber-physische Integration* hinauslaufen muss. Dabei stellt sich dieses Erfordernis in gleich dreifacher Hinsicht: (i) mit Blick auf die IoX-Basis des *Smart Enterprise*, weil das *Internet of Things* allein im Sinne einer *CPSS-adäquaten* Ontologiekonzeption adressierbar ist (PEID-basierte *Smart Products* usw.); (ii) im Sinne von F.-Y. Wangs (2010) Verständnis des *Smart Enterprise* als CPSS, sowie (iii) der darin inkorporierten *Smart Factory* als CPPS. Allerdings ist dabei über F.-Y. Wang (2010) wesentlich hinauszugehen: Denn bei ihm wird in keiner Weise die *ontologische Basis* eines solch komplexen Integrationsszenarios thematisiert, wenngleich in ihr der Kerngedanke zu sehen ist. Das gilt insbesondere für die *Top-level Ontologie*, die mitsamt ihrer in Pkt. 3.4 genannten vielfältigen Funktionen den Dreh- und Angelpunkt für IoX-adäquate konzeptuelle wie semantische Weltmodelle bildet. Wenngleich auch F.-Y. Wang (2010) in abstrakter Weise Poppers *Drei-Welten-Lehre* samt der dadurch bedingten Realitätsauffassung auf den CPS-Zusammenhang, speziell auf *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) projiziert, werden gerade die zentralen Aspekte übersehen. F.-Y. Wang (2010) abstrahiert dabei nicht nur komplett vom Ontologiegedanken wie speziell von der *Top-level Ontologie*, sondern er grenzt auch nicht die speziell für CPSS-Zwecke erforderliche *vierte Welt* ab. Dass gerade auch bei CPSS nicht nur die Ontologie an sich, sondern speziell auch die *Top-level Ontologie* zentralen Stellenwert besitzt, erkennen demgegenüber Smirnov et al. (2014) sowie Teslya et al. (2014), indem hier für alle CPSS-Sachverhalte die strikte TLO-Referenz gilt.

Entsprechend wird mit Smirnov et al. (2014) sowie Teslya et al. (2014) deutlich, dass die *Top-level Ontologie* im Zeichen einer *integrierten Ontologiekonzeption* auch sämtliche CPSS-Erfordernisse mit abdecken können muss. Und insofern ist evident: wenn im CAS-Sinne von adaptiven CPS die Rede ist, bewegen sich diese zwingend in der Welt 1 als *ontisch-physischer Sphäre* und der Welt 2 als *ontologiestützter Perzeptionssphäre*, die erst in ihrem Zusammenspiel im Sinne von *Subjekt-Superjekten* für CPS als sensorbasierte *situations- bzw. kontextsensitive Systeme* konstituierend sind. Hier sind neben der eigentli-

²⁴⁸² Vgl. etwa Smirnov et al. (2015).

²⁴⁸³ Vgl. hierzu F.-Y. Wang (2007) sowie F.-Y. Wang/Carley et al. (2007).

chen W2-Ontologie auch die bereits verschiedentlich erwähnten SAW- bzw. CAW-Ontologien mitsamt ihres TLO-Rekurses von elementarer Relevanz.²⁴⁸⁴ Dabei ist mit CPPS der *Smart Factory* auch die Welt 3 vorauszusetzen. Schließlich kommt mit empirischen CPSS-Aspekten noch die Welt 4 hinzu. Wenn CPPS und CPSS dabei im Zeichen des *integrierten Smart Enterprise* verschmelzen,²⁴⁸⁵ wird – wie bei CPS generell – die umfassende *Interdependenz der vier Welten* offensichtlich. Ihr hat die *Top-level Ontologie* als oberste Referenzebene zu entsprechen und sie muss dabei allen *vier Welten* jeweils auch im Einzelnen gerecht werden. Eine solch integrative Funktion ist allein im Sinne einer einheitlich voraussetzbaren *universalen Ontologie* möglich, die wiederum eine metaphysische Fundierung voraussetzt. – Mit dem entscheidenden Kriterium der *CPSS-Adäquanz* haben die konkurrierenden Ontologiekonzepte notwendig auch CPPS wie CPLS als spezifische bzw. erweiterte CPS-Kontexte mit einzubeziehen. Daraus folgt, dass eine *CPSS-adäquate Ontologiekonzeption* letztlich allein auf eine integrierte Ontologiekonzeption wie CYPO FOX als *integrierter metaphysischer Wissensontologie* des IMKO OCF hinauslaufen kann. Indem jedes *universale Ontologieverständnis* der Informatik mit ihrem IoX- bzw. CPST-Hyperspace *CPSS-adäquat* zu sein hat, läuft die Lösung ihrer Ontologieproblematik offenbar auf das hinaus, was hier mit der TLO-referenzierenden CYPO FOX umrissen wird.

Im Ganzen betrachtet wird deutlich, dass sich die Ausführungen Poppers zwar sinnvoll auf die Grundfragen der Wissensontologie der Informatik beziehen lassen, doch an sich nicht für die Ontologie der Informatik ausreichend sind. Entsprechend sind die Positionen Poppers im Zeichen der CYPO-Ontologiekonzeption zu ergänzen bzw. modifizieren, damit sie ein faktisches Fundament für die Ontologie der Informatik bilden können, ohne dass diese dabei in sich widersprüchlich werden: Beispielsweise bleibt im Zuge der Universalisierung der Welt 2 Poppers subjektivistisches Moment erhalten; W2-Wissen ist nach wie vor subjektives Wissen im Sinne Poppers – oder *Überzeugungen* (belief) im Agentensinne der AI-Praxis. Ferner ergibt sich die Notwendigkeit, die Welt 2 im Sinne epistemologischer Ontologien zu verstehen bereits aus Poppers Abgrenzung des subjektiven Wissens. Genauso erscheint die universale Auslegung aller W3-Artefakte im Regelsinne, nämlich als *Regulae der Technopraxis* nicht widersprüchlich zu Popper. Indem Popper selbst die Bedeutung des technologischen bzw. praktischen Problemlösungswissens stetig betont, erscheint auch diese Modifikation mit seinem Gesamtwerk vereinbar. Tatsächlich werden damit seine mannigfaltigen W3-Beispiele auf einen W3-Kern gebracht, indem sich jede Technologie und jeder Praxisvollzug, die Ingenieurspraxis, die Wissenschaftspraxis wie die Künste immer im Zeichen des *Processing* im Kantischen (1800) Sinne als *System von Regeln* verstehen lässt. Die Regeln bilden insofern den W3-Kern, indem die Welt 3 vor allem eine *Welt artifizierlicher Transformation* darstellt. In diesem Transformationssinne gibt es drei grundsätzliche Klassen von W3-Artefakten: Input- bzw. Eingangsartefakte, (Roh-

²⁴⁸⁴ Vgl. hierzu etwa Smirnov et al. (2014).

²⁴⁸⁵ Vgl. etwa Frazzon et al. (2013).

daten, Kompetenzen, Pläne usf.), Throughput- bzw. Verfahrensartefakte (Methoden, Techniken, Routinen usf.) sowie Output- bzw. Ausgangsartefakte (Wissen, formale Ontologien, Systeme, Produkte usf.).

Indem die Welt 3 als *transformierende Welt der Artefakte* eine *Technopraxis* darstellt, wird deutlich, dass es bei W3-Ontologien um technologische bzw. praktische Ontologien geht. Demgegenüber handelt es sich bei der Welt 4 um *Scientific Ontologies*, die W3-Artefakte mit einbeziehen wenn es gilt, soziales Geschehen unter empirischen Gesichtspunkten sozialwissenschaftlicher Praxis zu untersuchen. Dabei konstituiert sich diese sozio-materiale Welt zwar aus den Artefakten der Welt 3, beschränkt sich jedoch nicht auf diese. Unterdessen zeigt sich die Welt 3 erst insofern entscheidend, als diese im Wechselspiel mit der Interaktion der W2-Agenten steht. Alle drei Popperschen Welten, also die Welt 2 und Welt 3 zusammen mit der Welt 1 als physische Natur kulminieren schließlich im Sinne der emergentistischen Ontologiekonzeption in der Welt 4. Im Zeichen der Interdependenz und Interaktion der drei anderen Welten handelt es sich bei ihr entsprechend um die komplexeste Weltsphäre. Wenn die W3-Sphäre selbst keine empirische Wissenschaftssphäre darstellt, sondern dem Praxisvollzug bzw. der Technologie von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* entspricht, stellt sich schließlich die Zuordnungsfrage von *Artificial Societies*, wenn es sich bei ihnen um *soziale Welten* handelt. Ihre Zuordnung ist insofern variabel, indem sie als *technologische* Konstrukte in die Welt 3 (W3M) gehören, während sie unter *empirischen bzw. wissenschaftlichen* Gesichtspunkten der Welt 4 (W4M) zuzurechnen sind. Entscheidend ist also, ob sie Gegenstand *technologischer Ontologien* oder von *Scientific Ontologies* sind.

Die zur Abgrenzung der W3- und W4-Welt relevante Differenzierung von Wissenschaft und Technologie wird nicht nur durch Bunge, sondern auch durch Popper selbst vorgenommen. Insofern ist es konsequent, Poppers Wissensontologie im Sinne der Informatik in die ganze Breite von Poppers (1994c) *Logik der Forschung* zu rücken. Dann wird deutlich, dass die Welt 1 als empirisch zugängliche Wissenschaftswelt auf *Scientific Ontologies* hinausläuft, die mit Poppers Methodologie vereinbar sind. Im Sinne von Poppers *Logik der Forschung* bauen Welt 1 und Welt 4 als *empirisch relevante Welten* auf dem gleichen methodologischen Fundament auf;²⁴⁸⁶ entsprechend können beide Ontologietypen konkretisiert werden als W1A- bzw. W4A-Ontologien, wenn es um gesichertes objektives Wissen der aktuellen Welt geht (Standardmodus), um W1P- bzw. W4P-Ontologien, wenn es um mögliche Sachverhalte geht. Unter diesen Modus (W1P) fällt etwa die *Viele-Welten-Interpretation der Quantenmechanik* Everetts (1957); sie ist – etwa entgegen der Auffassung Bunges – ontologisch allein schon deshalb zu berücksichtigen,²⁴⁸⁷ als im Zuge moderner,

²⁴⁸⁶ Dass dennoch in *ontologischer* Hinsicht zwischen ihnen zu differenzieren ist, wird etwa mit Searle (2005) deutlich, wenn hier eine unterschiedliche W1- bzw. W4-bezogene Semantik untermauert wird.

²⁴⁸⁷ Mit Verweis auf Pkt. 4.1 unterscheiden sich die Metaphysikauffassungen zwischen Bunge und Whitehead dahingehend, dass es bei letzterem im Zuge eines Wechselspiels gerade auch um die metaphysische Fundierung der Wissenschaften geht, nicht allein – wie bei Bunge – um eine allgemeinste Theorie.

im Zeichen der Digitalen Physik stehender Interpretationen der Quantentheorie auch auf diese zurückgegriffen wird.²⁴⁸⁸ Demgegenüber geht es um W1L- bzw. W4L-Ontologien, wenn das objektive wissenschaftliche Wissen als Alltagswissen in linguistischer Repräsentation vereinfachend von aktuellen wissenschaftlichen Ontologien abgeleitet wird. Es geht also um eine andere Art von *Common Sense-Ontologien*, als diese unter dem linguistischen OE-Ansatzpunkt entwickelt werden. Mit diesem realistischen OE-Ansatzpunkt ist gewährleistet, dass sie nicht im Widerspruch zu den eigentlich maßgeblichen *Scientific Ontologies* in ihrer Eigenschaft als Referenzontologien stehen. Indessen hat die 3D-Alltagssprache an sich keinen Platz in CYPO FOX, während sie im HCI-Sinne von Relevanz ist. Entsprechend ist sie über semantische Konverter abzufangen und ggf. in die 4D-Normalsprache zu transformieren, soweit dies erforderlich ist. Dazu reichen semantische Netze aus, auf denen solche linguistischen "Ontologien" *per se* stehen.

Auch im Hinblick auf *komplexe Systeme* lassen sich W1- und W4-Ontologien als *Scientific Ontologies* analog behandeln, wenn etwa mit Hayek (1972: 12 ff., 1975: 13), Myrdal (1973: 139) oder implizit mit C.F. von Weizsäcker (1969: 503) die sozioökonomische W4-Handlungssphäre als weitaus komplexer zu erachten ist als die natürliche W1-Sphäre. Während bereits verschiedentlich die Ansicht vertreten wird, dass das menschliche Gehirn eine höhere Komplexität aufweise als die Galaxis,²⁴⁸⁹ erklärt sich die höhere Komplexität der Welt 4 im evolutionären Zusammenhang nicht zuletzt aus der Lernfähigkeit und heterogenen Disposition der jeweiligen Agenten, d.h. aus der Immanenz der Welt 2 in der Welt 4. Mit anderen Worten zeigt sich die W4-Sphäre maßgeblich durch die subjektivistische W2-Sphäre bestimmt. Demgegenüber läuft die Welt 3 auch mit Blick auf den Komplexitätsaspekt auf andere Wissensontologien hinaus, nämlich auf technologische oder praktische Ontologien, die etwa im Hinblick auf die Steuerung komplexer Systeme bzw. mit H.A. Simon (2000) im Zeichen des Systemdesigns der Komplexitätsreduktion stehen.

Indem auch für Popper außer Frage steht, dass für die soziale Welt Artefakte der Welt 3 bestimmend sind, die Welt 3 aber selbst Technopraxis ist, muss für ihre empirische Untersuchung und damit für entsprechende *Scientific Ontologies* eine weitere Welt, die Welt 4 abgegrenzt werden. Denn diese ist im Hinblick auf die Wissensontologie gänzlich anders geartet als die drei anderen Welten. Vor allem baut sie maßgeblich auf der Welt 3 auf, was für die Welt 1 nicht gilt. Analog dazu ist für sie Poppers *Situationslogik* bestimmend, was für die Welt 1 in diesem Sinne auch nicht gilt. Somit ergeben sich vier konsistent abgegrenzte interdependente *metaphysische Welten*, auf die sich vier ebenso konsistent abgegrenzte *Wissenswelten* beziehen. Alle vier Welten weisen in metaphysischer, epistemologischer wie wissenstheoretischer Hinsicht Unterschiede auf, die ihre Abgrenzung erforderlich machen. Dennoch sind sie interdependent, wie mit Popper aufgezeigt. In dieser Interdependenz sind sie indessen auch zu integrieren, was bei Popper allerdings nicht vollzogen

²⁴⁸⁸ Vgl. etwa D. Deutsch (1985, 1997).

²⁴⁸⁹ Vgl. etwa Pribram (1996).

wird, indem er sich letztlich auf die Kosmologie Whiteheads stützt. Dieser letztlich elementare Schritt ist mit einer CYPO-konformen *Top-level Ontologie* zu erbringen.

Mit CYPO *FOX* lassen sich eine Reihe von Unklarheiten beseitigen und Ergänzungen vornehmen, was mit Blick auf die Kontroversen etwa bei Popper (1994d) oder Bunge (1985b, 1998a) sinnvoll erscheinen muss: So sind zwar mit Popper (1994d) alle Erfahrungswissenschaften mit prinzipiell der gleichen wissenschaftlichen Methodologie zugänglich,²⁴⁹⁰ doch werden durch ihn und andere Kritische Rationalisten auch gewisse Unterschiede eingeräumt. Das gilt etwa für Poppers *Situationslogik*, die bereits aufzeigt, dass natürliche Prozesse doch im Einzelnen anders bestimmt sind als soziale Prozesse, bei denen diese Situationslogik im Sinne einer *kontextuellen Rationalität* Relevanz erfährt. Es geht also um *Scientific Ontologies*, die die durch den *Kritischen Rationalismus* umfassend thematisierte *Problematik der Situationslogik* aufgreifen.²⁴⁹¹ Analoges gilt für in diesem Sinne konzipierte artifizielle Prozesse im MAS-Sinne. Damit liegt der Unterschied im Leibniz-Whiteheadschen Zeichen in der Perzeption vs. Kognition bzw. in der Abgrenzung von einfachen Automaten und Agenten. In Bezug auf die Situationslogik ist die Differenzierung des nomothetischen vs. historiomischen Theorietypus besonders entscheidend, auch wenn moderne naturwissenschaftliche Theorien im Zeichen der Physik der Evolutionsprozesse genauso auf letztere weisen. Darüber hinaus sollten nicht wissenschaftliche und technologische Aspekte in einer Welt vermengt werden, womit der Welt 3 der technologische Gesichtspunkt, unter anderem auch Bunes *Soziotechnologie* vorbehalten ist, während der erfahrungswissenschaftliche Gesichtspunkt der sozialen Welt im Sinne der *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz in der gesonderten Welt 4 zum Ausdruck gelangt. Diese Abgrenzung erfolgt unter Maßgabe der Methodologie des Kritischen Rationalismus, die nicht nur Wissenschaften von Technologien separiert, sondern damit zusammenhängend auch für W3- und W4-Ontologien disparate Wahrmacher impliziert. Insofern sind *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz unter metaphysischen, epistemologischen wie methodologischen Gesichtspunkten auch nicht mit jenen bei B. Smith kompatibel. Letztere sind insgesamt abzulehnen, indem sie den Standards der eigentlichen Wissenschaftspraxis nicht gerecht werden. Mit Blick auf Bunge erscheint die Abgrenzung bei CYPO *FOX* gleichermaßen sinnvoll; auch wenn Bunge bereits die Welt 3 ablehnt, lassen sich mit einer solchen *Vier-Welten-Systematik* Unklarheiten vermeiden, die sich nicht zuletzt durch seinen Materialismus bedingt zeigen: So bezieht Bunge (1985b: 222 ff.) einerseits den Artefaktbegriff in einer extrem weiten Auslegung explizit auch auf soziale Welten, erklärt andererseits jedoch artifizielle Prozesse allein zum Gegenstand der Technologie. Zudem besteht eine Inkonsistenz, wenn Bunge (1998a) soziale und artifizielle Prozesse differenziert, während soziale Prozesse bei Bunge (1985b: 222 ff.) wiederum inso-

²⁴⁹⁰ Vgl. zur *Methodologie* Popper (1994c).

²⁴⁹¹ Vgl. Albert (2003), insbes. S. 26 ff.

fern unter zweite fallen als für ihn gilt: »In fact, according to our definition the entire economy, policy and culture of any society are artificial«.²⁴⁹²

Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist dieser W4-Ontologietypus genauso von essentieller Relevanz wie alle drei anderen Typen. Mit Blick auf das in Pkt. 2.5 erörterte PPR-Framework ist er von wesentlichem Belang, was mit der Kritik bestehender EO-Ansätze in Pkt. 2.7 zusammenhängt. In Ergänzung der Kritik in Pkt. 3.2.3 zeigt es sich insbesondere problematisch, EO-Ansätze auf einem *Common Sense-Model* aufbauen lassen zu wollen, wenn es um einen völlig autonomen Vollzug sicherheitskritischer Prozesse komplexer Systeme geht. Konkret setzt etwa die TOVE-EO auf ein solches *Common Sense-Ontologieverständnis*,²⁴⁹³ das für CPSS/SEA-Kontexte, insbesondere auch mit Blick auf die CPPS der *Smart Factory* kaum adäquat ist. Vielmehr sollte auch gerade im EO-Kontext das im Popperschen Sinne superiore *objektive Wissen* immer dann zum Einsatz gelangen, wenn es möglich, sinnvoll und praktikabel erscheint. Demgegenüber stellt der Einsatz von *Common Sense-Ontologien* die schlechteste aller Optionen dar, weil *Common Sense* für gewöhnlich nicht systematisch an sicherheitskritischen Aspekten und entsprechenden Stabilitätsbelangen orientiert ist. Auch lassen sich auf dieser Basis kaum wirklich intelligente Systeme in dem Sinne konzipieren, dass sie tatsächlich die verschiedensten Ontologietypen und -arten kombinieren. Auch das ist auf *Common Sense-Basis* unmöglich, während darüber hinaus zu kritisieren ist, dass sie in den seltensten Fällen eine systematische TLO-Referenz aufweisen bzw. auf *realistischer* TLO-Grundlage konzipiert sind. Vielmehr weist der *Common Sense* in eine andere Richtung, nämlich in jene der problematischen linguistischen Ontologie, die das Inkommensurabilitätsproblem maßgeblich verschärfen.²⁴⁹⁴

Im Rekurs auf CYPO *FOX* können EO-Ansätze auf Basis des PPRLT-Frameworks parallel mit der W1-Ontologie auf physisch-relevante *wissenschaftliche* CPS-Aspekte, mit der W2-Ontologie – etwa im MAS-Zusammenhang – im Sinne *epistemischer Ontologie* auf *subjektives* Wissen, mit der W3-Ontologie auf *technologisches* Wissen, und schließlich mit der W4-Ontologie auf objektives *sozialwissenschaftliches* Wissen zurückgreifen. Sie sind dabei über einen CYPO-konformen ereigniszentrischen TLO-Ansatz als zentraler Referenzebene zu integrieren. Auf ihrer Basis lassen sich Systeme konzipieren, die sich mit Fug und Recht als *superintelligente Systeme* verstehen lassen, indem sie in Millisekunden Entscheidungen vorzubereiten bzw. zu treffen vermögen, die über das Entscheidungsvermögen menschlicher Entscheider um ein Vielfaches hinausgehen. Mit dieser Architektur weist eine CYPO-konforme EO-Konzeption gänzlich andere Potentiale auf als etwa die TOVE-EO in ihrem *Monowelten-Common Sense*. Analoges gilt für alle anderen EO-Ansätze. Denn diese bilden keine Mehrweltenontologien, sind mithin nicht CPSS-adäquat,

²⁴⁹² Vgl. Bunge (1985b: 222).

²⁴⁹³ Vgl. hierzu etwa Fox (1992).

²⁴⁹⁴ Das gilt insofern, als linguistische 3D-Ontologien nicht nur im Sinne von Mikas (2007) "*ontologies are us*" auf paradigmatische Vielfalt angelegt sind, sondern darüber hinaus auch im Widerspruch zu den modernen Naturwissenschaften stehen, wie es etwa an der *Theorie dissipativer Systeme* deutlich wird.

und auch nicht im PLM-Sinne transdisziplinär kombinierbar. Sie zeigen sich auch nicht systematisch von einer TLO-Konzeption ausgehend entwickelt, womit sie der *Smart Enterprise Integration* (SEI) nicht gerecht werden können.

Mit der W3-Ontologie sind betriebswirtschaftliche Sachverhalte im Sinne Bunges *Technologie*; mit der W4-Ontologie stehen sie hingegen im *wissenschaftlichen* Zusammenhang, der gerade zur ontologischen Fundierung komplexer Systeme überaus geeignet erscheinen muss. Tatsächlich weist dies auf alte Ideen zurück, die mehr oder weniger in Vergessenheit geraten sind: nämlich auf eine Wissenschaftsprogrammatik, wie sie insbesondere durch E. Gutenberg (1957a, 1957b) programmatisch konzipiert, und mit verschiedensten nomothetischen Theorien, etwa Gutenbergs (1979) Produktionstheorie, auch umgesetzt wurde. Sachlogisch gründet die These vom Nutzen solcher theoriebasierter Ontologien auf der Idee, dass die Intelligenz im *Smart Enterprise* mitunter darauf gründen sollte, dass Sachverhalte in den Zusammenhang historischer Gesetzmäßigkeiten gestellt werden, um daraus entsprechende Schlüsse zu ziehen. Somit sollte es jenseits des veralteten nomothetischen Theorietypus bei Gutenberg gelten, jene Sachverhalte, die sich in kontextuell bedingte Gesetzmäßigkeiten bringen lassen, in Form des *historischen Theorietypus* mit Verweis auf die Argumente in Pkt. 3.2.3 in objektives Wissen zu transformieren.²⁴⁹⁵ Die Produktions- und Kostentheorie etwa bilden Bereiche, indem ein solch objektives Wissen etwa im Sinne eines U-PLM-basierten *Life Cycle Costing* (LCC) gerade für analytische Zwecke genutzt werden kann. Das gilt bspw. für Produktionsfunktionen genauso wie für Preis-/Absatzfunktionen, mit Blick auf Größendegressionseffekte (Economies of Scale) usf. Analoges gilt für empirisch messbares Konsumentenverhalten, womit sich solche W4-Ontologien auch in dieser Hinsicht nutzen lassen. Entsprechend erweisen sich W4-Ontologien etwa gegenüber W3L-Ontologien als superior, während mit der organisationspezifischen Natur betriebswirtschaftlicher Prozesse der besondere Stellenwert von W3-Ontologien außer Frage steht.

Nach Popper (1992b: 114 f.) folgt alles Handeln der *Situationslogik*, ist also situationsabhängig und demnach kontextuell verschieden, womit eine *kontextuelle Rationalität* gegeben ist,²⁴⁹⁶ die im Wechselspiel mit W3-Artefakten steht. Indem sich die Erfahrungswelt resp. der Objektbereich etwa der Ökonomik und damit die ökonomische Realität im Grunde ausschließlich durch das bestimmt zeigt, was unter die Welt 2, Welt 3 und Welt 4 fällt, wird der Irrtum *naturalistischer Ontologien* deutlich. Denn mit ihnen würde man subjektive Erwartungen, Ideen und Imagination, aber auch Märkte, Organisationen, Normen und Regeln als Institutionen, und schließlich semantische Information bzw. Wissen mitsamt ihrer komplexen Zusammenhänge auf die Welt 1 reduzieren wollen. Letztlich läuft nicht nur der Physikalismus oder Biologismus,²⁴⁹⁷ sondern auch das in Pkt. 5.1 behan-

²⁴⁹⁵ Vgl. zum *historischen Theorietypus* etwa Dopfer (1986).

²⁴⁹⁶ Vgl. hierzu auch Rescher (1988).

²⁴⁹⁷ Vgl. exemplarisch für verschiedene Formen des *Physikalismus* Carnap (1931a) bzw. Oppenheim/Putnam (1958); für den *Biologismus* etwa Skolimowski (1974), Mayr (1991: 33 ff., 2002) oder Riedl (2000).

delte und durch McCarthy (2000) favorisierte naturalistische Ontologieverständnis Quines darauf hinaus. Wenngleich die Welt 1 im emergentischen Sinne grundlegend ist, lässt sich die sozioökonomische Realität allein auf W4-Ebene verstehen. Somit zeigt sich mit Verweis auf Pkt. 6.2.7 die Notwendigkeit, den Emergenz- resp. Schichtengedanken ontologisch vorauszusetzen, wie es ihn zwar in der Ontologie der Philosophie seit langem gibt, jedoch kaum im Ontologieverständnis der Informatik. Dieses ist somit offenbar auch in der Hinsicht defekt, als es damit nicht nur im Zeichen einer *Mehrweltenontologie* zu stehen hat, sondern mit Pkt. 6.2.7 genauso in jenem einer *Mehrebenenontologie*, die *emergentistisch* ist. In diesem Sinne kann für die Informatik allein das *Transdisziplinaritätsmoment* wegweisend sein. Denn jede jenseits davon entwickelte Ontologiekonzeption verbaut systematisch den Weg zu *superintelligenten Systemen*, womit sie nicht zukunfts offen sind. In diesem Sinne ist Ontologie immer als *universale Ontologie* zu verstehen, die im Zeichen der *Einheit allen Wissens* wie der *Einheit der Erkenntnis* steht, was sich allein auf Basis einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* realisieren lässt. Eine Alternative zu einer solchen Mehrweltenontologie gibt es nicht; außer dem Festhalten an deutlich inferioren Ontologiearchitekturen, die jedoch noch in verschiedener anderer Hinsicht defekt sind.

Nicht nur menschliches Verhalten bzw. Handeln wird durch Institutionen bzw. soziale Handlungsmuster determiniert. Vielmehr gilt analoges für alle Klassen intelligenter Agenten, was insbesondere auch für CPS bzw. die kognitive Robotik von Relevanz ist. Dann wird deutlich, dass Poppers (1992b: 114 f.) *Situationslogik* resp. die *kontextuelle Rationalität*, die universal für alle Agentenklassen in W2-W3- bzw. W2-W4-Interaktion gilt, letztlich genau jenen Sachverhalten entsprechen, die im Zeichen der Situations- resp. Kontextwahrnehmung bei SAW- resp. CAW-Ontologien bei CPS und autonomer Robotik gegeben sind. In beiden Fällen können Ereignisse, Objekte usf. nicht nur im Zeichen von Partikularien, sondern auch von Universalien stehen. Dabei zielen *Scientific Ontologies* gerade auf letztere, während für technologische Ontologien beides gleichermaßen von Relevanz ist. Dass das Verhalten kognitiver Roboter kaum allein über die Welt 1 erklärbar ist, wird im Hinblick auf die Erklärung des Verhaltens menschlicher Akteure noch offensichtlicher. Denn dann käme das Ganze nicht über die soziobiologische Ebene hinaus. W2-Reflexionsprozesse blieben damit inhaltlich betrachtet ebenso außen vor wie der Umstand, dass alles Handeln in aller Regel maßgeblich durch Artefakte bestimmt wird.²⁴⁹⁸ Insofern Artefakte wie institutionelle Regeln im Vordergrund stehen, gehören wissenschaftliche Ontologien, die auf soziale Domänen zielen, in die W4-Sphäre und fallen damit unter den W4-Ontologietypus.

Nach dieser Darlegung der vier Ontologietypen von CYPO FOX stellt sich die ontologisch wesentliche Frage, inwiefern ihre Entitäten existieren bzw. real sind. Insbesondere mit Blick auf das integrierte Ontologieverständnis und die skizzierten Wechselwirkungen zwischen den Welten geht es damit um das *Realitätsverständnis* insgesamt, womit noch-

²⁴⁹⁸ Vgl. hierzu auch Illies/Meijers (2009).

mals die metaphysische Natur der Ontologie an sich deutlich wird. Poppers *Drei-Welten-Lehre* stellt nicht nur insgesamt eine metaphysische Position dar, sondern sie besitzt parallel zu Whitehead vor allem ein vollkommen anderes *Realitätsverständnis* als etwa die in Pkt. 5.3 behandelte Bunesche Metaphysik. Nicht umsonst greift Bunge gerade in dieser Sache die Whiteheadsche wie die Poppersche Position scharf an: Bunge (1981: 145 f.) streitet nicht nur die Realität von W3-Objekten ab, sondern zeigt sich in seiner materialistischen Denkart durch den Welt 3-Gedanken Poppers in einer Weise herausgefordert, dass er seiner Kritik nicht weniger als ein ganzes Kapitel widmet.²⁴⁹⁹ Indem Bunes Überlegungen *an sich* keinesfalls unbegründet sind, und die Bunesche Ontologie die Basis der BWW-TLO bildet, von der wiederum in den Reihen der Informatik umfassend Gebrauch gemacht wird, muss die Ontologiedebatte ihre Positionen offenbar genauso umfassend reflektieren wie die Poppersche Gegenposition, die in der Disziplin genauso bemüht wird.²⁵⁰⁰ Das gilt vor allem insofern, als es sich bei Bunge und Whitehead bzw. Popper um die grundlegenden Systeme der in Pkt. 4.1 diskutierten *wissenschaftlichen Metaphysik* handelt.

Indessen kann der *wissenschaftliche Realismus* Bunes (2006) mit seiner Reduktion auf Materie für die Ontologie der Informatik kaum wegweisend sein. Das wurde in ihren Reihen auch in verschiedener Hinsicht erkannt, wobei allerdings nicht jede Kritik an Bunge gerechtfertigt ist. Vor allem geht die bisherige Kritik an den eigentlich entscheidenden Fragen vorbei, indem sie weder vor dem Hintergrund der Whiteheadschen Alternative noch vor jenem der Belange der Automatentheorie bzw. der *Theorie komplexer Systeme* geführt wird. Darauf kommen wir in genereller Hinsicht in Pkt. 5.3 zurück, während an dieser Stelle die strittigen Positionen um die Welt 3 und den Realitätsstatus der Popperschen Welten zu thematisieren sind. Tatsächlich ist es neben der Unvereinbarkeit der Positionen Bunescher Substanz- und Whitehead-Popperscher Prozessmetaphysik vor allem die Frage des ontologischen Status der Welt 3, in der der schärfste Gegensatz zwischen den ontologischen Positionen Bunes und Poppers zu sehen ist. Dabei gilt für Popper: »Die meisten Materialisten, Physikalisten oder Reduktionisten behaupten, daß von diesen drei Welten nur Welt 1 wirklich existiert und daß sie deshalb autonom ist. Sie ersetzen Welt 2 durch Verhalten und Welt 3 insbesondere durch verbales Verhalten.«²⁵⁰¹ Diese durch Popper kritisierte Position entspricht in grundsätzlicher Hinsicht jener Bunes.

Im Unterschied zu Bunge besitzt die Welt 3 für Popper partielle *Autonomie*, und dieser autonome Teil der Welt 3 ist für Popper *real* in dem Sinne, als er mit der Welt 2 interagieren kann; daneben, mindestens via Welt 2 als Mittler auch mit der Welt 1.²⁵⁰² Poppers meta-ontologische Position besitzt in universaler Interpretation somit eine unmittelbare Bewandnis in der Frage, wie eine CPSS-adäquate Ontologie zu konzipieren ist. Denn mit ihr wird die Existenz dreier Welten angenommen, nämlich die Außenwelt als physikalische

²⁴⁹⁹ Vgl. Bunge (1981), hier speziell Ch. 8.

²⁵⁰⁰ Vgl. hierzu Fn. 2309 sowie Fn. 2310.

²⁵⁰¹ Vgl. Popper (1972b: 76).

²⁵⁰² Vgl. Popper (1972a: 159; 1982a: 121).

Welt materieller Objekte als Welt 1, die Welt des Agenten als Welt 2, sowie schließlich die Welt der Artefakte als Welt 3. Zu letzteren gehören auch jene objektiven Gedankeninhalte, die bereits in Freges (1918) logischen Untersuchungen ein eigenes "Reich" bilden,²⁵⁰³ da sie weder Entitäten der Außenwelt (W1) noch jene von Vorstellungen (W2) sind. Indessen ist diese Dreiteilung bei Frege anders akzentuiert als bei Popper, indem bei Frege die Logik mitsamt linguistischer Aspekte im Vordergrund steht; bei Popper die Epistemologie mitsamt der Natur des Wissens. Doch im Grunde handelt es sich bei beiden um dezidiert *metaphysische* Positionen, etwa wenn Frege (1918: 50) genauso wie später Popper behauptet, dass *objektive Gedanken* "zeitlos wahr" sind, "keines Trägers" bedürfen, "unabhängig davon wahr" sind, "ob irgend jemand" sie "für wahr hält", und sie entsprechend nicht erst "wahr" sind, seitdem sie "entdeckt" worden sind.

Wenn vor diesem Hintergrund zu fragen ist, was diese metaphysische Wahrheit konditioniert, gelangt man zwangsläufig zu Leibnizens (1714a) *Monadologie*, die als CPSS-adäquater Fixpunkt der Automatentheorie zu erachten ist. Denn in Leibnizens *Monadologie* wird die Welt zuerst als *System von Automaten* vergegenwärtigt. In dieser Tradition ist entsprechend auch Kants (1800) bzw. Feynmans (1967, 1982, 1986) *Regeluniversum* zu sehen. Gilt es diese metaphysische Weltsicht methodisch umsetzbar zu machen, führt Bunges (1973) Methodengesichtspunkt, Zuses (1982) *Computing Universe* oder Steinharts (1998) *Digital Metaphysics* konsequent zur *Automatentheorie*, in der vor dem Hintergrund der metaphysischen Überlegungen Leibnizens, Kants oder Feynmans im Zeichen der *Theorie komplexer Systeme* die einzig tatsächlich *universale* Theorie zu erachten ist. In der Tat besitzt sie Gültigkeit nicht nur für alle vier Welten von CYPO FOX, sondern auch für alle Submodi: für die aktuelle Welt genauso wie für mögliche oder auch für fiktive Welten. Entsprechend steht außer Frage, dass die *Top-level Ontologie* systematisch genau ihren Gesichtspunkten Rechnung zu tragen hat. Indessen wird dieses Postulat bisher durch keinen einzigen der zahlreichen TLO-Theorieanwörter berücksichtigt. Und insofern wird bereits an dieser Stelle klar: kein einziger von ihnen kann den eigentlich entscheidenden Anspruch, der an die *Top-level Ontologie* im Zeichen *universaler Ontologie* zu stellen ist, tatsächlich sachgerecht erfüllen.

Die Welt 3 ist in Bezug auf ihren ontologischen Status für Popper weitgehend autonom, obwohl Subjekte ständig auf sie einwirken und sie genauso auf diese einwirkt.²⁵⁰⁴ Durch diese Wechselwirkung wächst das objektive bzw. objektivierte Wissen oder sonstige Artefakte. In diesem Sinne setzt etwa der *wissenschaftstheoretische Strukturalismus* letztlich Poppers Welt 3 voraus; denn für diesen repräsentieren wissenschaftliche Theorien *abstrakte kulturelle Objekte*, für die als grundsätzliche metaphysische Annahme gilt: »Scientific theories are genidentical entities. They have a 'life' of their own, like persons or na-

²⁵⁰³ Vgl. Frege (1918: 50): »Die Gedanken sind weder Dinge der Außenwelt noch Vorstellungen. Ein drittes Reich muß anerkannt werden«.

²⁵⁰⁴ Vgl. Popper (1972a: 161).

tions do«.²⁵⁰⁵ Insgesamt zeigt sich gerade vor dem Hintergrund der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF wie der darauf aufbauenden Ontologiearchitektur CYPO FOX, die Unzweckmäßigkeit der Bungeschen Position. Sie ist unzweckmäßig, wengleich sie *an sich* nicht unhaltbar ist; vielmehr ist sie vor dem Hintergrund des Materialismus akzeptabel. Auch ist der Materialismus an sich nicht notwendig falsch; nur ist er mit Blick auf das tatsächliche Weltgeschehen genauso wie auf die Anforderungen der Informatik völlig einseitig und somit letztlich unzweckmäßig. Dabei geht er nicht nur an den Belangen der Realwissenschaften wie an realweltlichen Technologien, insbesondere auch an Cyber-physischen Systemen (CPS) gänzlich vorbei. Indem der Materialismus in moderner Form zumeist auf einen Naturalismus hinausläuft, verkennt er zudem den Umstand, dass vernunftbefähigte Subjekte nicht nur *als solche* der Natur immanent sind, sondern genauso in kausaler Hinsicht. Insofern ist es nicht nur insgesamt unzweckmäßig, sondern in kausaler Hinsicht auch unzulässig, die reale Existenz der Technopraxis abstreiten zu wollen. Natürlich ist dies auf Basis der Bungeschen Substanzmetaphysik weniger einsichtig als auf jener der Prozessmetaphysik, bei der nicht alles von allem im Substanzsinne isoliert ist, sondern alles mit allem im Prozesssinne relational vernetzt ist und interagiert.

Für Popper gilt, was durch Bunges Materialismus entschieden abgelehnt wird, nämlich, dass auch die Welt 3 (W3) *real* ist, wengleich sie durch die verschiedenen Spielarten des Realismus nur bedingt abgedeckt wird. Bunges Vorbehalte sind nachvollziehbar, indem sie vor allem auf den Umstand abstellen, dass viele W3-Artefakte als solche nicht erfahrbar bzw. nicht unmittelbar erfahrbar sind. Der Realitätsstatus bzw. Existenzstatus von W3-Objekten ist auch deshalb divergent und zuweilen schwierig bestimmbar, weil diese neben materialisierten Gegenständen regelmäßig solche immaterieller Art (Intangibles) verkörpern.²⁵⁰⁶ Mit Popper handelt es sich in beiden Fällen um reale Entitäten; es ist also eine umfassende W3-Realität gegeben. Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist eine solch *vollumfängliche W3-Realität* essentiell: Wie unter Pkt. 1.5.1 dargelegt, handelt es sich bei Closed-loop U-PLM-Systemen um Cyber-physische Systeme (CPS), die mit Pkt. 4.3 ihrerseits *komplexe Systeme* resp. *komplexe adaptive Systeme* (CAS) bilden und bis hin zu programmierbarer Materie reichen. Die schwierige Bestimmung des Realitätsstatus bzw. Existenzstatus von W3-Objekten bzw. -Ereignissen beginnt bereits bei impliziten Regeln, wird schwieriger bei rein virtuell existenten Sachverhalten und gilt vollends bei fiktionalen Artefakten, insbesondere wenn diese kontrafaktisch sind. Darauf zielt vor allem Bunges Kritik in seiner strikt wissenschaftlichen Verpflichtung. Allerdings sind diese Bedenken insofern gegenstandslos, als Kontrafaktisches insofern kontrafaktisch ist, als es nicht den jeweiligen Weltregeln entspricht. Problematischer ist indessen, dass Bunge damit die "Realität" technologischer wie praktischer Fakten, die jedoch nicht nur für die Lebenswelt an sich bestimmend sind, sondern auch realwissenschaftliche Relevanz besitzen, negiert. Dies

²⁵⁰⁵ Vgl. Moulines (1996: 3).

²⁵⁰⁶ Vgl. Popper/Eccles (1977: 41).

in kausaler wie materialer Hinsicht. Zweifellos besitzen auch alle *Common Sense-Ontologien* ein völlig anderes Realitätsverständnis. Genauso entscheidend ist jedoch der technologische Aspekt, der durch Bunge jenseits der Ontologiefrage gerade wesentlich adressiert wird, und bei dem sich die umfassende Verwobenheit mit der Realität in keiner Weise bestreiten lässt. Insofern lässt sich mindestens sagen, dass Bunes Realitätsverständnis nicht technologiekonform ist, womit sein Gesamtwerk in dieser Sache inkonsistent ist.

Dennoch ist Bunes Kritik ernst zu nehmen; sie lässt sich jedoch mit einem *erweiterten Realitätsverständnis* entkräften, dessen Abstufung wiederum bereits die Differenzierung der vier Welten bedingt. In der Tat lösen sich Bunes Vorbehalte auf Basis von CYPO FOX automatisch auf, indem konsequent zwischen verschiedenen Weltypen differenziert wird. Dabei lässt sich im Sinne Bunes die Welt 1 durchaus im Zeichen einer fundamentalen, nämlich physisch-materiellen Realität begreifen, während alle anderen drei Welten im emergentistischen Sinne einen nachrangigen bzw. sukzessiv erweiterten Realitätsstatus besitzen. Dabei geht eine solch sukzessiv erweiterte Realität gerade mit dem *Emergenzgedanken* an sich konform, der als solcher auch für Bunes *emergentistischen Materialismus* konstituierend ist. Insofern weist das abgestufte Realitätsverständnis von CYPO FOX den Weg zur Synthese der eigentlich völlig disparaten Buneschen und Whitehead-Popperschen Position in der Realitätsfrage. Allerdings bleiben mit Pkt. 5.3 andere inkompatible Aspekte davon unberührt. Vor allem aber zeigt sich hier erneut das Bewandnis der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF: Wenn bereits mit Mealy (1967: 525) gilt: »The issue is ontology, or the question of what exists«, wird deutlich, dass sich die Existenzfrage gerade für die Zwecke der Informatik allein in dieser Kombination von Metaphysik und Wissensontologie diskutieren lässt. Dann wird deutlich, dass die Existenz von Entitäten in Abhängigkeit von Weltypen zu sehen ist. Denn die Existenz von W1-Entitäten ist anders gelagert als jene von W2-, W3- oder von W4-Entitäten, während sich die reale Existenz aller Entitäten allein über ein abgestuftes, weltenbezogenes Realitätsverständnis im Sinne von Hartmanns (1940) *Schichtengedanken* rechtfertigen lässt. Nur dann ist die in der Komplexitätsforschung nicht unübliche Sichtweise, dass es sich bei *artifiziellen* Welten um *reale Welten* handelt,²⁵⁰⁷ in einer Form zu verteidigen, die sich nicht mit dem Realitätsverständnis der empirischen Wissenschaften widerspricht.

Wenn Poppers *Drei-Welten-Lehre*, auf die auch eine ganze Reihe anderer Philosophen wie Habermas rekurren, alle *drei Welten* für *real* hält, sind sie entsprechend auch in jeder *realistischen* Top-level Ontologie zu berücksichtigen. Mit Blick auf die Gesichtspunkte der *analytischen* Ontologie gilt dieses Erfordernis ohnehin.²⁵⁰⁸ Popper argumentiert, dass alle drei Welten *real* seien, da kausale Wechselwirkungen beobachtet werden könnten, wobei die Welt 2 als Mittler zwischen Welt 3 und Welt 1 auftritt. Tatsächlich hat Popper

²⁵⁰⁷ Vgl. etwa Olson (1997: 35 ff.) oder Casti (1997).

²⁵⁰⁸ Wie bereits in Pkt. 3.1 dargelegt, vertreten J. Kim et al. (2012: 3) wie viele andere Metaphysiker bzw. Ontologen die Auffassung, dass selbst *fiktionale* Objekte wie "Pegasus" mit zur Ontologie gehören müssten, weil über sie etwas ausgesagt werden könne.

mit dieser Position Recht, was sich schon an einem einfachen Beispiel illustrieren lässt, nämlich anhand der zahlreichen Institutionen, die menschliches Handeln wesentlich bestimmen. Es wäre unzweckmäßig zu behaupten, solche Institutionen seien für die Welt 2, Welt 3 und Welt 4 *nicht real*; sie *existieren* für bzw. in diesen Welten; sie sind zwar in der Welt 1 nicht existent, wirken jedoch auch auf diese, indem sie etwa von Einfluss auf raumzeitliche Bewegungen materieller Körper oder sonstiges Verhalten sind. Offenbar sind sie auch insofern "real", wenn auch nicht materiell existent. Analoges gilt für die Interaktion von Technologien mit der natürlichen Welt, wobei CPS nur ein Beispiel darstellen.

Folglich ist gerade in dieser kausalen Hinsicht ein solch *erweitertes Realitätsverständnis*, das über Bunges engen *materialistischen Realitätsbegriff* hinausgeht, konsequent einzufordern,²⁵⁰⁹ was auch der strengen methodologischen Perspektive der *Realwissenschaften* entspricht.²⁵¹⁰ Bei CYPO FOX als *emergentistischer Vier-Welten-Ontologie* sind entsprechend alle vier Welten real, womit sie sich nicht nur von Bunges Materialismus, sondern folglich auch von der BWW-TLO elementar unterscheidet. Wird letzte in ihrem Rekurs auf Bunge konsequent ausgelegt, gilt auch hier, dass allein die Welt 1 in ihrer Materialität als *real* zu erachten ist. In der CYPO-Ontologiekonzeption ist die physische bzw. natürliche Welt 1 *real*, denn sie ist aktual. Die natürliche Intelligenz – wie im CPS-Sinne auch die Künstliche Intelligenz (AI) – sind im physikalisch-natürlichen Sinne als *Subjekt-Superjekte* Teil dieser realen Welt. In ihrem materiellen Teil sind sie dieser auch zuzurechnen, doch gehen sie als Ganzheiten über den W1-Aspekt hinaus, indem CPS W2-, W3- und als MAS-basierte Systeme auch W4-Aspekte verkörpern. Wenn CPS als Ganzheit real sind, besitzen ihre W2-, W3- bzw. W4-Aspekte im emergentistischen Sinne dennoch lediglich erweiter-

²⁵⁰⁹ Jenseits fragwürdiger materialistischer Ontologien wie der Bungeschen (1977a) und genauso fragwürdiger idealistischer Ontologien wie jener Berkeleys (1710) unterstellen die meisten Ontologien *Realität* für Materie *und* Geist. Wenn nun für geistige Prozesse Realität unterstellt wird, muss auch angenommen werden, dass auch die *Produkte* des Geistes real sind: also Technologien, Verfahren oder Baupläne, wissenschaftliche Theorien, juristische Gesetze, Regeln oder Institutionen im Allgemeinen. Es handelt sich insofern um objektivierbare Artefakte, als sie nicht an ein spezifisches denkendes Individuum gebunden sind. Dabei kann es sich um materialisierte Artefakte handeln, aber auch um reine Ideen, die sich im Platonischen Ideenhimmel in den Grenzen von Mathematik resp. naturwissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten entdecken lassen.

²⁵¹⁰ Der Umstand, dass der Realitätsbegriff eines *erweiterten Realitätsverständnisses* bedarf, entspricht nicht nur der Alltagsrationalität und dem gesunden Menschenverstand, sondern ist über die W2- und W3-Ontologie hinausgehend gerade auch mit Verweis auf die W4-Ontologie zu fordern: Denn neben den Naturwissenschaften werden auch die Wirtschafts-, Kultur- resp. Sozialwissenschaften allgemein als Erfahrungs- resp. *Realwissenschaften* aufgefasst. So teilt Carnap (1928a: 81) die *Realwissenschaften* in Naturwissenschaften, Psychologie und Kulturwissenschaften ein, was letztlich den *ontologischen Schichten* bei Hartmann (1940) entspricht und mit Poppers *Drei-Welten-Theorie* korrespondiert. Insofern ist ein solch erweitertes Realitätsverständnis, das über die materiellen Aspekte hinausgeht, auch dem *allgemeinen Wissenschaftsverständnis* und damit der gerade auch durch Bunge propagierten wissenschaftlichen Metaphysik als allgemeinste Theorie geschuldet. Die Rede von einem *erweiterten* Realitätsverständnis erscheint insofern angemessen, als es sich dabei nicht um die unmittelbar physisch erfahrbare Realität handelt. Vor diesem Hintergrund ist etwa die Ökonomik von ihrem wissenschaftstheoretischen Status her gesehen genauso Real- resp. Erfahrungswissenschaft wie die Physik oder Biologie, die alle über eine je spezifische Erfahrungssphäre resp. Objektbereiche verfügen. Das spricht im Vorgriff auf Pkt. 4.1 und Pkt. 5.1 gegen den *Naturalismus*, nicht aber gegen *universale Ontologie*.

ten Realitätsstatus, wobei mit Hartmann (1940) jede höhere Schicht auch einen jeweils höheren Realitätsstatus impliziert.

Indem gerade für die Zwecke der Informatik ein *erweitertes Realitätsverständnis* zu fordern ist, stellt sich die Frage, wie weit eine solche "erweiterte" Realität zu fassen ist. Mit der Verschmelzung der Welten zu *Cyber-physischen Welten* ist die Antwort eindeutig: es hat mit Verweis auf Pkt. 4.6 notwendig die *Augmented Reality* als W3-Realitätsverständnis mit einzubeziehen. Dieser Zwang besteht insofern, als mit ihr eine Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Welten gegeben ist. Insofern sind auch die diesbezüglichen Entitäten als W3-Entitäten zu berücksichtigen. In ontologischer Hinsicht impliziert dies mit Pkt. 4.6 die Notwendigkeit des integrativen Einbezugs einer *Ontologie der Artefakte* bei CYPO FOX. Jede Ontologiekonzeption, die davon absieht, ist bereits insofern nicht CPSS-adäquat, was auf einige der TLO-Theorieanwärter zutrifft. Jede Ontologiekonzeption, die dabei nicht in einer abgestuften Weise im Sinne von Hartmanns (1940) *Schichtengedanken* vorgeht, ist vor dem Hintergrund der Bungeschen Kritik als problematisch zu werten, weil sie dann die Welten unzulässig vermischen, was weder wissenschaftlichen noch technologischen oder praktischen Zwecken entsprechen kann. Dieser Defekt trifft für den Rest der TLO-Theorieanwärter zu. Tatsächlich müssen im Grunde alle bisherigen Ontologiekonzeptionen, die wie die Grubersche nicht systematische *Mehrweltenontologien*, sondern solch problematische *Monoweltenontologien* repräsentieren, insofern ungeeignet erscheinen, als nicht sachgerecht zwischen den einzelnen Ontologietypen differenziert wird.²⁵¹¹ Gerade mit einem solch erweiterten Realitätsverständnis erscheint eine strikte Abgrenzung der disparaten Welttypen vielmehr zwingend geboten. Dabei gilt es die Bungeschen Argumente zu berücksichtigen, wenn sie auch nicht leitend sein können. Demnach besteht in CYPO FOX letztlich die Konsequenz des heute breiten Ontologieverständnisses, wie es für die Informatik zwingend vorauszusetzen ist.

Insofern sich die subjektiv logisch widerspruchsfrei gedachten Objekte der W2-Welt objektivieren lassen und es entsprechend eine weitere W3-Welt mit objektivierten Objekten gibt, ist nicht nur eine Existenz von W2-Objekten, sondern im Sinne von Frege und Popper auch eine Existenz von W3-Objekten gegeben. Ihre Existenz beruht gleichermaßen auf einer definitiven Existenz, jedoch auf einem anderen Wahrmacher, nämlich entweder auf dem *praxiskollaborativen* Konsens oder dem *techno-paradigmatischen* Konsens, der mit dem engen Bezug von Wissenschaft und Technologie zwingend auch die priorisierten W1- und W4-Wahrmacher zu berücksichtigen hat. Mit den Übergängen zur W2-Ontologie sind auch W3-Ontologien im Sinne möglicher Welten aufzufassen, während die W1-Ontologie im aktuellen Modus streng Popperschen *Scientific Ontologies* zu entsprechen hat. Solche realistischen Ontologien verlangen, dass Universalien in der Realität fak-

²⁵¹¹ Bei der GFO-TLO wird diese Problematik zwar erkannt, jedoch nicht überzeugend gelöst. D.h., dass es sachgerecht abgegrenzte Welt- bzw. Ontologietypen auch hier nicht gibt.

tisch instantiiert sind.²⁵¹² Das muss somit keineswegs zwingend auf einen immanenten Realismus hinauslaufen, wie er bei Smith (2004, 2008b) im aristotelischen Sinne bemüht wird. Demgegenüber kann eine solch strikte Realitätsrepräsentation für W2- und W3-Ontologien kein allgemeines Postulat darstellen, weil dann Imagination und Innovation nicht möglich wären. Entsprechend zeigen Smithens realistische Ontologie und ihre Wahrmacher ihre Schwächen im Innovationsprozess. Denn dieser bezieht sich seiner Natur nach auf das Neue, mithin auf das physisch noch nicht Existente, oder profaner auf Sachverhalte, die es noch gar nicht gibt. Bei Produktontologien, die in U-PLM-Systemen im Zeichen des *Ontology Engineering* die Gegenstände von Innovationsprozessen repräsentieren, ist diese *reale Existenz* genauso *noch nicht* gegeben wie bei damit korrespondierenden betrieblichen Prozessontologien. Solche Ontologien emergieren gewissermaßen parallel bzw. zeitlich vorgelagert mit ihren physischen Gegenständen im Rahmen der Produkt- bzw. Prozessinnovation. Sie können sich insofern nicht auf die *aktuelle Welt* beziehen, weil es sie *als Neuerung* noch gar nicht geben kann; insofern vollziehen sich die für U-PLM-Systeme essentiellen Innovationsprozesse in *möglichen Welten* und verlangen für sich nach einer Ontologiekonzeption, die nicht nur diese *an sich* zulässt, sondern auch die damit offenbar notwendigen Übergänge zwischen *möglichen Welten* und *aktualer Welt* eröffnen.

Die Produkte des menschlichen Geistes bzw. von Automaten sind überaus vielfältig und in ihrem Realitätsstatus mitunter hochgradig divergent. Eine in der Welt 2 erdachte, jedoch für Dritte verbindlich gewordene Institution gehört als Produkt menschlichen Geistes in die Welt 3; solche Institutionen beeinflussen das menschliche Verhalten regelmäßig in einem starken Maße. Dabei entfaltet eine solche Institution gleichzeitig Wirkung auf die erfahrungswissenschaftlich zugängliche soziale Welt, wobei sich das veränderte Verhalten der Subjekte im Zuge entsprechender Wandlungsprozesse der Welt 4 empirisch analysieren lässt. Analog dazu bestehen solche engen Verkopplungen der vier Welten auch in anderer Hinsicht, und lassen sich anhand zahlloser Beispiele illustrieren. So gehört bspw. ein konkretes Haus als physisches Objekt als Seiendes in Poppers Welt 1 als physischer Welt. Doch seine spezifische Art bzw. Form ist bedingt durch den Bauplan des Hauses, und dieser ist allein Gegenstand der Popperschen Welt 3. Dabei steht außer Frage, dass dieser letztlich aus der Welt 2 hervorgegangen ist und ohne diese *nicht konkret*, allenfalls als *unentdeckte abstrakte Idee* existiert. In einer statischen Ontologie, in einer *Ontologie des Seins*, interessieren solche evolutionären Übergänge für gewöhnlich nicht. In einer *Ontologie des Werdens* indessen schon; sie hat das endogene Moment der *Emergenz von Objekten* wie auch ihr Vergehen ontologisch zu berücksichtigen – nicht allein ihre Veränderung, wie es im Substanzsinne gängig ist. Offensichtlich sind solche Ontologien, die sich nur auf die Veränderung beziehen, ontologisch unvollständig und daher schon in der Reflexion des Seins wenig aussagekräftig: Denn was es gibt, das ist Prozess.

²⁵¹² Vgl. hierzu auch E.J. Lowe (1999).

Im Zeichen der für U-PLM-Systeme typischen Innovationsprozesse ist gerade auch die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* mit diesen Wechselwirkungen zwischen den Welten konfrontiert: Innovationen in PLM-typischen Industrien wie der Luft- und Raumfahrt oder der Biotechnologie durchlaufen im Zuge der Invention die W2- und W3-Sphäre, und gelangen im Rahmen der Innovation bzw. Diffusion nicht nur in die Welt 4, sondern sind bei physischen Innovationen mitunter von direktem Belang für die natürliche Welt 1. Insgesamt muss die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* nicht nur auf den Innovationsaspekt als solchen abstellen, sondern sie hat mit diesem zugleich wissenschaftliche wie technologische und praktische Ontologie zu sein. Gleichzeitig muss sie offenbar auch die *metaphysische Ontologie* verkörpern. Das gilt nicht nur in CPS-Hinsicht, sondern gleichermaßen im Hinblick auf die TLO-Kategorien, mit denen Innovationsprozesse in ihrer Gänze abbildbar werden. Somit kommt man offensichtlich nicht umhin, eine *integrierte Ontologiekonzeption* vorauszusetzen, die mit CYPO FOX als *kombinierter metaphysischer Multi-Wissens-ontologie* im IMKO OCF sämtlichen Innovationsaspekten entsprechen kann.

In ihrer Eigenschaft als Multi-Ontologie überwindet CYPO FOX im Sinne von Feyerabends (1975) *"anything goes"* bisherige Gegensätze, womit sie integrierende Funktion besitzt: So deckt sie gleichzeitig die externe wie interne techno-wissenschaftliche Metaphysik ab; sie operiert mit aktualen wie möglichen Welten; sie ist deskriptiv, phänomenologisch wie spekulativ. Sie ist wissenschaftlich, technologisch und praktisch oder im Sinne der Lehre von den Erfahrungsregeln zweckrationalen Entscheidungshandelns auch praxeologisch. In der Interaktion ihrer vier interdependenten Welten ist sie CPSS-adäquat und eröffnet den transdisziplinären Zugang zur Superintelligenz: Beides wird auf Grundlage einer strikten TLO-Referenz aller Ontologiearten und -typen mitsamt ihrer damit bedingten beliebigen Kombination möglich, womit gilt:

»There is a real world with real structure. The program of mind has been trained on vast interaction with this world and so contains code that reflects the structure of the world and knows how to exploit it. This code defines representations of real objects in the world and represents the interactions of real objects. The code is mostly modular [...], with modules for dealing with different kinds of objects and modules generalizing across many kinds of objects [...]. The modules interact in ways that mirror the real world and make accurate predictions of how the world evolves [...].«²⁵¹³

Dabei beruht sie insgesamt auf der Korrespondenz, Kohärenz oder dem Konsens als Wahrmacher. – Indem mit ihr grundsätzlich sämtliche ontologischen Anforderungen abgedeckt sind, besteht in ihr zugleich die Ontologiekonzeption, die allen Zwecken der Informatik genügen kann und damit tatsächlich *universal* voraussetzbar ist. Dieses Kriterium der *universalen Voraussetzbarkeit* ist im Zuge der TLO-Evaluierung aus dem Grunde das eigentlich entscheidende, weil mit ihm das Ziel *vollumfänglicher semantischer Interoperabilität* in direkter Weise korreliert. Zweifellos kann das Ziel der Informatik mit ihrem natürlich gegebenen Integrationsanspruch in dieser Sache gar kein anderes sein.

W2- wie W3-Ontologien weisen im Zuge von Imaginations-, Innovations- resp. Engineeringprozessen die Besonderheit auf, dass im Rahmen des *Ontology Engineering* (OE)

²⁵¹³ E.B. Baum (2004: 169).

nicht nur einzelne Objekte, sondern ganze Ontologien neu erschaffen werden. Das kann bspw. im Rahmen einer echten Produktinnovation geschehen; einzelne neue Objekte können aber auch im Zuge etwa von Produktmodifikationen neu geschaffen werden. Wie bei allen anderen U-PLM-Prozessen steht dabei das Erfordernis des *Prinzips der Nachvollziehbarkeit* (Traceability) außer Frage; für U-PLM-Systeme ist gerade dieses Prinzip konstituierend. Es muss jederzeit Antwort gegeben werden können auf die Frage, wo die Objekte herkommen? Das gilt in metaphysischer Hinsicht wie in wissensontologischer; mit Blick auf letztere wird damit eine *OE-Traceability* obligatorisch. Offenbar ist gerade auch in dieser Hinsicht die Poppersche Interdependenz und Wechselwirkung zwischen den vier Welten bzw. Welttypen von Belang; eine integrierte Ontologiekonzeption der Informatik hat insbesondere auf diese abzustellen. Anders kann eine *endogene* Behandlung des Neuen nicht gelingen, die schon mit Blick auf das *Prinzip der Nachvollziehbarkeit* (Traceability) zwingend wird. Dabei ist evident: Nur eine *Mehrweltenlehre*, die alle relevanten Welten in einen systematischen Bezug zu bringen versteht, kann die Entstehung des Neuen ontologisch sachgerecht abbilden. Das gilt insbesondere für den Übergang von subjektiven W2-Ontologien in objektive W3-Ontologien, was sich in OE-Hinsicht methodisch durch ein entsprechendes Freigabe- und Änderungsmanagement umsetzen lässt. Indem alle existierenden TLO-Ansätze keine integrierten *Mehrweltenontologien* darstellen, können sie auch die endogene Behandlung neuer Objekte nicht sachgerecht leisten. Insofern wird deutlich, dass sie – neben der zu klärenden *CPSS-Adäquanz* – das Kriterium der *IoX-Adäquanz* schwerlich erfüllen können.

Wenn in der integrierten CYPO-Ontologiekonzeption völlig unterschiedliche Welt- und Ontologietypen zusammengefasst werden, stellt sich zwangsläufig die Frage nach ihren *Wahrmachern* (Truthmakers), auf die wir im allgemeinen Zusammenhang in Pkt. 6.2.8 zurückkommen. Die Gültigkeit von *Konsens als Wahrmacher* resultiert dabei aus der kontextuellen Realität: technologische Ontologien müssen zwar einerseits dem Realfaktischen genügen, aber dieses Realfaktische ist gerade bei reinen Anwendungsontologien regelmäßig durch eine *konkrete kontextuelle Realität* geprägt. Für semantische U-PLM-Systeme sind Produkt-, Prozess- und Ressourcenontologien wie insgesamt eine koordinierende *Enterprise Ontology* als Kernontologie erforderlich, die zumindest auf Ebene der Anwendungsontologie auf eine spezifische betriebliche Realität bezogen sind. Deren ontologische Wahrheit kann sich allein auf die spezifische kontextuelle Realität beziehen, die sich entsprechend allein im Konsens der unmittelbar Beteiligten herstellen lässt. Insofern ist der Grubersche Wahrmacher allein in diesem technologischen W3-Fall legitim. In diesem Zusammenhang zeigt sich eine grundsätzliche Differenz zwischen wissenschaftlichen Ontologien einerseits und technologischen und praktischen Ontologien andererseits, nämlich hinsichtlich der Eigentums- und Verfügungsrechte: für B. Smith ist wesentliches, konstituierendes Kriterium seiner *Scientific Ontologies*, dass diese *öffentlich* sind, es also um gemeinsame Wissensteilung und Standardisierung geht. Partiiell bei technologischen und

regelmäßig bei praktischen Ontologien stellt sich die Sachlage jedoch in diametral anderer Weise dar: hier ist es demgegenüber wesentliches Kriterium, dass sie *privat* sind; sie sollen gerade nicht öffentlich geteilt und standardisiert werden, weil sie als elementare Basis wissensbasierter Wettbewerbsvorteile gesehen werden.²⁵¹⁴ Insofern ist dieses Kriterium hier als genauso konstitutiv zu erachten. Somit zeigt sich, dass W1- und W4-Ontologien als notwendig *öffentliche* Ontologien (*Scientific Ontologies*) auch in dieser Sache völlig andere Akzente setzen als W2- und W3-Ontologien, die primär – wenn auch nicht notwendig – als *private* Ontologien zu erachten sind.

Dass die Ontologie der Informatik auf Grundlage von CYPO FOX richtig verankert ist, offenbart auch die Quantenphysik. Das beginnt mit der erforderlichen W1-W2-Verkoppelung, wie sie im Zeichen von Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* zu verstehen ist, wenn Schrödinger (1956: 38) in kritischer Reflexion der Physik zu bedenken gibt: »[W]e exclude the Subject of Cognizance from the domain of nature that we endeavour to understand«. Allerdings lässt sich das Ganze mit Wheelers Quantenphysik noch weiter denken, wenn er mit seinem *objektiven Idealismus* über Schrödinger hinausgehend das W4-Moment intersubjektiver Kommunikabilität hervorhebt: »[N]o observation is an observation unless we can communicate the results of that observation to others in plain language«. ²⁵¹⁵ Anders gewendet heißt das: »[T]here is a consistency about the observations made in physics. One person must be able to tell another in plain language what he finds and the second person must be able to verify the observation«. ²⁵¹⁶ Was Wheeler anspricht, ist letztlich nichts anderes als die Poppersche W2-W3-Transformation, also der Übergang des subjektiven in das objektive Wissen. In der Tat besteht an sich kein zwangsläufiger Widerspruch zu Popper, als Popper gerade die W1- und W3-Welt trennt, wobei die Artefakte der W3-Welt fallibel sind. Für die W2-Realität gilt dabei: »[I]t is undeniable that each of us, as observer, is also *one* of the participators in bringing 'reality' into being«. ²⁵¹⁷ Eine Mehrweltenontologie wie CYPO FOX wird umso mehr erforderlich, als eine integrierte Ontologiekonzeption ein differenziertes wie abgestuftes Realitätsverständnis voraussetzt, wenn Wheeler (1994) konstatiert: »In the real world of quantum physics, no elementary phenomenon is a phenomenon until it is a recorded phenomenon«. ²⁵¹⁸ Das Wissen, das wir über die W1-Welt besitzen, ist das objektive W3-Wissen, wie es sich letztlich auch bei Wheeler findet: »What we call reality consists [...] of a few iron posts of observation between which we fill in by an elaborate papier-maché construction of imagination and theory«. ²⁵¹⁹ Wheeler, der mit Einstein und Bohr zusammenarbeitete, liegt allerdings falsch, wenn er die epistemische mit der ontischen Ebene nicht in Einklang bringen kann: »Useful as it is under everyday circumstances to say that the world exists 'out there' independent of us, that view can no longer

²⁵¹⁴ Vgl. hierzu etwa O'Leary (2000).

²⁵¹⁵ Vgl. Wheeler (1983: 203).

²⁵¹⁶ Vgl. Wheeler (1983: 202).

²⁵¹⁷ Vgl. Wheeler (1983: 202).

²⁵¹⁸ Vgl. Wheeler (1994: 288).

²⁵¹⁹ Vgl. Wheeler (1983: 194).

be upheld. There is a strange sense in which this is a ‘participatory universe’²⁵²⁰ Wheelers Irrtum macht gerade auch mit Blick auf den Konsens in Multiagentensystemen deutlich, dass in der Zugrundelegung der CYPO-Weltenarchitektur der richtige Weg für die Ontologie der Informatik besteht. Denn gewiss ist der *objektive Idealismus* Wheelers von Relevanz, allerdings besteht in diesem nicht mehr als das Moment der Welt 4. Zwar gibt es diese in Poppers *Drei-Welten-Lehre* nicht, doch ist Poppers Auffassung gegenüber jener Wheelers insgesamt betrachtet allein konsistent. Popper streitet insofern Wheelers partizipatorisches Universum nicht ab, indem in seinem kritischen Realismus der Fallibilismus gilt. Entscheidend ist jedoch sein metaphysischer Realismus, dessen Richtigkeit der Fallibilismus gerade unterstreicht: unser epistemisches Wissen über das Universum ist gewiss nicht zu verwechseln mit dem Ontischen, also mit dem Universum *an sich*. Wie Rescher (2003a) richtig herausstellt, wäre der Fallibilismus gar nicht möglich, wenn es diese Differenz nicht gäbe. Das aber ist weithin unverstanden, wobei die Informatik mit dem *Reality Computing* dieses Missverständnis notwendigerweise ausräumen muss, da es der erforderlichen CPSS-adäquaten Ontologie entgegensteht. Das ist entsprechend auch für den Konstruktivismus von Konsequenz, was mit Pkt. 6.2.6 im Zuge der meta-ontologischen Dispositionen zu diskutieren ist.

Tatsächlich zeigen sich in einer integrierten Ontologiekonzeption die engen Grenzen *linguistischer Ontologien*, denen im Sinne des *Common Sense* bisweilen das Kriterium der *Allgemeingültigkeit* bescheinigt wird. Indessen können linguistische Ontologien einer solchen *Allgemeingültigkeit* bereits insofern nicht entsprechen, als ihre Leitlinien nicht im *objektiven Wissen* bestehen, sondern auf Grundlage von *Belief Systems* lediglich auf eine intersubjektive Prüfung hinauslaufen. Wenn diese sich jedoch jenseits echter Methodologie vollzieht, wird deutlich, dass ihre Fundamente wie repräsentierten Sachverhalte durch unbeteiligte Dritte nicht zwingend geteilt werden müssen. Vielmehr liegt es gerade in der Natur epistemischer W2-Ontologien, dass sie – zumindest primär – rein subjektiv sind und gerade nicht ohne weiteres geteilt werden. Geteilt werden sie im Sinne Poppers erst im Zuge ihrer Objektivierung zur W3-Ontologie. Diese vollzieht sich jedoch bei Popper entlang der klaren Leitlinien des *Kritischen Rationalismus*, womit auch bei ihm ein enger Bezug nicht nur zwischen Epistemologie und Methodologie, sondern gerade auch von beidem zur Metaphysik besteht. Hier ist vor allem auf den Umstand hinzuweisen, dass Popper sowohl einen *metaphysischen* als auch einen *epistemologischen* Realismus vertritt. Mit McCarthy/Hayes (1969) wird im AI-Kontext deutlich, dass damit die Frage der *metaphysisch* bzw. *epistemologisch adäquaten Repräsentation* der Welt zu beantworten ist. Diese Beantwortung steht bei ihnen nicht nur im direkten Zusammenhang zur Automatentheorie, sondern ist so zu fassen, dass ihre Klärung auf eine TLO-Referenz hinauslaufen hat.

In den zunehmend relevanten CPS-Kontexten scheidet die Idee der linguistischen Ontologie auch insofern, als MAS-basierte CPS nicht nur realistische W1-Ontologien erfor-

²⁵²⁰ Vgl. Wheeler (1983: 194).

dern, sondern neben ihren subjektiven, ungeteilten W2-Ontologien auch geteilte und objektivierte W3-Ontologien sowie W4-Ontologien, die die institutionelle soziale Realität repräsentieren. Somit wird gerade mit Blick auf die erforderliche Kombination der disparaten Ontologietypen deutlich, dass von einer semantischen Übereinkunft nur dann gesprochen werden kann, wenn sich diese auch faktisch auf *Top-level Kategorien* erstreckt.^{2521, 2522} Damit muss bei jeder Ontologie eine TLO-Referenz erfolgen, sonst ist sie im Regelfall mit den anderen in fundamentaler Hinsicht inkommensurabel. Linguistische Konventionen reichen also keinesfalls aus, sondern stiften vielmehr gerade Probleme, wenn sie im Widerspruch zu den *metaphysisch* bzw. *epistemologisch adäquaten Repräsentationen* der cyberphysischen Realität stehen. In Grubers Ontologiekonzeption ist eine solche TLO-Referenz in keiner Weise systematisch angelegt, während sich jeder Konsens zunächst einmal auf die fundamentalen Fragen zu erstrecken hat. Er ist also als Konsens bezüglich der *Top-level Ontologie* zu verstehen. Es ist somit die *Top-level Ontologie*, mit der sich jede *ontologische Verpflichtung* fundamental begründet, selbst wenn diese im Sinne Grubers minimalistisch ausfallen sollte.

Die durch Steimann/Nejdl (1999: 5) im KR-Kontext postulierte *Universalontologie* muss damit auf eine *universalontologische Top-level Ontologie* als *Theorie der Ereignisse und Objekte* hinauslaufen,²⁵²³ die tatsächlich *sämtliche* Ereignis- und Objekttypen abdecken kann. Sie muss W1-Objekte bzw. Ereignisse genauso adressieren können wie W2-, W3- oder W4-Objekte bzw. Ereignisse. Sie muss damit konkrete wie abstrakte Objekte bzw. Ereignisse fassen können, genauso existente wie aktual nicht-existente, realistische wie idealistische, wissenschaftliche wie technologische, oder natürliche wie artifizielle Objekte bzw. Ereignisse. In jedem dieser Fälle muss die *Top-level Ontologie* als Universalontologie die *Theorie der Ereignisse und Objekte* zu bilden vermögen, um somit für die verschiedensten Ontologiearten bzw. -typen als Referenzebene fungieren zu können. Sie ist also für Feyerabends (1975) "*anything goes*" einer integrierten Ontologiekonzeption konstituierend. Mit Husserl (1929) ist die formale Ontologie *Wissenschaft vom Objekt als solchem*; indessen kann diese jenseits Husserls nur dann zur wissenschaftlichen Ontologie avancieren, wenn ihr ein wissenschaftsadäquates metaphysisches Kategoriensystem zugrundegelegt wird. Bereits bei Whitehead (1919) findet sich eine solche *universalontologische Theorie der Objekte bzw. Ereignisse*, die schließlich bei Whitehead (1929a) in ein umfassendes prozessontologisches Kategoriensystem eingebettet wird. Dieses ist dabei nicht nur wissenschaftsadäquat, sondern kann in seinem Ereignis- und Prozesszentrismus wie in seiner Synthesefunktion genauso allen technologischen wie praktischen Zwecken genügen.

Poppers *Drei-Welten-Lehre* stellt die Welten zwar in den sachlogischen wie metaphysischen Zusammenhang, doch findet sich bei ihm selbst keine *universalontologische Theorie*

²⁵²¹ Vgl. hierzu Sowa (1995).

²⁵²² Diese Auffassung Sowa wird bereits vielfach geteilt, vgl. etwa Gangemi et al. (1998: 164), Terrasse et al. (2006: 22) oder Katzan (2007: 239).

²⁵²³ Vgl. hierzu auch Poli (2002a: 20).

der Objekte bzw. Ereignisse, über die man diese Welten *de facto* praktisch ontologisch integrieren kann. In ihrer strikten TLO-Referenz überwindet CYPO FOX dieses Defizit auf Basis von Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik und Hartmanns (1940) Schichtengedanken, die beide als mit Popper konform zu erachten sind.²⁵²⁴ Die *Top-level Ontologie* fungiert bei CYPO FOX als "*common formal framework*" bzw. als "*ontological backbone*",²⁵²⁵ das alle vier Welten transzendiert und einheitlich integriert. Im Mittelpunkt dieser Integration steht im Zeichen der Whiteheadschen (1929a) Prozessmetaphysik die universale *Ereigniskategorie*, die für sämtliche vier Welten elementar ist. Auf diese Weise werden *Top-level Ontologien* (TLO) zum Enabler für transdisziplinären Wissensaustausch wie insgesamt einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität. Gleichzeitig spielen in integrativer Hinsicht auch die *Enterprise Ontologies* (EO) eine wichtige Rolle, womit das "*ontological backbone*" die im zweiten Teil erörterte *TLO-EO-Verkopplung* voraussetzen hat. Ein solches "*ontological backbone*" kann allein auf dieser universalen Einheitskategorie gründen, indem die *Ereigniskategorie* das elementare Moment sowohl des *Complex Event Processing* (CEP) im Speziellen als auch des Information Processing im Allgemeinen bildet. Indem beides wiederum auf den Grundlagen der Automatentheorie aufsetzt, avancieren CYPO-konforme agentenbasierte Systeme bzw. MAS zur operationalen Basis umfassender Prozessintelligenz. Insofern liegt es auf der Hand, die metaphysische Integration auf Grundlage prozessmetaphysischer MAS zu bewerkstelligen, wobei der enge MAS-CEP-Bezug mit Pkt. 6.2.1 im Rahmen der meta-ontologischen Dispositionen nochmals erörtert wird.

Ein CYPO-konformer TLO-Ansatz fungiert aber auch insofern als "*common formal framework*" bzw. als "*ontological backbone*", indem er gerade in der Integration der vier Welttypen gleichzeitig als Referenzpunkt für die CM- wie für die AI-Ontologie in wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Kontexten fungiert. Somit entspricht eine CYPO-konforme TLO mit Verweis auf Pkt. 3.3 gleichzeitig dem Gesichtspunkt der AI-Ontologie wie jenem der philosophischen Ontologie. Sie repräsentiert im Sinne von Angeles (1981: 198) »order and structure of reality in the broadest sense possible«; allerdings geht sie mit der Eröffnung *möglicher Welten* jedoch im Sinne analytischer Metaphysik darüber in entscheidender Weise hinaus. Die CYPO-konforme TLO stellt dabei selbst die zentrale Referenzbasis für Zwecke der konzeptuellen Modellierung (CM). Darüber hinaus lassen sich hierzu aber auch Kern- wie Domänenontologien heranziehen, wobei bei einer *realweltlichen* konzeptuellen Modellierung auch ebensolche Ontologien in Frage kommen, wie auch in allen anderen denkbaren Fällen immer ein enger Bezug zwischen Modell und korrespondierender Ontologie (et v.v.) besteht. Mit McCarthys (1995) "*general world view*" wird dieser enge Bezug insbesondere durch die einheitliche Referenz auf die *Top-level Ontologie* gewährleistet.

²⁵²⁴ Popper bezieht sich selbst explizit auf die Whiteheadsche Ontologie, vgl. Popper/Eccles (1977: 7).

²⁵²⁵ Vgl. Arp (2010: 88).

Die in Pkt. 1.1 abgegrenzten *fünf IoX-Subsysteme* lassen sich den vier Welt- bzw. Ontologietypen von CYPO FOX zuordnen, auf die sie *primär* bezogen sind:

- (i) *Internet of Data* (IoD): W3 (OCEP/RTBDA etc.)
- (ii) *Internet of Services* (IoS): W3 (Method/Task/Functional Ontologies, SOA-O)
- (iii) *Internet of Things* (IoT): W1 / W3 (kausale Cyber-Physik, Sensorik/Aktorik)
- (iv) *Internet of Agents* (IoA): W2 / W4 [M2M, M2R, R2M]
- (v) *Internet of People* (IoP): W2 / W4 [H2H, H2M, M2H]

Im Grunde sind sie jedoch alle miteinander interdependent, etwa wenn es im IoP-Kontext um die Bereitstellung spezifischer Services (IoS) geht, die rein ortsbezogen sind oder die für menschliche Agenten an ganz bestimmten physischen Orten, etwa Sicherheitszonen, die Benutzerschnittstelle für die Steuerung Cyber-physischer Systeme (CPS) bilden. Es steht nicht nur außer Frage, dass das *Internet of Services* (IoS) die Serviceinfrastruktur wie spezifische Dienste für alle Welten stellt, sondern gleichermaßen das *Internet of Things* (IoT) die cyber-physische Infrastruktur bietet. Demgegenüber ist das *Internet of Data* (IoD) insbesondere im RTBDA-Kontext auf die verschiedensten Kontexte bezogen: bei *physischer* Sensorik ist das die Welt 1; bei *virtueller* die Welt 3; geht es etwa um *Social Media Monitoring*, dann ist es die Welt 4.

Schließlich stellt sich mit Blick auf die Umsetzung in Repräsentationssprachen die Frage, wie sich bei CYPO FOX zwischen den vier Welt- bzw. Ontologietypen praktisch differenzieren lässt. Dazu sind verschiedene Alternativen denkbar. Eine davon steht im Zeichen von Garbacz/Trypuz (2011); sie postulieren, dass im Zuge des *Ontology Engineering* zu markieren ist, ob eine Domäne lediglich *Entitäten der aktuellen Welt* oder aber auch *Entitäten möglicher Welten* enthält (modality flag). Analog sei zu kennzeichnen, ob es sich um objektive, geistunabhängige Dinge in der Außenwelt, um geistabhängige Entitäten oder um eine Mischform aus beidem handelt (objectivity flag). In diesem Sinne ließe sich jede Ontologie mit einem W1-, W2-, W3- oder W4-flag kennzeichnen, bzw. detaillierter durch W1A-, W1P-, W1L-, W2A-, W2P-, W2F- bzw. durch W3A-, W3P-, W3F-, W3L-, sowie W4A-, W4P-, W4L- oder W4M-flags als Submodi der vier Ontologietypen markieren. Alle Ontologien sind in MAS-Kontexten an ein *Agent Management System* (AMS) gekoppelt. Dabei ist speziell jede W2-Ontologie mit einem *Agent Identifier* (AID) zu versehen, indem diese immer subjektgebunden ist. Insgesamt ist die jeweilige TLO-Referenz zu explizieren, die Voraussetzung dafür ist, dass alle Klassen von Agenten autonomen Rückgriff auf die verschiedensten Ontologiearten und -typen nehmen können, um sie im transdisziplinären Sinne beliebig zu kombinieren. Ohne solche *flags* resp. *identifiers* ist eine *vollumfängliche semantische Interoperabilität* nicht zu realisieren.

3.6 Zwischenfazit: Zur Lösung der Ontologieproblematik der Informatik

»At the core of Applied Ontology is a desire to understand the nature of reality and how people construe their world. There is nothing more fundamental to human thought or to translating our thoughts into computational artifacts.«

— Nicola Guarino/Mark A. Musen (2005: 2)

Der Ontologiegedanke als strukturalistisch in die *metaphysica generalis* eingebettete Wissensontologie war und ist in der Informatik seit ihrer Begründung durch Leibniz mitsamt des perzeptiv-kognitiven wie cyber-physischen Automatengedankens prinzipiell immer da. Allerdings wurde dieser durch Mealy (1967) erst einige Jahre nach Turings (1950) *Computing Machinery and Intelligence* bzw. Shannon/McCarthy's (1956) *Automata Studies* explizit gemacht.²⁵²⁶ Mealy (1967) setzt allerdings an der falschen philosophischen Ontologie an, indem er auf den Whitehead-Schüler Quine, und nicht auf Whitehead selbst rekurriert. Die Ontologieproblematik der Informatik wird jedoch erst mit letzterem offenbar und auf seiner Cyber-Physik richtig begründet, während Quines Naturalismus bzw. Physikalismus nicht den richtigen Zugang zu Cyber-physischen Systemen (CPS) und ihrem Prinzip kausaler Wirksamkeit eröffnen kann. Damit verbunden wurden die eigentlichen ontologischen Anforderungen der Informatik nie systematisch untersucht. Ihr bisheriges Existenz- und Realitätsverständnis steht in den falschen metaphysischen Traditionen: Während die erste AI-Generation an der aristotelischen Metaphysik, am Cartesischen Dualismus oder an der Analytischen Philosophie festmacht, setzt die zweite AI-Generation auf Heideggers Metaphysik und die phänomenologische Tradition. Wenngleich die gesamte Ontologie- bzw. AI-Forschung auf diesen und ähnlichen fehlleitenden Metaphysiken festmacht, liegt die richtige metaphysische Fundierung der Informatik in ihren eigentlichen Grundlagen, nämlich in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Untersucht man die eigentlichen Zwecke der Informatik in universaler und neutraler Weise und nicht aus einer bereits vorbestimmten linguistischen bzw. philosophischen Perspektive, wird mit dem *Reality Computing* dieser Zusammenhang deutlich. Vor diesem Hintergrund konnten die in Pkt. 1.3 spezifizierten Teilziele (TZ3) mit diesem dritten Teil erreicht werden. Diese begannen mit einer Reflexion der ontologischen Grundfragen, die in einer Breite zu diskutieren waren, die sich auf die Informatik insgesamt erstreckt.

Anhand des *U-PLM-Referenzszenarios* konnten die verschiedenen Anforderungen verdeutlicht werden, die beim Einsatz von Ontologien zu berücksichtigen sind. In diesem Szenario besteht das PSS-bezogene Integrationsszenario der *Industrie 4.0* (I40), die mit Bosch (2017) richtig als *Connected Industry* verstanden ist, nicht als Digitalisierung.²⁵²⁷ Dabei läuft die Vernetzung auch bei Bosch (2017) letztlich auf das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) hinaus, das sich zum einen mit den IoT- und Big-Data-Technologien (RTBDA) notwendig durch den CPS/SEA-Aspekt, zum anderen durch

²⁵²⁶ Vgl. dazu auch Gandon (2010: 3).

²⁵²⁷ Mit Bosch (2017) ist die *Digitalisierung* bereits als dritte industrielle Entwicklungsstufe (Industrie 3.0) zu sehen, nach der Mechanisierung (1.0) und Elektrifizierung (2.0). Diese Abgrenzung ist auch insofern sinnvoll, als das, was als *Automatisierung* als dritter Stufe gemeint ist, auf *Digitalisierung* gründet.

die soziale Vernetzung intelligenter Agenten auf den MAS/CAS-Aspekt auszeichnet. Der mit der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik vorausgesetzte CPST-Hyperspace ist somit konkret als IoX-Hyperspace aufzufassen, womit Ontologie als *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu verstehen ist. Anhand des IoX-Hyperspace wurde deutlich, dass eine vollumfängliche semantische Interoperabilität nicht nur einen tatsächlich allgemeingültigen *einheitlichen Ontologiebegriff* erfordert, sondern auch ein *integriertes Ontologiekonzept*, das allen Anwendungs- und Integrationsszenarien gerecht wird. Wenn in beidem die Grundvoraussetzung der *Ontologie komplexer Systeme* besteht, lässt sich diese nur auf Basis von CYPO/IMKO einlösen: Die *Cyber-Physical Ontology* (CYPO) stellt dabei die Ontologiearchitektur des integrierten Ontologiekonzepts; das *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) Framework gewährleistet demgegenüber den einheitlichen Ontologiebegriff im Leibniz-Whiteheadschen Sinne. Dass nicht nur das *U-PLM-Referenzszenario* im Kontext von *Connected Industry* bzw. *IoX-Hyperspace* richtig gewählt ist, wird mit Yoo et al. (2016b) deutlich. Denn hier findet sich alles zusammen, indem es auf Basis des *Internet of Vehicles* (IoV) um *U-PLM-Systeme* als auf *Produkt-Service-Systeme* (PSS) bezogene Integrationsplattform geht, bei der über die *W3C SSN Sensor Ontology* auf DOLCE+DnS Ultralight (DUL) als *Top-level Ontology* referenziert wird. Damit schließt das in Pkt. 1.2 umrissene TLO-Inkommensurabilitätsproblem unmittelbar an, indem gezeigt werden konnte, dass in den verschiedensten Sphären des *U-PLM-Referenzszenarios* im Grunde das ganze Spektrum konkurrierender TLO-Theorieanwärter zum Zuge kommt.

Nur auf dieser Basis kann es gelingen, die Ontologieproblematik der Informatik zu überwinden. Denn diese besteht im Kern darin, dass sie bislang weder über einen anerkannten Ontologiebegriff noch über ein universal einsetzbares Ontologiekonzept verfügt, die sich auf Basis einheitlicher digitalmetaphysischer Grundlagen in sämtlichen ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarien, insbesondere auch in IoX-Umgebungen der *Smart Enterprise Integration* (SEI) universal einsetzen lassen. Grundsätzlich problematisch ist dies insofern, als eine vollumfängliche semantische Interoperabilität regelmäßig Systemgrenzen überschreitet, womit ein einheitliches Ontologieverständnis vorauszusetzen ist. Diese Notwendigkeit wird insbesondere mit *integrierten Smart Web Szenarien* offensichtlich: das Smart Web stellt das AI-basierte *Internet der Dinge* dar, in das gerade auch physische Objekte im Sinne Cyber-physischer Systeme (CPS) eingebunden sind, die wiederum als *Smart Objects* zunehmend über umfassende Intelligenz verfügen. Vor dem Hintergrund solcher und weiterer ontologischer Anwendungs- und Integrationsszenarien ist nicht nur die Inkompatibilität der verschiedenen Ontologieverständnisse der Informatik zu bemängeln sondern auch der Umstand, dass diese nicht CPSS-adäquat sind. Mit dem schon aus Gründen der Fehlerreduktion geltenden Imperativ *vollumfänglicher semantischer Interoperabilität* ist die Informatik somit zu einer umfassenden Synthese gezwungen, die sowohl den Ontologiebegriff als auch das Ontologiekonzept umschließt. Diese Synthese ist also in jedem Fall zu vollziehen; offen ist allein, auf welchem Wege dies geschieht.

In diesem dritten Teil wurde diese Synthese Schritt für Schritt vollzogen. Dazu war es in Pkt. 3.2 ff. bzw. Pkt. 3.3 ff. notwendig, zunächst die drei elementaren Widerstreite, die die große Konfusion um die Ontologie der Informatik bedingen, zu eliminieren. Dies bezog sich erstens auf den *Widerstreit von CM- und AI-Ontologien*, zweitens auf den *Widerstreit von philosophischer und AI-Ontologie*, sowie drittens auf den *Widerstreit von realistischer und linguistischer Ontologie* und entsprechender OE-Ansatzpunkte. Alle drei Widerstreite sind eng miteinander verflochten, was daran deutlich wird, dass sie sämtlich von Relevanz sind für einen weiteren Widerstreit, der insbesondere mit der Ontologiekonzeption Grubers die Frage betrifft, ob die *Top-level Ontologie* – insbesondere als OE-Ausgangspunkt – unabdingbar ist oder nicht. Mit der Eliminierung des zweiten Widerstreits muss sich diese Synthese gleichzeitig auf die Philosophie und die Informatik erstrecken, worauf die in Pkt. 3.5 erörterte CYPO-Ontologiekonzeption explizit abstellt. Sie führt die sieben bei Guarino/Giaretta (1995) dargelegten Ontologieverständnisse der Informatik, einschließlich jene Grubers (1993) oder Guarinos (1995, 1998), die bei Jacquette (2002), Angeles (1981) bzw. Feibleman (1954a) zu findenden vier, fünf bzw. mehr als sechs typischen realistischen Ontologievarianten der Philosophie, die verschiedenen analytischen Ontologieverständnisse etwa Russells (1919a), Wittgensteins (1921), Quines (1948, 1968) oder Churchs (1951, 1958), die darauf aufsetzenden unzähligen linguistischen Ontologieverständnisse Strawsons (1959) und Nachfolger sowie moderne idealistische Varianten wie jene Reschers (1979) oder P.M.S. Hackers (2004a) einer einzigen Synthese zu.

Diese Synthese besteht darin, dass sich die verschiedenen bisherigen Ontologieansätze in Form differenter Weltypen der metaphysischen Wissensontologie in der integrierten CYPO-Ontologiekonzeption wiederfinden bzw. sich diesen zuordnen lassen. Es steht außer Frage, dass eine solche Synthese nicht jeden restriktiven Aspekt der bisherigen Ansätze übernehmen kann, sondern sich vielmehr auf ihren generellen Zuschnitt bezieht.²⁵²⁸ In diesem Sinne ist exemplarisch festzustellen, dass das Ontologieverständnis Quines (1948, 1968) – und damit McCarthys (2000) – mit der W1-Ontologie konform geht, genauso wie etwa jenes Bunges (1977a), jenes von Angeles (1981) oder jenes von B. Smithens (1998a) *R-ontology*. Demgegenüber korrespondiert B. Smithens (1998a) *E-ontology* mit der W2-Ontologie, wie es sich für Wittgenstein (1921), Rescher (1979) oder P.M.S. Hacker (2004a) und schließlich auch für Gruber (1993) genauso sagen lässt. Guarinos (1995) früheres Ontologieverständnis lässt sich der W1-Ontologie zuordnen, während sein Epistemologieverständnis wiederum mit der W2-Ontologie übereinstimmt. Demgegenüber gehören Guarinos (1998) spätere ODIS-Ontologien in den Bereich der W3-Ontologien. Daneben ist die Grubersche (1993) Ontologie dann unter die W3-Ontologie zu fassen, wenn sie im

²⁵²⁸ Bspw. lässt sich die Forderung, dass Objekte *zwingend 3D-Objekte* zu sein haben, nicht übernehmen. Dennoch lassen sich die Eigenschaften von 3D-Objekten auch in einem 4D-Ansatz insofern berücksichtigen, indem er als Teil einer metaphysischen Theorie im Sinne eines universalen evolutionären Ansatzes verstanden wird, der verschiedene Zustandskonstellationen zulässt. Entsprechend lässt sich das Stationäre solcher 3D-Objekte im evolutionären Rahmen abbilden, ohne dass es zu *ontologischen Inkonsistenzen* kommt, wie sie die Koexistenz von 3D- und 4D-Objekten letztlich bedingen würde.

Sinne von Gruber (2004: 5) als "treaty" im praxiskollaborativen Konsens objektiviert wird. Entsprechend vermögen W2-Ontologien auch im methodologischen Sinne Poppers in W3-Ontologien überzugehen. Demgegenüber bestehen auch zahlreiche sozioökonomische Ontologien, die in den Bereich der W4-Ontologie gehören. Hierzu sind etwa die erwähnten Ansätze von Grassl (1999), Hare (1999), Zúñiga (1999), Bibel (2004), Dopfer/Potts (2004), Klaes (2004), Peacock (2004) oder Vromen (2004) zu zählen. Gerade auch sie laufen in einer *Semantic E-Science* auf eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* hinaus, wie sie in Pkt. 3.4 und Pkt. 3.5 mit CYPO/IMKO umrissen worden ist.

Alle bisher vorgebrachten Ontologieentwürfe haben inhaltlich betrachtet konkrete Zwecksetzungen und insofern auch ihre Bewandnis. Insofern sollte es gelten, die Fokussierung dieser an sich inferioren Ansätze in einer Ontologiesynthese in Form differenter ontologischer Welttypen in einer integrierten Ontologiekonzeption zusammenzuführen. Dabei bleibt der eigentliche Charakter der einzelnen Ansätze in dieser Synthese soweit wie möglich erhalten. Darüber hinaus muss es sich bei einer solchen Synthese insofern um eine echte *Wissensontologie* handeln, als diese in der ganzen erforderlichen Tiefe auf die disparate *Natur des Wissens*, etwa auch in Bezug auf ihre unterschiedlichen Wahrmacher, abstellt. Mit der CYPO-Synthese werden die unzähligen divergenten Ontologiebegriffe und -konzepte, deren dauerhafte Koexistenz unter epistemologischen wie wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkten inakzeptabel ist, auf einen gemeinsamen Nenner gebracht: auf *einen* universalen Ontologiebegriff und auf *ein* integriertes, als *Mehrweltenontologie* verfasstes Ontologiekonzept, das sich als Wissensontologie in metaphysischer Hinsicht in einer CYPO-konformen Top-level Ontologie begründet. Demnach repräsentieren Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle*, die in der integrierten Systematik von CYPO FOX im Sinne durchgängiger Welttypen systematisch aufeinander bezogen sind. Dazu müssen sie notwendig auf der *Top-level Ontologie* als fundamentalem Weltmodell aufbauen. Denn allein auf diese Weise wird es möglich, alle konzeptuellen wie semantischen Modelle cyber-physischer IoX-Systeme auf eine einheitliche kategoriale wie meta-ontologische Basis zu stellen, worüber sich erst eine vollumfängliche semantische Interoperabilität wie die Lösung des Inkommensurabilitätsproblems bewerkstelligen lässt.

Diese integrierte Ontologiekonzeption lässt im Sinne von Feyerabends (1975) "*anything goes*" auf Basis vier divergenter Welttypen nicht nur alles zu, sondern integriert es systematisch. Das geschieht dadurch, dass diese Welttypen von CYPO FOX auf ein einheitliches "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*" referenzieren, das in Form einer CYPO-konformen Top-level Ontologie zu entwickeln ist. Dabei hat ein solcher Ansatz wiederum als *Top-level Ontologie* seinerseits eine *TLO-Synthese* zu bilden, da sich nicht nur im Hinblick auf die Ontologiebegriffe und Ontologiekonzepte das Problem der Koexistenz unzähliger inkompatibler Ansätze stellt, sondern gleichermaßen in Bezug auf die in Pkt. 1.1 genannten unzähligen inkommensurablen TLO-Theorieanwärter. Auch diese gilt es auf Basis der integrierten CYPO-Ontologiekonzeption zu vereinheitlichen, so dass

eine Top-level Ontologie als universale Referenzbasis bzw. als digitalmetaphysischer "Gold Standard" der Informatik möglich wird. Mit dieser *dreifachen Synthese von Ontologiebegriff, Ontologiekonzept und Top-level Ontologie* wird eine vollumfängliche semantische Interoperabilität möglich, die auf der Interaktion verschiedenster Ontologiearten und -typen gründet. Dies betrifft insbesondere das notwendige Zusammenspiel von wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien; es umfasst aber auch jenes von subjektiven und objektiven Ontologien oder etwa das von Ontologien, die aktuelle bzw. mögliche Welten zum Gegenstand haben. Indem mit dieser Synthese auch die diskutierten drei elementaren Widerstreite vollständig überwunden werden, lässt sich mit der CYPO-Ontologiekonzeption das fundamentale Ontologieproblem der Informatik insgesamt lösen.

Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zeigen sich diese umfassenden Vorarbeiten unerlässlich, weil es bei ihr im Zuge der *Smart Enterprise Integration* (SEI) gerade um ein ontologisches Anwendungs- und Integrationsszenario geht, das sämtliche ontologische Anwendungsfälle umfasst. Für ubiquitäre Closed-loop U-PLM-Systeme (U-PLM) ist insbesondere eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption unabdingbar, die im Zeichen der höheren Informationsfusion (HLIF) steht. Diese läuft auf die erwähnte Interaktion verschiedenster Ontologiearten und -typen hinaus. Vor allem hat sie im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" gleichermaßen auf die fundamentalen Strukturen *physischer wie virtueller Welten* abzustellen, die eine realistisch-metaphysische Ontologiekonzeption erfordern, die gleichzeitig nicht vor möglichen Welten und subjektiven Welten mitsamt dem Moment kognitiver Verzerrung Halt macht. – Indem mit Pisanelli et al. (2002: 125) gilt, dass keine computerbasierten Systeme mehr ohne ontologischen Ansatz entwickelt werden, steht außer Frage, dass für das Engineering überlegener AI-Systeme wie IKS, CPS bzw. den CPPS der *Smart Factory* die ontologische Gesamtarchitektur entscheidend ist.

Vor dem Hintergrund der Ausführungen in diesem dritten Teil wird deutlich, dass über den linguistischen OE-Ansatzpunkt entwickelte Ontologien für eine ontologische Gesamtarchitektur im PLM-basierten Industriekontext nicht wegweisend sein können. Vielmehr läuft eine der semantischen Systemintegration verpflichtete ontologische Gesamtarchitektur in komplexen ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarien notwendig auf eine *metaphysisch fundierte Top-level Ontologie* hinaus. In ihr muss der OE-Ansatzpunkt bestehen, damit eine umfängliche semantische Interoperabilität realisierbar wird. Während die *Ontologie* Weltmodelle mitsamt eines transdisziplinären *Ontology Engineering* zum Gegenstand hat, zielt *Metaphysik* auf die Frage der fundamentalen Strukturen dieser Welten, allen voran auf die Struktur der realen Welt als Ganzes. Im Sinne des in Pkt. 4.1 behandelten *Ratio-Empirismus* kann es sich dabei allein um einen spekulativen Entwurf handeln, der im Wechselspiel mit den Wissenschaften resp. Technologien im Sinne einer allgemeinsten Theorie beständig zu revidieren ist. Dabei kommt der *Theorie komplexer Systeme* eine Mittlerfunktion zu. Insgesamt hat ein *transdisziplinäres Ontology Engineering top-down* von der *Top-level Ontologie* auszugehen. Denn nur über diese lässt sich auf

Basis einheitlicher TLO-Kategorien und einer universal gültigen Meta-Ontologie das entscheidende Transdisziplinaritätsmoment gewährleisten, welches die Top-level Ontologie allein aus einem universalen metaphysischen System beziehen kann. Entsprechend schließt das Arbeitsgebiet von Ontologen prinzipiell immer die metaphysische Analyse mit ein.²⁵²⁹

Überlegene AI-Systeme lassen sich nur dann realisieren, wenn es etwa im Sinne der HLIF-Informationsfusion oder der U-PLM-Steuerung komplexer Produktlebenszyklen gelingt, verschiedenste Ontologietypen und -arten *ad hoc* miteinander zu kombinieren. Daraus folgt das Erfordernis einer *integrierten Ontologiekonzeption*, auf deren Basis sich verschiedenste Ontologien heterogener Quellen jederzeit beliebig verknüpfen lassen. Technologische Ontologien erhalten auf diese Weise im Zuge der Prozessintelligenz Rückgriff auf wissenschaftliche Ontologien, genauso wie sich subjektive Ontologien im Zuge von Innovationsprozessen in objektive überführen lassen. Wissenschaftliche Ontologien verschiedenster Disziplinen sind auf dieser Basis im Sinne einer Aufschaltung von Domänenontologien transdisziplinär verknüpfbar. Solche Kombinationen werden im Hinblick auf die erforderliche Präzision und Stabilität erforderlich. Sie werden möglich, wenn zwischen spezifischen Ontologie- resp. Welttypen differenziert wird, die auf je spezifischen Wahrmachern (Truthmakers) basieren. Die Ontologie hat sich damit als Wissensontologie an spezifischen Wissenswelten zu orientieren, die in Zuordnung der heterogenen Wissensarten zu Wahrmachern zu insgesamt vier Welttypen führen. Insofern läuft eine systematisch durchdachte integrierte Ontologiekonzeption auf die emergentistische Ontologiearchitektur von CYPO FOX hinaus.

Im Zuge der Diskussion einer dauerhaft stabilen *Top-level Ontologie* und ihrer Funktion in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist deutlich geworden, dass für das Engineering überlegener AI-Systeme wie IKS, CPS resp. CPPS ein weitreichendes Umdenken erforderlich wird, das zahlreiche Konsequenzen für das *Ontology Engineering* impliziert. Der zentrale Gedanke besteht dabei zum einen darin, dass hochintelligente Systeme im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" immer metaphysisch zu fundieren sind, was allein über die Top-level Ontologie führen kann. Vor diesem Hintergrund wird ein vollständig neues Verständnis der konzeptuellen Modellierung erforderlich, wie es als *postklassisches CM-Verständnis* in Pkt. 3.2.2 umrissen wurde. In diesem werden AI-Systeme etwa als Multiagentensysteme (MAS) in einer Weise modelliert, die auf Basis von Multi-sensorsystemen und Sensorontologien diese im Sinne von *Subjekt-Superjekten* selbst zum interaktiven Teil evolvierender Diskursuniversen erhebt. Entsprechend besteht eine notwendige Korrespondenz zwischen CM- und AI-Sphäre. An die Seite eines *postklassischen CM-Verständnisses* muss mit Pkt. 3.2.3 somit ein *postklassisches AI-Verständnis* rücken (et v.v.). Dieses postklassische AI-Verständnis der dritten AI-Generation basiert auf MAS, die wiederum *komplexe adaptive Systeme* (CAS) bilden. Damit avanciert die Komplexitätsforschung insgesamt zum einigenden Paradigma komplexer Diskurswelten, indem sie

²⁵²⁹ Vgl. zum Arbeitsgebiet der *Metaphysik* sowie der *Ontologie* auch Jubien (1997: 20 ff.).

gleichzeitige Relevanz für die konzeptuelle Modellierung wie für moderne AI-Systeme als MAS entfaltet. In ihr besteht mit Verweis auf Pkt. 4.3 darüber hinaus der ratio-empirische Mittler der in Pkt. 4.1 bzw. Pkt. 4.2 umrissenen techno-wissenschaftlichen Metaphysik. Damit kann der notwendige Integrator von CYPO *FOX* als emergentistischer Ontologiearchitektur allein in einer komplexitätsorientierten *Top-level Ontologie* bestehen, die zum einen entsprechend speziell mit den Sichtweisen der Komplexitätsforschung korrespondiert, zum anderen Feyerabends (1975) "*anything goes*" eröffnet. Eine solch vielseitig einsetzbare *Top-level Ontologie* existiert bisher nicht; sie muss indessen insgesamt auf einen systematischen Entwurf hinauslaufen.

Für die Praxis des *Ontology Engineering* sind mit dem skizzierten TLO-Zentrismus insofern umfassendste Konsequenzen verbunden, als sich die traditionelle OE-Praxis nicht mehr rechtfertigen lässt: Nach Maßgabe der CYPO-Ontologiekonzeption hat jedes *Ontology Engineering* immer systematisch von der *Top-level Ontologie* als universaler Referenzebene auszugehen, wovon die heutige Praxis in den meisten Fällen weit entfernt ist. Auch hat jeder AI-Entwurf mit der konzeptuellen Modellierung nach postklassischem CM-Verständnis zu beginnen; allein auf dieser Basis lässt sich sachgerecht zwischen Kategorien der AI-Ontologie differenzieren, etwa zwischen internen und externen Ereignissen. Dabei zeigt sich das Erfordernis zur Klärung zahlreicher meta-ontologischer Aspekte, was im Rekurs auf die *Top-level Ontologie* zu erfolgen hat. Dies betrifft etwa die elementare Frage nach dem Verhältnis von Objekt, Ereignis und Prozess.²⁵³⁰ Erst dann ist eine sachgerechte Modellierung von Diskursuniversen möglich. Die AI-Wissensrepräsentation hat daran konsequent anzuschließen, indem konzeptuelle Modelle in semantische überführt werden und es im Sinne der CYPO-Ontologiedefinition gilt, Ontologien als formale Weltmodelle semantisch explizit zu spezifizieren, wie es *Heavyweight-Ontologien* erfordern.

Im Zuge der Reflexion der Grundfragen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wurde in diesem dritten Teil eine ganze Reihe von Erkenntnissen in der Ontologiefrage gewonnen. Diese sind insofern elementar, als ihre Problemkreise nicht nur verschiedenste Bereiche der Informatik berühren und über die Frage des *Ontology Engineering* oder die semantische Systemintegration weit hinausreichen, indem sie mit Pisanelli et al. (2002) etwa in dem in Pkt. 6.2.1 dargelegten SCEP-Sinne als operationale CPS-Basis oder als ODIS-Basis insgesamt wesentlich das Design computerbasierter Systeme betreffen. Vielmehr sind diese Erkenntnisse auch insofern wesentlich, als die Fragen, auf die sie sich beziehen, bislang ungelöst und mitunter auch überaus umstritten sind. Dabei zeigen sich die erzielten Resultate nicht nur von theoretischer Bewandnis für die Informatik, sondern gerade auch von unmittelbar praktischer Relevanz für IoX-basierte AI-Anwendungen. Diese sind nochmals in den folgenden zwanzig Thesen im Einzelnen zusammengefasst:

1. Es gibt keinen *Gegensatz von CM- und AI-Ontologie*. Vielmehr sind sie notwendig in *einem* Ontologiekonzept zu behandeln, weil die konzeptuelle Modellie-

²⁵³⁰ Vgl. dazu Pkt. 4.4 sowie Pkt. 6.1.1.

rung für die Wissensrepräsentation das Diskursuniversum strukturiert. Dazu bedarf es einer integrierten Ontologiekonzeption.

2. Mit Blick auf die hochintelligenten AI-Systeme der dritten AI-Generation ist sowohl mit dem klassischen CM-Verständnis wie mit dem klassischen AI-Verständnis fundamental zu brechen. An ihre Stelle hat jeweils ein *postklassisches* Verständnis zu treten, die im Sinne einer einheitlich vorausgesetzten TLO-Basis integriert sind. Die Kopplung von CM- und AI-Sphäre kann allein über die *Top-level Ontologie als universaler Referenzebene* erfolgen.
3. In der *Top-level Ontologie* besteht der *Kern jeder integrierten Ontologiekonzeption*. Sie ist als fundamentale Ontologie im IoX-Hyperspace Basis von allem und muss damit auch den Ausgangspunkt für das *Ontology Engineering* bilden. Damit hat sie selbstverständlich zugleich den Anforderungen der konzeptuellen Modellierung wie der Wissensrepräsentation gerecht zu werden. Entsprechend muss sie insgesamt grundsätzlich realistisch konzipiert sein.
4. Sämtliche bisher vorgelegte TLO-Theorieanwärter sind schon mit Blick auf ihren Ontologiebegriff und ihr Ontologiekonzept inkommensurabel; hinzu kommen die im sechsten Teil diskutierten meta-ontologischen Aspekte. Insofern bestätigt sich mit Verweis auf Pkt. 1.2 nochmals, dass sich das Inkommensurabilitätsproblem nicht durch ein TLO-Mapping überwinden lässt. Vielmehr wird es erforderlich, die bestehenden TLO-Theorieanwärter aktiv zu selektieren. Dabei ist festzustellen, dass es keinen TLO-Theorieanwärter gibt, der den essentiellen Anforderungen komplexer wie diffiziler Fälle semantischer Systemintegration gerecht wird. Anders gewendet zeigt sich bereits anhand der in diesem dritten Teil behandelten Ontologiebegriffe und Ontologiekonzepte, dass gegenwärtig kein TLO-Theorieanwärter verfügbar ist, der für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* als tatsächlich adäquat eingestuft werden kann. Das geht unter anderem darauf zurück, dass keiner der TLO-Theorieanwärter nach Maßgabe *integrierter Ontologie als Mehrweltenontologie* konzipiert ist.
5. Es gibt keinen *Gegensatz von philosophischer vs. linguistischer AI-Ontologie*. Die AI-Ontologie ist vielmehr mit der philosophischen Ontologie identisch, indem jede sachgerechte AI-Ontologie eine *kategoriale Basis* voraussetzen hat. Umgekehrt muss jede philosophische Ontologie nicht nur den Ansprüchen formaler Ontologie genügen, sondern darüber hinaus im Zeichen des Zusammenspiels von universaler und regionalen Ontologien und somit im Hinblick auf die Wissensrepräsentation in der KR/AI-Ontologie münden. Insofern werden die in Pkt. 3.3 genannten Differenzierungen wie jene von Poli/Obrst (2010), die zwischen einer *ontology_c* und einer *ontology_t* unterscheiden, hinfällig. Diese Ni-vellierung wird dadurch möglich, dass die Ontologie mit Pkt. 4.1 im Zeichen des

IMKO *OCF* generell auf einer *techno-wissenschaftlichen Metaphysik* der Klasse 4 aufbaut.

6. Es gibt keinen *Gegensatz von realistischer vs. linguistischer Ontologie*. Vielmehr hat alle Ontologie prinzipiell auf eine *realistische Top-level Ontologie* zu referenzieren, die die Realität im Leibniz-Whiteheadschen Sinne als Cyber-Physik versteht. Mit ihr gilt das Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit, und nichts anderes ist mit dem Antimaterialismus gemeint, insbesondere nicht die Negierung der wesentlichen Bedeutung von Materie.²⁵³¹ Somit besteht in der Rede von "linguistischer Ontologie" ein Widerspruch in sich, weil alle Ontologie notwendig "philosophische Ontologie" ist, da sie sich auf *Weltmodelle* bezieht, die immer *strukturalistisch*, nicht etwa als rein linguistische "Begriffswelt" zu verstehen sind. Entsprechend sollten einfache *semantische Netze* nicht mit *Ontologien* verwechselt werden, indem *Ontologien* als Weltmodelle generell McCarthys (1995) "*general world view*" und seine Problematik bedingen; insbesondere auch das Zusammenspiel von konzeptuellem und semantischem Modell. Solche Verwechslungen gibt es in IoX-Kontexten nach wie vor.²⁵³² Umgekehrt unterscheiden sich *semantische Netze* als einfache *linguistische Begriffsnetze* ganz grundsätzlich von *Ontologien*. Analoges gilt für ihren Bezug zur Metaphysik; semantische Netze weisen diesen weder im Allgemeinen noch notwendig auf; *Ontologien* als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* verkörpern hingegen immer insofern *metaphysische Ontologien*, als ihre *fundamentalen Strukturen* nicht ohne die Metaphysik zu klären sind. Dabei zielt das metaphysische Fundament nicht nur auf die *Top-level Kategorien* mitsamt der wesentlichen Verhältnisbestimmung dieser Kategorien (etwa Objekt, Ereignis, Prozess), sondern es spezifiziert darüber hinaus sämtliche relevanten meta-ontologischen Aspekte. Im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* gilt die obige Ontologiedefinition damit immer nur mit dem Zusatz, dass alle Weltmodelle notwendig einheitlich auf ein fundamentales Weltmodell referenzieren, das durch die *Top-level Ontologie* als oberste Ontologieebene gestellt wird. – Demgegenüber würde die Linguistik sich nur dann selbst genügen können, wenn *Ontologie* im Sinne einfacher Thesauri verstanden würde, was dem Ontologiebegriff jedoch nicht gerecht wird. Denn dieser ist immer notwendig auf Weltmodelle bezogen, wie es für CPS oder die autonome Robotik genauso unabdingbar ist wie für tatsächlich intelligente Systeme, die notwendig auf explikativen *Ontologien* aufbauen. Auch weisen *Ontologien* prinzipiell eine *sprachunab-*

²⁵³¹ Entscheidend ist also lediglich, wie Materie verstanden wird, nämlich mit Russell (1927a: 400 f.) als "*system of events*", was ihre integrative Berücksichtigung in *Cyber-physischen Systemen* (CPS) eröffnet.

²⁵³² Das wird etwa deutlich, wenn V. Díaz et al. (2013: 320) *Ontologie* definieren »as a group of terms that are typical of an area of knowledge, along with the semantic relationships among these terms«, ohne Hvh. des Orig. Das wird dem IoX-Kriterium der *CPSS-Adäquanz* natürlich nicht gerecht.

hängige Gültigkeit auf,²⁵³³ womit das linguistische Moment nochmals in den Hintergrund rückt. Denn linguistische Ontologen behaupten regelmäßig das genaue Gegenteil. Dabei ist festzuhalten, dass führende linguistische Ontologen wie Bateman (1995) durchaus das "*metaphysische Problem*" ihrer "*Common-sense World*" sehen und es als solches auch explizit benennen; allerdings meinen sie auf eine eingehendere metaphysische Erörterung der Ontologie aus dem Grunde verzichten zu können, weil sie in den Grenzen ihres Sprachparadigmas glauben, dass alle Realität "sozial" konstruiert sei. Spätestens mit Cyber-physischen Systemen (CPS) wird jedoch offensichtlich,²⁵³⁴ dass sie das *an sich* gewiss nicht ist, sondern vielmehr die Gesetze bzw. Voraussetzungen der Cyber-Physik gelten. Daneben gibt es eine soziale Welt, die im Zeichen von Multiagentensystemen ontologisch einen zusätzlichen spezifischen Welttypus erfordert. Dieser ist konzeptionell zwingend von der individuellen Agentenwelt zu differenzieren; denn zum einen ließen sich ansonsten keine individuellen Agentenstrategien ontologisch begründen: Linguistische "Ontologen" verwechseln vor diesem Hintergrund grundsätzlich die epistemische mit der ontischen Ebene, die es mit Rescher (2003a) gerade zu differenzieren gilt. Zum anderen sind es die engen subjektivistischen Grenzen einzelner Agentenwelten, die die Realisierung globaler Optima regelmäßig verhindern, wenn gilt: »Each element in the system is ignorant of the behaviour of the system as a whole, it responds only to information that is available to it locally«. ²⁵³⁵

7. Im fundamentalen Unterschied zu Gruber (1993: 199) bezieht sich die Ontologie gerade nicht auf eine *linguistische Konzeptualisierung*, also auf *rein sprachliche Konzepte*, sondern vielmehr auf *konzeptuelle Modelle*, auf *Weltmodelle*, die zu meist – wenn auch nicht zwingend – *realweltliche Modelle* darstellen. Dabei interessieren nicht nur die *Strukturen der Diskurswelten* an sich, also die *domänenbezogenen konzeptuellen Strukturen*, sondern vielmehr die übergeordneten *multidomänenbezogenen konzeptuellen Strukturen* mit ihren fundamental fachlichen Kategorien und schließlich vor allem die hinter allem stehenden *fundamentalen konzeptuellen Strukturen*. Indem Ontologie immer auf *konzeptuelle* bzw. *diskursweltliche Modelle* bezogen ist, für die gerade diese Strukturen ausschlaggebend sind, die etwas völlig anderes sind als *sprachliche Strukturen*, ist die Rede von "linguistischer Ontologie" einmal mehr als widersprüchlich identifiziert. Denn diese abstrahiert gerade von der ontologischen Ebene, wobei es in strukturalistischer Sichtweise prinzipiell unerheblich ist, ob die Entitäten *real* existieren oder nicht. Das Grubersche Ontologiekonzept ist als linguistisches Ontologiekonzept vollständig unhaltbar. Es vermengt nicht nur gänzlich dispa-

²⁵³³ Vgl. Bunge (1974b: 189 f.).

²⁵³⁴ Das gilt auch dann, wenn Bateman/Farrar (2004) GIS-Aspekte für die Robotik genauer zu klären suchen.

²⁵³⁵ Vgl. Cilliers (1998: 4).

rate Welten in einer Monoweltenontologie; ihm fehlt vor allem der systematisch gesicherte Realitätsbezug, der Rekurs auf ein metaphysisches Fundament sowie die Referenz auf technologie- resp. wissenschaftsadäquate Wahrmacher.

8. Es ist unmöglich, von Fakten der Sprache auf reale Fakten schließen zu wollen; allerdings muss *Ontologie* an sich letztere Funktion prinzipiell erfüllen können. Insofern ist *linguistische Ontologie*, die jenseits von Thesauri usf. verstanden werden soll, methodologisch unmöglich. Damit ist der linguistische OE-Ansatzpunkt entsprechend strikt abzulehnen. Zwar ist die Linguistik für die Ontologie nicht unwesentlich, wenn es um normalsprachliche Repräsentationen geht. Ein ontologischer Ansatzpunkt im Sinne linguistischer Ontologie ist damit aber nicht impliziert. Das ist in dem Sinne gemeint, dass etwa jüngere Ansätze wie OPM oder SBVR auf *Structured English* aufbauen. Dabei ist es unmöglich, von *Structured English* auf *gegebene reale Fakten* im Diskursuniversum schließen zu wollen. Wohl aber ist es im Sinne des Zusammenspiels von konzeptuellen und semantischen Modellen umgekehrt möglich, gegebene reale Fakten auf Basis von *Structured English* zu repräsentieren, sofern eine kategoriale TLO-Referenz erfolgt. Das *Verhältnis von Welt und Sprache* ist somit in dieser Reihenfolge *monodirektional*, nicht etwa bidirektional oder in umgekehrter Reihenfolge interpretierbar. Insofern wird deutlich, dass die Linguistik bloßes Hilfsmittel der Wissensrepräsentation ist, deren Vorteil gegenüber Alternativen allein darin besteht, dass sie für *menschliche* Agenten unmittelbar verständlich ist. Im Sinne etwa der Prädikatenlogik entspricht die *linguistische Beschreibung von Ontologien* in ihrer Bedeutung der formalen Logik, nicht aber der Ontologie an sich. Mit *Ontologie an sich* hat die Linguistik nur indirekt zu tun, indem die Grenzen der Sprache die *Grenze der linguistisch repräsentierbaren Welt* markiert.
9. Das Ontologiekonzept Guarinos (1998) ist als philosophisch orientiertes linguistisches Ontologiekonzept gleichermaßen defekt, indem es wie Gruber auf der verfehlten Idee deskriptiver Metaphysik aufbaut. Für beide gilt: »[L]anguage and thought are indeterminate, creative, and full of (useful) fictions. But this is exactly the reason why semantic ambiguities exist in the first place.«²⁵³⁶
10. Das Ontologiekonzept der BWW-Ontologie ist mehrfach defekt, u.a. deshalb, weil es auf eine rein materialistische Ontologie verweist, mögliche Welten ablehnt, ein insgesamt defektes Realitätsverständnis aufweist, und keine realitätsgerichtete, d.h. CPSS-adäquate *Ontologie der Artefakte* zulässt, wie es in Pkt. 5.3 detaillierter erörtert wird.
11. Das Ontologiekonzept von Smithens BFO-TLO besticht nur auf den ersten Blick durch Adäquanz für *Scientific Ontologies*; tatsächlich aber ist in genau *dieser* Hinsicht die BWW-TLO mit Bunges *Scientific Realism* in Bezug auf objektives,

²⁵³⁶ Vgl. Scheider et al. (2010: 133).

CPSS-adäquates Wissen durchdachter als Smithens methodologisch fragwürdiges kognitionswissenschaftliches Prinzip der *Veridikalität*. Allerdings scheitern beide TLO-Ansätze mit ihrem neo-aristotelischen materialistisch-realistischen Ontologiekonzept gerade an den wesentlichen technologischen Anwendungserfordernissen von AI-Ontologien. Bezüglich technologischer CPS-Welten ist das Konsensprinzip als praktischer Wahrmacher genauso zulässig wie mögliche Welten oder Objekte, die nicht real instantiiert sind. Allerdings gilt es dann, die entsprechenden Welten strikt abzugrenzen, auch wenn sie kausal interdependent zu sein vermögen. Analoges wird bei ontologiegestützten Innovationsprozessen erforderlich, wenn reale Produkte und Services erst nach und nach emergieren. Bei der BFO-TLO kommt eine widersprüchliche Koexistenz von 3D- und 4D-Sachverhalten hinzu, die als *ontologische Inkonsistenz* zu werten ist. Im Einklang mit seiner Fixierung auf *Scientific Ontologies* ist Smithens Ontologiekonzept auch insofern als unzulässig verengt zu verstehen, als ihm im Kern der Gedanke *wissenschaftlich-öffentlicher Ontologien* zugrundeliegt, nicht aber jener in vielen Anwendungskontexten gerade entscheidende Gedanke *technologisch-resp. praktisch-privater Ontologien*. Diese Unterscheidung ist überaus wesentlich; nicht nur im Hinblick auf die Repräsentationsfrage, sondern vor allem auch in Bezug auf all jene Fragen, die auf ontologiebasierte Wettbewerbsvorteile zielen. Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* sind gerade letztere Fragen entscheidend, die von weitreichender Konsequenz sind. Hierzu zählen etwa jene nach systematischer Verknüpfbarkeit verschiedenster Ontologien resp. Ontologiemerkmale, die semantische Durchgängigkeit disparater Ontologietypen, die ontologiegestützte Prozessintelligenz wie insgesamt die *Smart Enterprise Integration* (SEI). Insofern kann das Ontologiekonzept Smithens gerade im industriellen bzw. im ODIS-Kontext kaum sinnvoll erscheinen, während es in der *wissenschaftlich-öffentlichen Ontologiesphäre* an seinen methodologischen Unzulänglichkeiten scheitert.

12. Im industriellen Kontext, in dem PLM-Systeme eingesetzt werden, sind nicht nur Ontologien, die für technologische Zwecke Einsatz finden (technologische Ontologien) unverzichtbar, sondern gerade auch solche, die in einem wissenschaftlichen, insbesondere naturwissenschaftlichen Zusammenhang stehen (wissenschaftliche Ontologien).^{2537, 2538} Wie mit S. Brandt et al. (2008) am Beispiel der chemischen Prozessindustrie deutlich wird, ist wissenschaftliches Wissen schon heute nicht aus PLM-zentrischen Innovationsprozessen wegzudenken. Entsprechend laufen wissenschaftliche Ontologien Hand in Hand mit realfaktensbasierten technologischen sowie rein praktischen Ontologien, die im Refe-

²⁵³⁷ Von solchen *wissenschaftlichen Ontologien* ist etwa bei Smith/Kusnierczyk et al. (2006) die Rede.

²⁵³⁸ Zur Differenzierung von *reiner und angewandter Wissenschaft* sowie *Technologie* vgl. Bunge (2001c).

renzszenario dazu notwendig sind, den komplexen Produktentwicklungsprozess einschließlich einer umfassenden Integration der BOL-, MOL- und EOL-Phasen im Sinne stabiler und intelligenter Prozesse zu steuern. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hat also gerade dem Umstand Rechnung zu tragen, dass solche praktischen, technologischen sowie wissenschaftlichen Ontologien regelmäßig kombiniert werden, womit es auch in dieser Hinsicht einer integrierten Ontologiekonzeption sowie eines allgemeingültig verwendbaren universalen Ontologiebegriffs bedarf. Mit Verweis auf das Procedere insbesondere naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse mitsamt der Generierung objektiven Wissens sowie der notwendigen Faktenbasiertheit technologischer resp. praktischer Steuerungsprozesse steht es außer Frage, dass dieser Ontologiebegriff in grundsätzlicher Hinsicht allein *realistischer Natur* sein kann, jedoch *mögliche Welten* eröffnen können muss.

13. Eine moderne Ontologiekonzeption muss als Ontologie des Wissens systematisch auf die verschiedenen Wissensarten und ihre Integration abstellen. Entsprechend sollte sie in der Lage sein, wissenschaftliches, technologisches und praktisches Wissen genauso wie subjektives und objektives Wissen in einem Ansatz zu integrieren. Demnach erfordert eine integrierte Ontologiekonzeption verschiedene Wahrmacher, die zueinander in einem abgestuften Verhältnis stehen, wie es in Pkt. 6.2.8 näher erörtert wird.
14. Die konstatierte große Konfusion um Ontologiebegriffe und Ontologiekonzepte lässt sich nur in einem Rahmenwerk beheben, das tatsächlich Feyerabends (1975) *"anything goes"* entsprechen kann: Zu verschieden sind die einzelnen ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarien, zu verschieden die Natur des Wissens, als dass sie sich ausnahmslos im Sinne einer einfachen *"Entweder-oder-Entscheidung"* durch eng gefasste Ontologiekonzepte adressieren ließen. Hier liegt das zentrale Problem verborgen: alle bisherigen Ontologiekonzepte sind jeweils vergleichsweise eng fokussiert, in aller Regel zu eng; keines zielt systematisch auf Feyerabends (1975) *"anything goes"*, womit eine ontologische Synthese und eine Überwindung der großen Konfusion von vornherein zum Scheitern verurteilt ist. Tatsächlich geht die große Konfusion um das Ontologieverständnis vor allem darauf zurück, dass im Streit etwa um Smithens Universalien vs. Grubers Konzepten kaum berücksichtigt wird, dass die höchst disparate Natur der verschiedensten Ontologiekonzepte primär daraus resultiert, dass sie sich auf vollkommen *disparate Weltypen* beziehen. Das zeichnet Ontologien als semantisch explizit spezifizierte Weltmodelle in ihrer jeweiligen impliziten oder expliziten Referenz auf ein fundamentales Weltmodell aus. Entsprechend lässt sich die ontologische Revolution der Informatik allein auf Basis einer *integrierten Ontologiekonzeption* fortführen, die alle Weltypen vereint.

15. Das Ontologieverständnis wird letztlich wesentlich durch die normative Kraft des Faktischen bestimmt: Ontologie ist das, was heute gemeinhin unter ihr verstanden wird. Allerdings wird offen eingeräumt, dass dies bislang mehr oder weniger unklar ist, weshalb es keine universale Ontologiedefinition gibt: »despite its recent extensive use [...] the term has no universal definition«. ²⁵³⁹ Für einen in Philosophie, Wissenschaft, Technologie und Praxis gleichermaßen genutzten *Zentralbegriff*, der faktisch einen einheitlichen Ursprung wie gemeinsame Inhalte besitzt, kann dies kaum akzeptabel sein. ²⁵⁴⁰ Durch den faktischen Gebrauch ist der einseitig *realistisch-existenzielle* Ontologiebegriff, wie er sich etwa in der klassischen Systematik Wolffs (1730) findet, in seinem *universalen* Anspruch unhaltbar geworden. Natürlich ist er aber nicht gänzlich überholt, sondern beschränkt sich in seiner Gültigkeit vielmehr auf einen bestimmten Welttypus. Diese Eingrenzung auf einen spezifischen Welttyp ist deshalb erforderlich, als eine allgemeingültige Ontologiedefinition allen in diesem dritten Teil diskutierten Verwendungsweisen gerecht werden muss. Das ist nur auf Basis eines gemeinsamen Nenners möglich, wenn *Ontologie* als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* zu verstehen ist. ²⁵⁴¹ Wesentlich ist dabei, dass sich diese Weltmodelle teils fundamental unterscheiden, womit *genuine Welttypen* zwingend zu differenzieren sind. Diese Differenzierung läuft auf CYPO FOX als integrierter *Vier-Welten-Ontologie* hinaus, die wiederum ihre Grundlegung im fundamentalsten aller Weltmodelle, nämlich in der metaphysisch fundierten *Top-level Ontologie* besitzt. Indem die Ontologie in der Metaphysik mündet,

²⁵³⁹ Vgl. Al-Debei/Fitzgerald (2009: 3).

²⁵⁴⁰ Insofern teilen wir mit Wyssusek (2009) die festgestellte Ausgangssituation, kommen jedoch im PLM- resp. CPS-Kontext mit der vor allem in Pkt. 3.3.2., Pkt. 4.1 sowie Pkt. 6.1.3 entwickelten These einer zwingenden *metaphysischen* Fundierung der *Top-level Ontologie* als OE-Ausgangspunkt und der in Pkt. 3.5 umrissenen CYPO FOX zu vollkommen entgegengesetzten Schlussfolgerungen. Wyssusek vertritt nicht nur einen linguistischen OE-Ansatzpunkt, sondern stellt auch die ontologische Fundierung der konzeptuellen Modellierung in Frage, vgl. Wyssusek/Klaus (2005a) sowie Wyssusek (2006a) – die jedoch heute zu Recht vollkommen außer Zweifel steht, vgl. etwa Guarino/Guizzardi (2006) sowie Wand/Weber (2006). Vor diesem Hintergrund sind die Positionen Wyssuseks vollkommen andere als die hier vertretenen, etwa im Hinblick auf die in Pkt. 3.2.4 diskutierte integrierte CM/AI-Konzeption, die dadurch bedingte zentrale Rolle der *Top-level Ontologie* und dem daraus folgenden Zwang zur Lösung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems. Im Kontext einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption zeichnet sich dabei zusammen mit der Heavyweight-Ontologie und ihrer TLO-Referenz deutlich ab, dass alle hier erwähnten Positionen Wyssuseks, da sie sich gegenseitig bedingen, im Ganzen unhaltbar sind.

²⁵⁴¹ Auch Mizoguchi/Kitamura (2001: 19) beziehen die Ontologiedefinition auf *Welttypen*, wenn sie feststellen: »An ontology is an explicit specification of objects and relations in the target world intended to share in a community and to use for building a model of the target world«, ohne Hvh. des Orig. Allerdings fehlt bei ihnen die Differenzierung genuiner Welttypen, die für eine *integrierte Ontologiekonzeption* unumgänglich ist. Auch fehlt hier die gleichermaßen wesentliche Zugrundelegung eines *fundamentalen Weltmodells*. Wenngleich Mizoguchi/Kitamura (2001) ebenfalls die zentrale Rolle der *Top-level Ontologie* herausstellen, gehen sie jedoch nicht hinreichend auf ihre metaphysische Natur ein. Das betrifft vor allem den Umstand, dass mit der Frage nach den fundamentalen Strukturen der Welten immer *Metaphysik* impliziert ist. Analoges gilt etwa für Huhns/Singh (1997); auch hier ist die Ontologiedefinition *weltenbezogen*, wobei die Rede von *virtuellen* wie von *physischen* Welten ist; allerdings ist hier genauso wenig wie bei Mizoguchi/Kitamura (2001) eine *integrierte Ontologiekonzeption* existent. Das gilt auch für das *weltenbezogene* Ontologieverständnis von Wand/Weber (2004), das metaphysikfundiert ist.

lässt sich ein einheitliches Ontologieverständnis in Philosophie, Wissenschaft, Technologie und Praxis dann erzielen, wenn eine CPSS-adäquate Metaphysik zugrundegelegt wird. Diese besteht mit Pkt. 4.1 generell in einer *techno-wissenschaftlichen Metaphysik* der Klasse 4. Jenseits dieser Synthese bleibt die große Konfusion in der Ontologiedebatte mitsamt des ontologischen Inkommensurabilitätsproblems als Kernproblem dauerhaft erhalten, womit sich weder eine Transdisziplinarität noch eine vollumfängliche semantische Interoperabilität realisieren lässt. Für alle genannten Bereiche, insbesondere für die Ontologie in Philosophie und Informatik, wäre dies kontraproduktiv und letztlich unhaltbar. Insofern besteht in CYPO FOX auf Basis des IMKO OCF der einzige Weg, mit dem sich das ontologische Kernproblem *de facto* überwinden lässt.

16. Eine tatsächlich *CPSS-adäquate Ontologiekonzeption* lässt sich deshalb allein auf Basis der Ontologiearchitektur von CYPO FOX begründen, weil für CPS *alle vier Welten* gleichermaßen konstituierend sind: Die physische Welt (W1) im GIS- bzw. LPS-Sinne genauso wie die subjektivistisch epistemische Welt (W2) im Sinne agentenbasierter Systeme oder die virtuelle Welt intersubjektiver Artefakte (W3) etwa mit Blick auf die CPS-Steuerungslogik. In den vernetzten Strukturen des IoX-Hyperspace implizieren CPS neben dem SEA-Aspekt immer auch den MAS/CAS-Aspekt. In diesem MAS-Sinne geht es um *Artificial Societies*, die genauso wie jede andere soziale Realität einen empirischen Gesichtspunkt eröffnet (W4M). Fortschrittliche CPS beziehen schließlich in sozialen Kontexten (bspw. bei Verkehrsleitsystemen) auch empirisch zugängliches soziales Verhalten menschlicher Agenten mit ein, so dass für sie damit auch die soziale Welt (W4) Relevanz besitzt. Vor allem aber sind diese vier Welten als interdependent zu erachten, und damit in einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption in dieser Interdependenz auch nur als Gesamtheit voraussetzbar. Gleichzeitig sind die Welten jedoch mit der jeweils disparaten Existenz der Entitäten, ihres Realitätsstatus oder schließlich mit Blick auf die verschiedenen Zwecksetzungen der zugehörigen Wissensontologie und ihren methodologischen Aspekten zwingend zu separieren.
17. Für CPS und kognitive Robotik ist nicht nur die *Ontologie* im Zeichen formaler Weltmodelle für alle Agentenklassen zu universalisieren, sondern im Sinne etwa von McCarthy, Simon oder Minsky genauso die *Epistemologie*. In diesem universalen Sinne wird letztere zur *epistemischen Ontologie*, indem auch alle subjektivistischen Agentenwelten semantisch explizit zu spezifizieren sind.²⁵⁴² Mit ihrem notwendigen Rekurs auf Metaphysik, Ontologie, Epistemologie und Methodologie wird deutlich, dass alle zentralen AI-Ideen tatsächlich *philosophische* Ideen sind. Allerdings nimmt die linguistische Ontologie die insbesondere in

²⁵⁴² Vgl. hierzu exemplarisch Barnden (1989).

kombinierten CPS/MAS-Kontexten notwendig vorzunehmende Differenzierung zwischen ontischem und epistemischem Weltmodell in irrtümlicher Weise vor. Bei ihr beschränkt sich die Ontologie entweder auf die epistemische Dimension, was den Regelfall markiert, oder aber beides verschwimmt unzulässiger Weise in einem logischen Raum.

18. Mit U-PLM-Systemen werden die Notwendigkeit einer integrierten Ontologiekonzeption sowie die umfassende Kombination verschiedener Ontologiearten in praxi anschaulich aufgezeigt. Damit bilden sie besonders aufschlussreiche Referenzsysteme für die Ontologiediskussion der Informatik. Es ist davon abzuraten, diese Diskussion jenseits solcher komplexen resp. diffizilen ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarien zu führen, wie es bisher geschieht. Vielmehr empfiehlt sich eine Orientierung am komplexesten wie diffizilsten Integrationsszenario, wobei in U-PLM-Systemen als Integrationsplattform der *Smart Factory* bzw. der *Smart Enterprise Integration* letztlich der einzig sachgerechte Referenzkontext gegeben ist. Denn dieser berücksichtigt auf Basis *integrierter Prozess- und Wissenssysteme* mit Gesichtspunkten der Präzision einerseits wie der wissenschaftsnahen Innovation andererseits sämtliche Ontologiearten, alle Ontologietypen sowie jeden Welttypus. Zugleich basieren U-PLM-Systeme auf IoX-Umgebungen und erfordern in ihrer industriellen CPPS- wie PEID-Orientierung eine CPSS-adäquate Ontologie, woran sämtliche bisherigen Ontologiekonzepte als desintegrierte Ansätze scheitern.
19. Das PPR-Framework bildet gleichzeitig die Bezugsbasis für konzeptuelle wie semantische Modelle und integriert diese im beiderseitigen TLO-Rekurs. Das ist möglich auf Basis identischer Top-level Kategorien sowie einem einheitlichen fundamentalem Weltmodell, das in der ereigniszentrierten CYPO-Ontologiekonzeption speziell auf Komplexitätsaspekte abstellt. Analoges gilt für die fachliche Ebene, indem das fachkonzeptuelle *Enterprise Model* (EM) als konzeptueller Ausgangspunkt sowie die *Enterprise Ontology* (EO) als Kernontologie und dessen semantisch explizite Spezifizierung interdependent sind. Das PPRLT-Framework verlangt mit der *Lebenszyklusorientierung* von PLM-Systemen, dass auch die Objekte im Sinne von *Objektlebenszyklen* modelliert werden, was insgesamt in einem vorauszusetzenden *evolutionären Weltmodell* mündet.
20. In der Komplexitätsforschung besteht das zur Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik ergänzende Einheitsparadigma der Informatik, was sich insbesondere auf Basis der Automatentheorie als Kerntheorie begründet. Auf Basis dieses Einheitsparadigmas ist sowohl die konzeptuelle Modellierung komplexer Diskurswelten möglich als auch das Verständnis von AI-Systemen im MAS/CAS-Sinne. Somit ist auch die *Top-level Ontologie* entsprechend im Zeichen dieses Einheitsparadigmas als komplexitätsorientierte Konzeption zu ent-

3. Diskurs genuiner Grundfragen der Ontologie komplexer IoX-Systeme

wickeln. Eine solche Whiteheadsche Konzeption widerspricht vielem, was in der Ontologie bisher gängig ist, etwa Substanzen, Relata, 3D-Objekten oder der mangelnden bzw. falschen Berücksichtigung der Ereigniskategorie. Umgekehrt setzt jede komplexitätsorientierte TLO-Konzeption die CYPO-Konformität voraus, was sich im CPST-Hyperspace bzw. der durch sie vorausgesetzten technologischen *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads begründet ist. Denn diese ist im Zeichen ihrer Cyber-Physik nicht nur zu den Erfahrungswissenschaften wie der modernen Physik durchgängig, sondern genauso zu den Strukturwissenschaften, allen voran zur Informatik.

4. Techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik als IoX-Ontologiefundament

»There is no way to proceed on the overall project, of developing a comprehensive theory of computation that meets both the empirical and conceptual criteria, except by taking on metaphysics and ontology directly.«

— Brian Cantwell Smith (1996: 69)

Keine Disziplin hat mehr mit der Philosophie bzw. Metaphysik zu tun als die Informatik. Ihr größtes Problem liegt dabei darin begründet, dass jenseits von Ausnahmen wie McCarthy (1995) zu wenige Informatiker bzw. Nutzer von Informatikressourcen diesen alles entscheidenden Grundsatz reflektieren, anerkennen bzw. teils überhaupt verstehen. Oder wenn sie ihn anerkennen, nicht die richtigen Konsequenzen daraus ziehen. Um die Fundamente der Informatik ist es nicht gut bestellt. Um sie richtig zu legen, muss zunächst die Natur der Disziplin als solche verstanden sein. Diese lässt sich nicht so einfach bestimmen wie etwa jene der Physik oder der Soziologie einerseits oder der Ingenieurwissenschaften andererseits. Das liegt daran, dass die Informatik mit Daten, Information und Wissen einen universalen Geltungsbereich besitzt, der gleichzeitig in einem wissenschaftlichen, technologischen wie praktischen Zusammenhang steht. Zudem ist die Informatik im System aller Wissenschaften und Technologien wie auch im praktischen Zusammenhang eine Schlüsseldisziplin. Das gilt sowohl etwa für die Entwicklung von Informations- und Wissenssystemen für alle Bereiche, für das Durchdringen von Artifizierlicher Intelligenz in alle industriellen Sektoren wie alle Lebensbereiche sowie speziell auch für die Repräsentation von Wissen, das sich auf alle wissenschaftlichen, alle technologischen wie alle praktischen Sphären bezieht. Zudem setzt die Informatik einerseits auf der Cyber-Physik und einem entsprechenden Realitätsverständnis und damit auf allen naturwissenschaftlichen Grundlagen auf, andererseits mit agentenbasierten Systemen auf allen kognitiven Aspekten sowie einer sozialen Realität. Insofern ist sie jeweils auch empirische Disziplin. Vor allem aber setzt sie die mathematische Logik voraus, und ist als solche mit Logik und Ontologie als Grundlagen selbst Strukturwissenschaft. Insgesamt verkörpert die Informatik mit ihrem AI-Kern somit eine unmittelbar metaphysisch veranlagte *Strukturwissenschaft und Technologie* zur daten-, informations- und wissensbasierten Systemgestaltung. Sie fällt entsprechend unter die Disziplinen des cyber-physischen *Systems Engineering*. Indem sie dabei notwendig auf umfassenden philosophischen Grundlagen aufbaut, lässt sich Berners-Lees Gedanke des "*Philosophical Engineering*" für sie grundsätzlich universal voraussetzen. Indem es dabei primär um alle prinzipiellen philosophischen Aspekte geht, muss es um ein "*Metaphysical Engineering*" gehen, das als Klasse-4-Metaphysik die objektiven Wahrheiten der Cyber-Physik auf das Design des *CPST- bzw. IoX-Hyperspace* projiziert.

Die *Metaphysik der Informatik* lässt sich in zweifacher Weise verstehen, nämlich zum einen als *Voraussetzung* und zum anderen als *Vollzug*. Dass die Informatik in umfassender Weise Metaphysik im Sinne metaphysischer Dispositionen voraussetzt, lässt sich gewiss nicht abstreiten. Dabei geht es nicht nur um jene metaphysischen Ansätze, die mit dem ersten Teil im Kontext des *Frame Problem* erörtert wurden, sondern vor allem um jene

metaphysische ad hoc Annahmen, mit denen die Informatik seit jeher arbeitet und mit denen sie gänzlich durchsetzt ist. Jedes Modell, jede Sprache, jedes System setzt solche metaphysischen Dispositionen zwangsläufig voraus, angefangen von der Grammatik der Sprache und der Semantik bis zur Natur der Weltstrukturen oder dem Realitätsverständnis. Jedes Cyber-physische System (CPS) setzt bestimmte Annahmen bzgl. der Physik wie des Cyberspace sowie hinsichtlich ihrer kausalen Interaktion voraus. Im AI-Bereich zeigt sich darüber hinaus der enge Verbund von Metaphysik und Epistemologie bzw. Methodologie, etwa wenn die GOFAI-Ansätze der ersten AI-Generation eine *Subjekt-Objekt-Dichotomie* im Sinne der Cartesischen Metaphysik voraussetzen, während diese mit der zweiten AI-Generation etwa im Sinne der Heideggerschen Metaphysik aufgehoben ist. Dass die *Metaphysik der Informatik* insofern besteht, dass letztere erste voraussetzt, ist somit als faktischer Sachverhalt zu werten. Es ist also Fakt, dass die Informatik nicht um die grundlegende wie umfassende Voraussetzung von Metaphysik umhinkommt. Das gilt auch dann, wenn oftmals, etwa im Rückgriff auf die Phänomenologie, nicht explizit von ihr gesprochen wird.²⁵⁴³ Ferner sollten die Verfechter der deskriptiven Metaphysik erkennen, dass hinter dieser Bezeichnung tatsächlich auch Metaphysik steht, indem etwa ihre *Harmonie-These* wiederum auf metaphysischen wie epistemologischen Dispositionen basiert. Das betrifft erstens die Frage der tatsächlichen Strukturidentität zwischen der *Struktur der Realität* und der normalsprachlichen Grammatik nach dem Schema *Subjekt-Prädikat-Objekt*. Zweitens den Umstand, ob *Common Sense* für die cyber-physische Umweltinteraktion von Agenten in den komplexen Systemen des CPST-Hyperspace tatsächlich hinreichend ist.

Während bisher kaum von der *Metaphysik der Informatik* gesprochen wird, obwohl letztere von erster regelrecht durchsetzt ist, stellt sich mit dem Fakt ihrer Voraussetzung gleichzeitig die Frage nach ihrem Vollzug. Damit ist gemeint, ob bzw. inwieweit die Informatik selbst Metaphysik vollziehen muss – und kann. Entsprechend ist mit Vollzug mehr gemeint als Voraussetzung, nämlich einerseits die Auflösung der offenbar umstrittenen Frage, welches Metaphysiksystem für die Informatik tatsächlich adäquat ist, andererseits in welcher Form all ihre Modelle, Methoden, Sprachen, Systeme usf. auf den metaphysischen Grundlagen aufbauen bzw. wie weit der metaphysische Anspruch gehen muss. Im Grunde lässt sich sagen: wer Metaphysik voraussetzt, muss sie auch vollziehen; d.h. es wäre dann dezidiert zu begründen, warum das jeweilig vorausgesetzte Metaphysiksystem für die Informatik adäquat ist. Wissenschaftstheoretisch wäre das zu erwarten; allerdings wird es bisher niemals vollzogen: Würde man die jeweilige Voraussetzung von Metaphysik gleichzeitig als Reflexion vollziehen, müsste man erkennen, dass alle bisher in der Informatik bemühte Metaphysik für sie völlig inadäquat ist.

Insgesamt wird somit deutlich, dass die Informatik von der Praxis, Metaphysik voraussetzen ohne gleichzeitig Metaphysik zu vollziehen, Abstand nehmen muss. Denn es ist genau diese Praxis, insbesondere die auch durch Janlert (1987) zu Recht kritisierten *meta-*

²⁵⁴³ Vgl. dazu auch Fn. 3301.

physischen ad hoc Annahmen sowie die schwerwiegenden Probleme, mit denen die Disziplin unter der Oberfläche ihrer praktischen Ansätze und Konzepte konfrontiert ist, erst induziert. Die jahrzehntelange konfuse Debatte um die Ontologieproblematik etwa hätte man sich vollständig ersparen können, wenn zunächst die metaphysischen Grundlagen der Disziplin eingehend geklärt worden wären. Analoges gilt etwa in epistemologischer Hinsicht für kognitive Agenten oder die Frage nach der Natur von Daten, Information und Wissen usf. Es gilt also für alle Grundlagen der Informatik. Mit Cyber-physischen Systemen (CPS) resp. dem IoX- bzw. CPST-Hyperspace lässt sich im Grunde keine praktische Informatik begründen, ohne zuvor alle relevanten Grundlagen geklärt zu haben. Diese Klärung betrifft bereits die Frage, wie der AI-Kern der Disziplin zu verstehen ist: nach Maßgabe der ersten AI-Generation oder nach jener der zweiten? Sie betrifft das Grundverständnis des im ersten Teil diskutierten *Frame Problem*, das sich weder ohne Metaphysik verstehen noch lösen lässt. Dabei ist mit dem IoX-Hyperspace evident, dass der AI-Kern der Disziplin an sich bisher fehlerhaft konzipiert ist und im Sinne der dritten AI-Generation neu zu begründen ist. Dazu aber kommt die Informatik wiederum nicht um den Vollzug von Metaphysik umhin: sie hat im Sinne von Berners-Lees Gedanken des "*Philosophical Engineering*" zu klären, welche Metaphysik (bzw. Erste Philosophie) für sie tatsächlich adäquat ist und wie ihr AI-Kern auf der Grundlage der richtigen Metaphysik auszugestaltet ist.

Mit dem in Pkt. 3.4 erörterten IMKO *OCF* und der in Pkt. 3.5 darauf aufbauenden Ontologiearchitektur *CYPO FOX* wurde dargelegt, dass die richtige Metaphysik der Informatik auf ihr Ursprungsparadigma zurückweist, nämlich auf das durch Whitehead aktualisierte Leibnizprogramm. Die Metaphysik der Informatik ist also in der techno-wissenschaftlichen Digitalmetaphysik gegeben, wobei das IMKO *OCF* impliziert, dass sämtliche Grundlagen der Informatik in konsistenter Weise von diesem digitalmetaphysischen Fundament ausgehend zu entwickeln sind. Das betrifft das IoX-Ontologiefundament als solches, indem deutlich wird, dass der IoX- bzw. CPST-Hyperspace allein auf Basis einer metaphysischen Ontologie sachgerecht konzipierbar ist, gleichzeitig aber die Ontologie als Wissensontologie benötigt. Diese Doppelfunktion der Ontologie ist mit dem Whitehead-Popper-Konnex angelegt, wobei es eines Scharniers bedarf, das die Kopplung zwischen metaphysischer Ontologie und Wissensontologie gewährleistet. Diesen Dreh- und Angelpunkt bildet die *Top-level Ontologie*; mit ihr lässt sich P.M. Simons' (2006b) »metaphysics constrains semantics« konkret umsetzen, indem sie McCarthys (1995) "*general world view*" in meta-ontologischer wie kategorialer Weise verkörpert. Die zentrale Rolle der *Top-level Ontologie* besteht dabei darin, dass nur sie eine universale Semantik gewährleisten kann, auf die es im CPST-Hyperspace der Informatik ankommt. D.h. die *metaphysische Auffassung*,²⁵⁴⁴ dass das Semantikproblem auf Basis lokaler Agenten anzulegen ist und ggf.

²⁵⁴⁴ Wichtig ist zu erkennen, dass all diese Weltauffassungen, die etwa das lokale oder regionale Intelligenzmoment der Agenten betonen, immer metaphysische Auffassungen repräsentieren. Sie stehen unter einer Vielzahl metaphysischer Dispositionen, etwa bzgl. des Verhältnisses von Perception und Kognition, der Frage, wie Kognition oder wie Intelligenz zu verstehen ist, usf. Alle konzeptuellen Voraussetzungen sind

mithilfe von *Consensus Ontologies* auf regionaler Ebene gelöst werden kann, ist unhaltbar. Denn die Informatik steht als Schlüsseldisziplin in einem umfassenden semantischen Spannungsfeld; sie hat somit das Semantikproblem universal und unmissverständlich zu lösen und kann dabei insbesondere nicht im Widerspruch zu den Wissenschaften und Technologien stehen. Mit anderen Worten lässt sich das Semantikproblem der Informatik nur global und transdisziplinär lösen. Indem das in Pkt. 1.2 erörterte Inkommensurabilitätsproblem ein *metaphysisches* Problem verkörpert, setzt seine Lösung wiederum die Klärung der Metaphysikfrage der Informatik voraus.

Mit der Cyber-Physik und dem strukturalistischen Realitätsverständnis Cyber-physischer Systeme (CPS) lässt sich Semantik nur *global* voraussetzen. Mit diesem metaphysischen Realismus der Klasse-4-Metaphysik gilt mit Blick auf die Superintelligenz der dritten AI-Generation gleichzeitig, dass die *globale Intelligenz* die wichtigste Intelligenzform der Informatik bildet. Globale Intelligenz geht dabei Hand in Hand mit objektivem Wissen im Popperschen Sinne. Damit besteht in der *Top-level Ontologie* mit ihrer Scharnierfunktion im IMKO *OCF* sowie als "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*" von CYPO *FOX* der Fixpunkt jeder metaphysisch sachgerecht veranlagten Informatik. In der Disziplin ist die Funktion der *Top-level Ontologie* bisher jedoch alles andere als klar. Im Zeichen des IMKO *OCF* wird sie bisher nicht konzipiert; für viele Informatiker spielt sie bisher gar keine Rolle. Zuweilen wird die Auffassung vertreten, dass die *Top-level Ontologie* eine *philosophische* Ontologie darstelle, die als solche auch in die Philosophie-disziplin und nicht in die Informatik gehöre. Diese Auffassung ist natürlich unhaltbar und offenbart, wie fehlgeleitet die gegenwärtige Informatik ist. Richtig ist vielmehr, dass die *Top-level Ontologie* den Dreh- und Angelpunkt der ganzen Disziplin bildet, indem all ihre Modelle auf sie zu beziehen sind. Dazu lassen sich folgende drei Argumente anführen, nämlich (i) das *OE-Argument*, (ii) das *CM-Argument*, sowie (iii) das *AI-Argument*. Ad (i) gilt mit dem *OE-Argument*, dass jedes sachgerechte *Ontology Engineering* (OE) auf der in Pkt. 3.3.1 erörterten *Ontologieklassifikation* aufbauen muss. Auch wenn gezeigt wurde, dass dabei bisher unterschiedliche Abgrenzungen vorgenommen werden, besteht doch Einigkeit darin, dass diese Ontologieklassifikation eine *hierarchische* ist, und dass es eine oberste, *fundamentale Referenzebene* gibt. Diese oberste Ontologieebene der Informatik wird zumeist als *Top-level Ontologie* (TLO) bezeichnet; teilweise werden auch alternative Bezeichnungen verwendet.²⁵⁴⁵ Da eine solche Ontologieklassifikation ein *System* insbesondere von Referenzontologien darstellt, in dem die eine mit der anderen Ontologieart verknüpft ist, gehört selbstverständlich das ganze System in die Informatik. Dies gilt insbesondere für die fundamentale Referenzebene dieses Systems, also mit Blick auf die *Top-level Ontologie*. Mit diesem System ist auch die *Top-level Ontologie* an sich ganz auf die

letztlich metaphysische Voraussetzungen; in ihrem Bezug bzw. infrastrukturell bilden sie ein metaphysisches System, das epistemologische, methodologische und formallogische Aspekte mit einschließt.

²⁵⁴⁵ Vgl. hierzu Fn. 273.

Zwecke der Informatik zugeschnitten; es handelt sich somit um ein Konstrukt dieser Disziplin, das es in der Philosophie in dieser Form gar nicht gibt.

Dabei zeigt sich der TLO-Zuschnitt auf Informatikzwecke in zweifacher Hinsicht, nämlich zum einen mit Blick auf die Umsetzung der *Top-level Ontologie* als formale Ontologie, die darin mündet, dass sie auf Basis einer Repräsentationssprache wie OWL auf XML-Basis *maschinenlesbar* ist. Zum anderen ist der unmittelbare TLO-Bezug insbesondere zu *Domänenontologien* in der Hinsicht herauszustellen, als sich diese regelmäßig auf *sämtliche* Arten von *Diskursuniversen* (UoD) beziehen. Indem Diskursuniversen beliebig abgrenzbar sind, sind auch die Inhalte der Domänenontologien entsprechend variabel; es kann etwa um die Repräsentation rein praktisch relevanter Sachverhalte gehen, genauso aber um technologische, wissenschaftliche oder kosmologische Sachverhalte, wie es um aktuelle, mögliche bzw. fiktive Sachverhalte gehen kann, oder etwa um *Common Sense*. Somit gilt mit Abdoullaev (2008) *universal*:

»[O]ntology is a universal science of entity/relationship classes making up the world or reality as the largest universe of discourse; so it suggests a body of ultimate meanings (categories) of reality and a system of rudimentary truths, axioms, assertions, assumptions, definitions, postulates, and rules.«²⁵⁴⁶

Indessen stellt die TLO-Ebene in allen Fällen die transdisziplinäre Referenzbasis, also etwa auch bei rein praktischen ODIS-Steuerungsontologien. Daher ist die *Top-level Ontologie* grundsätzlich anders, nämlich von vornherein technologisch konzipiert als eine philosophische Ontologiekonzeption. Vor allem ist der TLO-Entwurf bzw. die TLO-Weiterentwicklung selbst Gegenstand des *Ontology Engineering* der Informatik;²⁵⁴⁷ gleichzeitig bildet sie, wie in Pkt. 3.3.2 dargelegt, den eigentlichen OE-Ansatzpunkt aller nachgeordneten Ontologiearten. Tatsächlich ist die *Top-level Ontologie* nicht nur im Zuge von Heavyweight-Ontologien sowie im Rahmen der konzeptuellen Modellierung unverzichtbar, sondern stellt letztlich für *jeden* Ontologieentwurf die unabdingbare Bezugsbasis dar.²⁵⁴⁸ Damit unterscheiden sich gute Ontologien von schlechten dadurch, dass nur erste die elementare OE-Anforderung strikter TLO-Referenz erfüllen.

Ad (ii) läuft das *CM-Argument* darauf hinaus, dass im Zuge der Modellierung realweltlicher Systeme notwendig zu klären ist, wie sich die fundamentalen Strukturen der Realität kategorial wie in meta-ontologischer Hinsicht darstellen. Insofern benötigt die Informatik ein eigenes, passendes Realitätsverständnis, das sich jenseits der Computerphilosophie nicht notwendig mit klassisch philosophischen Auffassungen der Realität decken muss. Das wird mit Verweis auf Pkt. 4.6 etwa anhand der *Augmented Reality* in geeigneter Weise nachvollziehbar, auch wenn diese allein eine höhere, gesonderte Realitätsstufe darstellen kann. Oder wenn mit der *synthetischen Realität* Artefakte unmittelbar mit der physischen Realität vermengt werden. Indem sich alle meta-ontologischen Aspekte allein im Kontext der *Top-level Ontologie* klären bzw. spezifizieren lassen, gilt auch hier: die entsprechenden

²⁵⁴⁶ Abdoullaev (2008: 34), ohne Hvh. des Orig.

²⁵⁴⁷ Vgl. auch Little (2003).

²⁵⁴⁸ Vgl. auch Sure/Staab/Studer (2009: 140 f.).

Erwägungen zielen keineswegs auf Zwecke der Philosophie, sondern allein auf jene der Informatik. Natürlich steht außer Frage, dass die Disziplin die Frage nach den fundamentalen Strukturen aller cyber-physischer Welten, insbesondere die Realitätsfrage, nicht ohne die *Metaphysik der Informatik* klären kann. Im Kontext kognitiver *Cyber-physischer Systeme* (CPS) kann diese wiederum allein in einer techno-wissenschaftlichen Digitalmetaphysik bestehen. Insofern wird mit E.J. Lowe (2007: 82) insgesamt die Rückbesinnung auf die Metaphysik unerlässlich: »The true revival of metaphysics is to be found in the flourishing of formal ontology, at the heart of which is the study of ontological categories«. Das gilt auch dann, wenn E.J. Lowe mit seiner neo-aristotelischen Position kaum eine für die Informatik tatsächlich adäquate metaphysische Position vertritt. Entscheidend aber ist etwas anderes, nämlich dass seine These notwendig die metaphysische Diskussion in diesem vierten Teil eröffnet; die CPSS-Adäquanz seiner eigenen metaphysischen Position wird dabei im fünften Teil (Pkt. 5.2) und in ihren kategorialen Details im sechsten Teil (Pkt. 6.1.3) zu klären sein.

Ad (iii) gilt vor allem das *AI-Argument*, mit dem sich erklärt, warum die *Top-level Ontologie* mehr und mehr in das Zentrum der Informatik rückt. Den eigentlichen Ausgangspunkt dazu bilden nicht nur die durch McCarthy/Hayes (1969) geforderten *metaphysisch und epistemologisch* adäquaten Repräsentationen sowie das zehn Jahre später durch Hayes (1979) erhobene Postulat, mit den *'toy problems'* der AI-Experimentierphase zu brechen, um die AI-Disziplin endlich auf *"nontoy worlds"* einzuschwören. Dass diese in modernen AI-Ansätzen *metaphysisch* verankert sind, wird in cyber-physischen Anwendungskontexten zunehmend zur gängigen Auffassung.²⁵⁴⁹ Auf einer globaleren Ebene korrespondiert dies mit dem durch D. Moore (1992) geforderten *"new type of computer"*, der als *"Reality Machine"* zu verstehen ist. Insgesamt sucht man also bereits seit Jahrzehnten den Fokus auf ein *realweltliches AI-Verständnis* und ebensolche *realweltlichen AI-Systeme* zu setzen, womit allerdings die populär gewordene Grubersche (1993, 1995) linguistische Ontologiekonzeption konfligiert. Indessen ist sie in ihrem fehlenden Realitätsbezug *CPSS-inadäquat* und wird insofern im CPS-Kontext zumindest als universal voraussetzbare Konzeption nicht bestehen können. – AI-basierte *Cyber-physische Systeme* (CPS) bieten als PLM-Bestandteile insofern die beste Orientierung für die kontroverse AI-Ontologiediskussion, weil diese Systeme nicht nur *realweltlich* in dem Sinne sind, dass sie in die Realität eingebettet sind und mit ihr interagieren. Vielmehr zeichnen sich CPS im GIS- bzw. LPS-Zusammenhang dadurch aus, dass sie sich mitunter als adaptive Systeme (CAS) auch raumzeitlich in der beständig evolvierenden physischen Natur (W1) bewegen. Das ist im U-PLM-Kontext etwa seit langem konkret bei PEID-basierten Baumaschinen der Fall. Zudem sind sie auch insofern *realweltlich*, als sie zuweilen in Echtzeit entscheiden (W2), selbst in Echtzeit-Steuerungsprozesse eingebunden sind (W3) oder im MAS-Sinne in *Artificial Societies* mit anderen, ebenso in Echtzeit operierenden Agenten interagieren (W4). Vor allem ist dabei

²⁵⁴⁹ Vgl. exemplarisch D.A. Lambert/Nowak (2008).

herauszustellen, dass all diese CPS-Aspekte prinzipiell *autonom* erfolgen, wie es vielleicht am besten anhand der *autonomen* bzw. *kognitiven Robotik* deutlich wird. Es ist dieser realweltliche Hintergrund autonomer Systeme bei kritischen Prozessen komplexer Systeme, vor dem McCarthy (1995) einen "*general world view*" fordert: »[A] robot, if it is to have human level intelligence and ability to learn from its experience, needs a *general world view* in which to organize facts«.²⁵⁵⁰

Auch McCarthy (1995) sieht diese Sachverhalte bzw. Ideen mit dem Aufkommen solcher realweltlichen Systeme offensichtlich *in der Informatik selbst*, indem er betont, dass diese *bisher* nur durch Philosophen studiert werden. Natürlich müssen sich Informatiker selbst mit diesen Fragen auseinandersetzen, indem sie etwa für das Systemdesign ausschlaggebend sind, das sie selbst entwickeln und in Gänze verstehen müssen. Insofern lässt sich die Konzeption und Weiterentwicklung der *Top-level Ontologie* auch nicht an Philosophen delegieren; sie können die Informatiker beim Design realweltlicher AI-Systeme lediglich unterstützen, was auch für McCarthy (1995) selbst außer Frage steht. Das gilt nicht nur mit Blick auf Cyber-physische Systeme (CPS), sondern genauso mit Blick auf den Grundstoff der Disziplin: Daten und Information werden zunehmend im semantischen Sinne verstanden, indem es um Datenintegration bzw. Datenfusion oder schließlich um *höhere Informationsfusion* (HLIF) geht. Vor allem aber entdeckt die Disziplin mit zunehmender Intelligenz ihrer Systeme ihren Grundstoff neu. In diesem Zusammenhang lässt sich mit Pkt. 3.2.3 behaupten, dass der Kulminationspunkt der Informatik weder in Daten noch in Informationen, sondern im Wissen liegt. Mit ihm rückt die *Top-level Ontologie* in einer zweiten Hinsicht in den Fokus, nämlich mit Blick auf die *Einheit der Erkenntnis* und schließlich die *Einheit des Wissens*. Tatsächlich kann dabei allein die *Top-level Ontologie* als universale Ontologie das Transdisziplinaritätsmoment umsetzbar machen und das Inkommensurabilitätsproblem überwinden.

Cyber-physische Systeme (CPS) sind bereits bei Leibniz bzw. Whitehead angelegt und vollständig, d.h. einschließlich der Existenz- bzw. Kausalitätsprinzipien vorgedacht; allerdings werden sie erst mit dem *Internet der Dinge* (IoT) für die moderne Informatik im Sinne des IoX-Hyperspace zentral. Die bisherige Informatik bezog sich zwar oftmals auf die Realität; sie ging jedoch am Leibniz-Whiteheadschen im *cyber-physischen "Reality Computing"* im Grunde vollständig vorbei. Umgekehrt war die Mechatronik bzw. Kybernetik zwar bereits CPS-orientiert und in die Realität eingebettet, jedoch war sie im Allgemeinen kaum umfassend AI-basiert und vor allem nicht vernetzt. In der modernen Informatik avanciert das *cyber-physische "Reality Computing"* im Zeichen des IoX-Hyperspace nun jedoch zum Universalparadigma. Damit ändert sich für die Disziplin letztlich alles. Diese These lässt sich nur verstehen, wenn sie in den Kontext jener technologischen Paradigmen gesetzt wird, die mit dem CPS-Kontext untrennbar verbunden sind und diesen wesentlich mitbestimmen. Das Basisparadigma ist in *komplexen adaptiven Systemen* (CAS)

²⁵⁵⁰ Vgl. McCarthy (1995: 2041), Hvh. des Verf.

zu sehen, womit insgesamt die *Komplexitätsforschung* für die Informatik bestimmend ist. Das gilt nicht zuletzt auch mit Blick auf die *Automatentheorie* als Kerntheorie, die etwa mit der *Theorie zellulärer Automaten* oder mit dem CEP-Ansatz ihre Schlüsselstellung unterstreicht. Mit der Adaption ist hervorzuheben, dass es bei CPS um *kognitive Systeme* geht, um *Perzeption*, die bereits für Leibniz zentral ist. Diese Perzeption bezieht sich bei CPS zuvorderst auf physische Sachverhalte, womit es sich um *realweltliche Systeme* handelt, während sie im Sinne von Leibnizens (1714a) *artifiziellen Automaten* genauso Sachverhalte im Cyberspace berührt.²⁵⁵¹ Da sich nicht nur die Perzeption vor dem *subjektivistischen* Hintergrund des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* vollzieht, sondern auch das Erkenntnis- und Entscheidungsvermögen *subjektivistisch* bestimmt ist, handelt es sich bei CPS um *agentenbasierte Systeme* bzw. um MAS. Indem bei solchen Automaten keine Fremdsteuerung gegeben ist, sind sie als *selbstorganisatorische, autonome Systeme* zu verstehen, die sich in den verschiedensten *Event Streams* bewegen.

Insofern handelt es sich bei CPS um *ereigniszentrische Systeme* (CEP), die deshalb *intelligente AI-Systeme* bilden, als sie auf der AI-Ontologie in umfassender Weise im Rekurs auf die unterschiedlichsten Ontologiearten und -typen aufbauen. Indem es dabei nicht nur um Objekte, sondern zuvorderst um Ereignisse geht, avanciert der CEP-Ansatz zum *Semantic Complex Event Processing* (SCEP); somit handelt es sich um *ontologiegestützte Systeme*, die auf transdisziplinärer Ontologiebasis eine umfassende Intelligenz zulassen, die wiederum auf die *komplexen adaptiven Systeme* (CAS) mit ihren intelligenten Agenten zurückweist. – Das *Internet of Things* (IoT) und mit ihm das *Smart Web* (IoX) mitsamt seiner *Smart Objects*, *Smart Sensors* und *Smart Services* ist selbst ein Cyber-physisches System, das wiederum aus einer riesigen Menge einzelner Cyber-physischer Systeme besteht. IoT-Technologien bilden darüber hinaus die technologische Grundlage ebensolcher Systeme, allen voran in der *Smart Factory* (CPPS). IoX-Umgebungen basieren fundamental auf dem CPS-Gedanken, wie der CPS-Gedanke in seiner gegenwärtigen Form in vernetzten Strukturen bzw. der *Connected Industry* als Industrie 4.0 auch umgekehrt IoX-basiert ist. Dennoch stehen die genannten Ansätze, Konzepte bzw. Technologien weder zwingend im CPS-Kontext noch geht ihre Entwicklung auf spezifische CPS-Erfordernisse zurück. Vielmehr lassen sich etwa virtuelle Sensoren und Aktoren oder die CEP-Technologie ebenso rein auf den Cyberspace beziehen.

Allerdings bilden sie erst in ihrem IoX-CPSS-Verbund das *neue Paradigma* der Informatik, das sich bereits im Sinne von Leibniz durch sechs Zentralbegriffe charakterisieren lässt: *Kognition, Intelligenz, Ontologie, Interaktion, Komplexität, Welten-Universalismus (UoD)*. Mit der vielgestaltigen Dimension der IoX-Vernetzung hängen auch diese sechs Begriffe zusammen; und wenn man fragt, wie sie zusammenhängen gelangt man zur Wurzel dieses Paradigmas, nämlich zur *Metaphysik*. Diese Wurzel ist nicht nur sachlogisch,

²⁵⁵¹ Bei Leibniz (1714a: § 64) ist dabei nicht nur bereits von "*natürlichen Automaten*", sondern auch von "*künstlichen Automaten*" die Rede, bei denen es im universalen W2-Sinne um *perzeptive Monaden* geht.

sondern genauso historisch gegeben, indem der eigentliche Ursprung der Informatik im Leibnizprogramm besteht, das nur in seiner Einheit von *Scientia generalis*, *Mathesis universalis* und *Metaphysica* begreifbar ist. Insofern ist das *neue Paradigma* an sich keinesfalls neu, sondern begründet sich vor allem dadurch, dass es zum eigentlichen Ursprungsparadigma der Informatik zurückweist. Für Cyber-physische Systeme (CPS) gilt mit Gershenfeld: »the real point is that the organizing principle is not physics, or computer science, or electrical engineering, or math, but rather the relationship between bits and atoms«. ²⁵⁵² Dabei ist offensichtlich, dass dieser CPS-Kern in das Feld der Metaphysik fällt, indessen lediglich einer ganz bestimmten, nämlich der höchsten Metaphysikkategorie.

Cyber-physische Systeme (CPS) ändern für die Informatik alles, weil McCarthys (1995) "*general world view*" im realweltlichen CPS-Kontext gerade auch vor dem Hintergrund ihres Ursprungsparadigmas unabdingbar wird. Im Kern führt dies zu Leibnizens *Metaphysica*, die mit ihrer *Monadologie* die Welt als *System von Automaten* versteht. ²⁵⁵³ Da dies im Übrigen bei McCarthy/Hayes (1969) nicht anders ist, hat McCarthy (1995) seine Frage nach dem adäquaten "*general world view*" im Grunde bereits selbst grob beantwortet. Allerdings gilt das insofern nur bedingt, als eine moderne Ontologie natürlich nicht unmittelbar auf Leibnizens *Monadologie* aufsetzen kann; tatsächlich besteht der Schlüssel hierzu vielmehr in »Leibniz's greatest twentieth-century follower«, ²⁵⁵⁴ auf den wir in Pkt. 4.2 zu sprechen kommen. In der Tradition Leibnizens ist alle Metaphysik dezidierte *Computer- bzw. Digitalmetaphysik*, die auch bei Steinhart (1998) nicht umsonst im Zei-

²⁵⁵² Vgl. N.A. Gershenfeld in R.N. Katz (2002: 36).

²⁵⁵³ In seiner *Monadologie* begreift Leibniz (1714a) die Welt als System "ursprünglicher Kräfte", den Monaden. Diese repräsentieren "einfache Substanzen", vgl. Leibniz (1714a: § 1; 1714b: § 1). Diese sind voneinander unabhängig und zu keinerlei Einwirkung von außen fähig; Leibniz bezeichnet sie daher als "fensterlos", vgl. Leibniz (1714a: § 7). Die Monaden werden bei Leibniz im etymologischen Sinne des griechischen *monás* als Einheit verstanden, vgl. Leibniz (1714b: § 1). Sie sind individuiert, vgl. Leibniz (1714a: § 9). Leibniz vertritt eine prozessualisierte Substanzmetaphysik; im großen Unterschied zu Descartes ist für ihn die Substanz generell »ein der Tätigkeit fähiges Wesen«, vgl. Leibniz (1714b: § 1). Damit wird bereits bei Leibniz ein aktives Universum gedacht, wie es sich auch später bei Whitehead findet. Die einfache Substanz, die Monade, zeigt sich bei Leibniz insofern als selbstorganisatorisch, als jede Veränderung *intra-substantial* ist, vgl. Leibniz (1714a: § 10). Sie muss von einem "inneren Prinzip herühren", da »eine äußere Ursache ihr Inneres nicht beeinflussen kann«, vgl. Leibniz (1714a: § 11). Damit bestehen keine direkten Wechselwirkungen zwischen den Monaden, worin indessen eine zwingende Voraussetzung für die Komplexitätsforschung bestehen müsste. Dieser im Hinblick auf die Komplexitätsentstehung bestehende Defekt wird später in der Whiteheadschen (1929a) Metaphysik auf der Grundlage der *actual entity* korrigiert. Den Umstand, dass die Monaden im Weltganzen auf so offensichtliche Weise zusammenwirken, erklärt Leibniz über die *prästabilierte Harmonie*; sie repräsentiert das harmonische Gefüge der Welt. Diese steht bei Leibniz wiederum im unmittelbaren Kontext zum Schöpfungsgedanken, wonach die Monaden am Anfang der Welt so geschaffen wurden, dass sie alle so zusammenwirken, als ob sie eine Wirkung aufeinander hätten, wenn nur jede einzelne ihren eigenen Gesetzen folgt. In diesem Umstand, dass die Harmonie auf diese Weise *von vornherein* festgelegt ist, besteht die *prästabilierte Harmonie*. Die Monaden stellen sich die Welt von ihrem eigenen Standort aus vor resp. spiegeln diese wider. Dabei bedingt der Grad der Bewusstheit dieser Vorstellung die Verschiedenheit der Objekte, etwa der uns körperlich erscheinenden, der pflanzlich-tierischen und schließlich der vernünftigen Monaden. An der Spitze dieser Rangordnung steht für Leibniz die göttliche Monade, die im Zuge der Schöpfung den eigengesetzlichen Vorstellungsverlauf jeder Monade dem ganzen Weltgeschehen anpasst. Aus diesem Grunde ist jede Monade, ungeachtet ihrer Abgeschlossenheit, für Leibniz ein "lebendiger Spiegel" des Ganzen, was erst Leibnizens Idee der *prästabilierten Harmonie* eröffnet.

²⁵⁵⁴ Vgl. Clayton (2000: 246).

chen Leibnizens steht, wenn es um zelluläre Automaten geht: »According to digital metaphysics, physical phenomena emerge from the interactions of monads running programs«. ²⁵⁵⁵ Mit der *Digitalmetaphysik* wird nochmals deutlich, dass für das *Komplexitätsparadigma* eine metaphysische Fundierung unumgänglich wird, und dass es sich dabei im Sinne von CYPO FOX als integrierter Ontologiekonzeption mit dem IMKO OCF gleichzeitig um eine *metaphysische Ontologie* wie um eine *Wissensontologie* handeln muss, da beides im Sinne der CM- und AI-Integration unmittelbar zusammengehört. Steinharts (1998) *Digitale Metaphysik* gründet auf zellulären Automaten (CA), ²⁵⁵⁶ die nicht nur bereits durch Zuse (1982) auf das Universum projiziert werden, sondern eine wichtige Rolle bei Computereperimenten und -simulationen spielen, wie sie den Schlüssel zu Wolframs (2002) *New Kind of Science* bilden, die ebenfalls elementar auf dem *Komplexitätsparadigma* gründet. ²⁵⁵⁷

»We do not agree with the reduction of metaphysics to physics; we think, instead, that *metaphysics is the study of the foundations of physics*. We argue here [...] that these foundations are computational. Indeed, we argue that *ultimate reality is a massively parallel computing machine sufficiently universal for the realization of any physically possible world*. Ultimate reality is *computational space-time*, and that is just the universal metaphysical hardware into which particular physical worlds are programmed. We refer to this system of ideas as *digital metaphysics*.« ²⁵⁵⁸

Tatsächlich ist es Leibnizens *Automatenuniversum*, das als *prozessualisierte Weltauffassung* die moderne Automatentheorie in fundamentaler Hinsicht eröffnet und mit Verweis auf Pkt. 4.2 den Weg für eine adäquate Metaphysik der Informatik weist. Leibnizens *Automatenuniversum* kann aus dem Grunde nicht genügend gewürdigt werden, weil es sich im Sinne McCarthys (1995) um die erste *universale Weltauffassung* handelt, die *Cyberphysischen Systemen* (CPS) gerecht wird. Zweifelsohne ist genau diese *universale Weltauffassung* für die Frage der adäquaten Konzeption der *Top-level Ontologie* von größtem Belang. Allerdings wird diese Verbindung, in der nicht weniger als der Kern des *neuen Paradigmas* der Informatik zu sehen ist, bislang in keinem Ontologiekonzept bzw. TLO-Ansatz hergestellt. ²⁵⁵⁹ Die techno-wissenschaftliche Metaphysik der Informatik muss im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*", der mit McCarthy/Hayes (1969) *metaphysischer* Natur ist, genau auf eine aktualisierte Variante von Leibnizens (1714a) *Monadologie* hinauslaufen, die damit nicht nur für die Automatentheorie, sondern gerade auch insgesamt für eine *realweltlich* verstandene AI-Tradition begründend ist. McCarthy/Hayes (1969) teilen diese Ansicht, wenn sie ihre elementare Frage der metaphysisch bzw. epistemologisch adäquaten Repräsentation der Welten in den direkten Zusammenhang zur Automatentheorie bringen, hinter der das Leibnizsche Automatenuniversum steht: Denn sie

²⁵⁵⁵ Vgl. Steinhart (1998: 119).

²⁵⁵⁶ Vgl. Steinhart (1998: 118).

²⁵⁵⁷ Vgl. hierzu Wolfram (1984c, 1986a, 1994).

²⁵⁵⁸ Steinhart (1998: 117).

²⁵⁵⁹ Einzig Sowa (2000), von dem als AI-Experten große Impulse für die AI-Forschung bei IBM ausgegangen sind, erkennt die *fundamentale* Relevanz von Leibniz und Whitehead für die gesamte Ontologiefrage der Informatik. Allerdings erfolgt das Ganze bei Sowa (2000) mit Verweis auf Pkt. 2 in dem Sinne wenig systematisch, als er sich dabei weder an der *Automatentheorie*, noch insgesamt an der *Theorie komplexer Systeme* orientiert, wengleich der Komplexitätsgedanke seine Überlegungen konsequent durchzieht.

suchen »metaphysically and epistemologically adequate representations of the world [...] in terms of a representation of the world by a system of interacting automata« zu fassen.²⁵⁶⁰

Alle bisherigen Ontologie- und TLO-Ansätze müssen allein schon deshalb als problematisch erscheinen, weil sie an dem eigentlichen Informatikkern vorbeigehen, indem sie entweder unmittelbar an Substanzen, Dingen oder Objekten ansetzen oder an Sprache, mit der diese Objekte und ihre Änderungen beschrieben werden. Im Großen und Ganzen lässt sich ihre Perspektive so zusammenfassen, dass sie in einer grundsätzlich *auf Beständigkeit* orientierten Perspektive auf der Suche sind nach den "*Furniture of the World*", wie sie etwa bei Bunge (1977a) offiziell Programm sind. Allerdings gilt hier mit Putnam (1980: 481): »The search for the 'furniture of the universe' will have ended with the discovery that the universe is not a furnished room«. Vermutlich aber werden die "*Furniture-Ontologen* Putnam (1980) kaum zustimmen wollen, und tatsächlich wird man sich noch lange streiten können, ob das *Universum* bzw. einzelne *Diskursuniversen* als "*furnished rooms*" aufzufassen sind oder nicht. Immerhin wird diese Sichtweise in der Philosophie bereits sehr lange vertreten; andererseits weist mit Prigogine/Stengers (1993: 18) bereits der "Urknall" auf ein *ereigniszentrales Universum*, was jedoch Bunge als Vertreter eines *emergentistischen Materialismus* dennoch nicht überzeugt. Denn Bunge (2010) lehnt die Urknalltheorie ab. Ungeachtet dessen weisen alle modernen Schlüsseltheorien, angefangen von Darwins (1859) *Origin of Species* bis zur Quantenmechanik, der Nichtgleichgewichtsthermodynamik bis hin zu Theorien sozialer Realität wie jenen der Evolutorischen Ökonomik in diese *ereigniszentrale* Richtung und nicht in jene eines *möblierten Raums*, wie er der naiven Sichtweise der *Common Sense-Ontologien* entspricht.

Nicht nur die Cyber-Physik ist auf den Grundlagen der modernen Physik an sich ereigniszentrisch, sondern dieser Ereigniszentrismus gilt auch für Cyber-physische Systeme (CPS) an sich. Das bezieht sich nicht nur auf ihr *Information Processing* als solches, sondern auch auf ihre zentralen drei Bestandteile, nämlich auf die physische Sensorik und Aktorik sowie auf die Adaption durch Agenten. Auch diese basieren auf Signalen bzw. auf Whiteheads (1898) "*sequence of events*". Somit geht es in CPS-Kontexten nicht um "*Furniture of the World*", sondern um eine *Event Driven World*, die vor dem Hintergrund des grundlegenden Evolutions- bzw. Komplexitätsparadigmas *prozess- und ereigniszentriert* ist. Sie zeigt sich nicht durch Substanzen, Dinge oder Objekte und ihre vermeintlich einfache Isolierbarkeit bestimmt. Vielmehr ist alles mit allem umfassend vernetzt. Diese *ereigniszentrale Welt* ist die Welt des auf der Automatentheorie aufbauenden *Complex Event Processing* (CEP), mit dem es *Event Streams* sind, die alles Geschehen in allen Welten bestimmen. Leibnizens Automatenuniversum entsprechend sind es diese *Event Streams*, die im Zeichen der Automatentheorie für das *AI-Processing* leitend sind.²⁵⁶¹

²⁵⁶⁰ Vgl. McCarthy/Hayes (1969: 463).

²⁵⁶¹ Das gilt in moderner Whiteheadscher Lesart; also auch dann, wenn Leibniz selbst noch eine *prozessualisierte Substanzontologie* vertritt. Dazu stellt Hegel (1836: 455 f.) fest: »Die Monaden sind [...] substan-

Mit den umfassenden Überlegungen Leibnizens sind auch die Argumente für die Unabdingbarkeit von McCarthys "*general world view*" polymorph: sie reichen bei Leibnizens *Metaphysica* von der Frage nach der *Einheit der Natur* (W1) über die *Perzeption der Monaden* (W2) zu *möglichen Welten und artifiziellen Automaten* (W3) bis hin zu *universalen Mechanismen sozialer Interaktion* (W4).²⁵⁶² Damit verbunden ist dieser "*general world view*" aber auch mit Blick auf die *Mathesis universalis* unabdingbar, die in dieser Hinsicht primär auf den *metaphysischen Logizismus* weist. Schließlich gilt mit Blick auf die *Scientia generalis*, dass der "*general world view*" Grundvoraussetzung einer *Einheit des Wissens* ist, deren Bewandnis mit dem autonomen Rückgriff auf Wissensontologien in MAS-basierten CPS genauso offensichtlich ist wie bei *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz. Im *neuen Paradigma* der Informatik steht damit der Stellenwert des "*general world view*" genauso außer Frage wie in ihrem Ursprungsparadigma, wobei im neuen Paradigma der "*general world view*" genauso in den *Monaden* selbst inkorporiert ist. In diesem Sinne kann McCarthys (1995) "*general world view*" nur auf eines hinauslaufen, nämlich auf eine *Top-level Ontologie*, die auf der Metaphysik als Cyber-Physik, also auf der Leibniz-Whiteheadschen *Cyber-Metaphysik* aufbaut.

Indessen haben alle genannten Entwicklungen der modernen Informatik eine weitere Konsequenz, die selten in der notwendigen Klarheit zum Ausdruck gebracht wird: die wesentliche Problematik besteht nicht etwa in der maschinenlesbaren Formalisierung einer *Top-level Ontologie*, sondern zunächst einmal in ihrer Begründung selbst. Darin ist deshalb die eigentliche Problematik zu sehen, weil sie das Inkommensurabilitätsproblem bedingt, das Leibnizens *Einheit des Wissens* diametral entgegensteht. In ihr besteht auch deshalb die zentrale Problematik, als sich die eigentliche Intelligenz von AI-Systemen erst auf Grundlage einer sachlich richtig konzipierten *Top-level Ontologie* heben lässt. Superintelligenz der dritten AI-Generation ist ohne die cyber-physische TLO-Fundierung undenkbar. Diese Problematik besitzt aber auch deshalb wesentliche Relevanz, weil alle Ontologie in einer sachgerechten OE-Konzeption eine TLO-Referenz aufweist, und somit der zukunfts-offene Aufbau ganzer Ontologiebibliotheken eine dauerhaft stabile *Top-level Ontologie* voraussetzt, da diese in ihrem eigentlichen Kern nicht laufend modifiziert werden kann. Denn solche grundlegenden Modifizierungen machen aufwändig aufgebaute Ontologiebibliotheken über kurz oder lang unbrauchbar. Mit dem Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem ist die Problematik einer sachgerechten Begründung der *Top-level Ontologie* jedoch vor allem in der Koexistenz einer Vielzahl konkurrierender TLO-Theorieanwärter zu sehen, wobei ihre Koexistenz wiederum in ihrem Begründungszusammenhang zu suchen ist. D.h., dass die Grundproblematik letztlich in der Koexistenz alternativer Begründungsmöglichkeiten besteht, es sich also an sich um kein Problem handelt, dass die Philo-

tielle Formen [...]; sie sind die Entelechien des Aristoteles als reine Tätigkeit begriffen, sie sind Formen in ihnen selber«.

²⁵⁶² Dass Leibnizens *Monaden* dabei im Zeichen *sozialer Interaktion* stehen wird deutlich, wenn Ueno/Suzuki (2010) sie im MAS-Sinne modellieren.

sophie als Disziplin zu verantworten hat. Die grundlegende Alternative besteht dabei mit Strawsons (1959) vermeintlichem Gegensatz von *deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik*, die auf den genauso vermeintlichen Gegensatz von *linguistischer vs. realistischer Top-level Ontologie* hinausläuft. Tatsächlich ist Strawsons (1959) Differenzierung unhaltbar, wie es nicht zuletzt an seinem vermeintlichen Protagonisten *deskriptiver Metaphysik*, nämlich an Kant selbst, deutlich wird. Denn das Gesamtwerk Kants ist nicht weniger *revisionäre Metaphysik* als etwa das Werk Whiteheads. Tatsächlich gibt es letztlich im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" nur eine Art von Metaphysik, nämlich *revisionäre Metaphysik*, worauf wir in Pkt. 6.2.2 zurückkommen.

Top-level Ontologien bilden zwar die oberste Ontologieebene der Informatik und gehören allein in ihre Disziplin; allerdings sind sie im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" durch und durch *philosophisch* fundiert. Das liegt wiederum im Sinne von McCarthy (1995) daran, dass es die Philosophie ist, die sich bisher alleinig mit diesen Fragen auseinandersetzt und in dieser Sache die größte Kompetenz besitzt. An sich könnte die Informatik das Problem des "*general world view*" auch intradisziplinär lösen, doch ist sie in dieser Sache im Sinne McCarthys (1995) auf philosophische Hilfe angewiesen: dass die Frage nach dem "*general world view*" als überaus schwierig zu werten ist, zeigt gerade die Koexistenz einer Vielzahl völlig disparater TLO-Theorieanwärter, deren fundamentale Inkommensurabilität und Inkompatibilität im Zuge der IoX-konformen Spezifikation deutlich zu Tage tritt. Diese Inkommensurabilität und Inkompatibilität ist bedingt durch die Vielzahl an philosophischen, insbesondere metaphysischen Ansätzen, die hinter den jeweiligen TLO-Theorieanwärtern stehen. Dabei ist zu konstatieren, dass die Inkommensurabilität der *Top-level Ontologien* in erster Linie auf die Inkommensurabilität der diversen philosophischen Ontologieansätze zurückgeht, auf die sie explizit oder mindestens implizit referenzieren. Tatsächlich wird durch die Informatik das *gesamte Spektrum* philosophischer Theorie bemüht; kaum ein Ansatz wird dabei ausgelassen. Damit ist klar: das Inkommensurabilitätsproblem hängt nicht an der Philosophie als solcher, sondern mit Blick auf McCarthys (1995) "*general world view*" daran, dass es keinen Konsens in der Frage nach der *Weltauffassung* gibt. Insofern lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem der *Top-level Ontologien*, das für die Informatik letztlich das Kernproblem markiert, ohne eine umfassendere Reflexion der philosophischen Ontologie weder lösen noch überhaupt sachgerecht verstehen. Denn jeder TLO-Theorieanwärter ist im Grunde mehr oder weniger philosophisch geprägt, was einschließlich solcher TLO-Ansätze gilt, bei denen dieser Zusammenhang auf den ersten Blick nicht gegeben zu sein scheint. Das gilt etwa für die Cyc-Ontologie als Common Sense-Ontologie insofern, als außer Frage steht, dass genau dieser *Common Sense-Gedanke* in Form des OLP-Ansatzes explizit auf die Analytische Philosophie zurückgeht. Aber selbst die vergleichsweise einfach konzipierte Cyc-Ontologie geht

viel weiter, wenn auch sie mit Cyc UCO nicht umhin kommt, sich mit den fundamentalen Strukturen des Universums, mithin mit *Metaphysik* auseinanderzusetzen.²⁵⁶³

Alle Ontologie der Informatik ist *philosophische Ontologie*, indem selbst ihre linguistische Ontologie im Zeichen deskriptiver Metaphysik ihren Ursprung in der analytischen Ontologie der Philosophie besitzt. Die zentrale Expertise der Philosophie besteht in jenen vielgestaltigen Weltmodellen, um die es in der Informatik gerade geht. Im Grunde kann die Informatik heute kein Ontologiekonzept entwickeln, das es nicht bereits in der Philosophie gibt, denn diese hat bereits alle denkbaren Alternativen mindestens grundsätzlich abgedeckt. Indem neue Varianten immer in den Kontext bzw. in die Kritik der alten Ansätze zu stellen sind, bleibt Ontologie auch in Zukunft zwangsläufig Sache der Philosophie. Vor allem die Frage nach den fundamentalen Strukturen der Welt, insbesondere jener der Realität bleibt ihr Gegenstand, indem sie Kerngeschäft der Metaphysik ist. Diese Fragen besitzen eine Breite und Tiefe, die eine eigenständige, darauf spezialisierte Disziplin zwangsläufig erforderlich machen, und das ist die Metaphysik. Die Metaphysik ist nicht nur in der gegenwärtigen Philosophie wieder aus dem Schatten von Logik und Epistemologie hervorgetreten,²⁵⁶⁴ sondern wird zur Fundierung der Informatik in CPS-Kontexten unabdingbar.

McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" läuft vor diesem Hintergrund notwendig auf die Evaluierung der konkurrierenden TLO-Theorieanwärter hinaus, auf ihre Selektion und ggf. auch auf einen darauf aufbauenden Neuentwurf. Eine Alternative dazu besteht nicht, insbesondere ist auch die Idee eines *TLO-Mappings* eine letztlich naive Idee. Denn das würde mit Pkt. 1.2 darauf hinauslaufen zu versuchen, zwischen gänzlich disparaten *Weltsichten* operationale Brücken bauen zu wollen. Das ist natürlich unmöglich, wenn sich etwa Substanz- und Prozessontologien fundamental unterscheiden, wenn Ereignisse bzw. Objekte eine ganz andere Stellung besitzen, wenn einzelne Kategorien in bestimmten Ansätzen gar nicht vorkommen oder einen gänzlich anderen Bedeutungsgehalt besitzen. Das gilt genauso in der Hinsicht, dass jeder TLO-Ansatz immer im Kontext einer Vielzahl spezifizierter meta-ontologischer Kriterien steht. Es handelt sich einmal etwa um eine multiplikative, und einmal um eine reduktionistische TLO-Konzeption. Auf den Punkt gebracht lässt sich sagen, dass für jeden TLO-Ansatz gerade immer fundamental andersartige Charakteristika kennzeichnend sind, weil sie genau das als *fundamentale Ontologie* auszeichnet. In diesem Sinne ist die Inkommensurabilität also durchaus bezweckt, indem sich jeder TLO-Ansatz gegenüber den Alternativen abzugrenzen und zu verteidigen sucht. Es geht also um grundsätzlich andere Perspektiven, während bei nachgeordneten Domänenontologien usf. ein solches Mapping in Betracht gezogen werden kann, sofern sie auf den gleichen TLO-Ansatz referenzieren. Würden die Gegensätze alternativer, *an sich* widerstreitender alternativer Weltauffassungen in dieser fundamentalen Hinsicht nicht bestehen, würde man sich auch direkt auf *eine* einheitliche *Top-level Ontologie* einigen

²⁵⁶³ Das gilt auch dann, wenn der Begriff nicht fällt, vgl. Lenat/Guha (1990).

²⁵⁶⁴ Vgl. etwa Esfeld (2006a).

können. Das aber ist bisher unmöglich, indem bislang nie die digitalmetaphysischen Grundlagen der Informatik in systematischer Weise hinterfragt worden sind. Möglich bleibt somit allein *ein* Vorgehen: (i) *TLO-Evaluierung*, (ii) *TLO-Selektion*, sowie ggf. (iii) *TLO-Synthese* in Form eines *TLO-Neuentwurfs*. Dabei steht außer Frage, dass (i), (ii) und (iii) allein vor dem Hintergrund einer konkreten Anforderungsspezifikation erfolgen können, die dem CPST- bzw. IoX-Hyperspace der Informatik gerecht werden. Diese Anforderungsspezifikation wird im Zuge des *Requirements Engineering* im siebten Teil entwickelt.

McCarthy's (1995) "*general world view*" impliziert die für konzeptuelle wie für semantische Weltmodelle gleichermaßen erforderliche *explizite* Entscheidung darüber, wie sich ihre fundamentalen Kategorien und ihre meta-ontologische Spezifika *konkret* darstellen. Geht es beim AI-Systemdesign darum, die bestehenden Potentiale hinsichtlich Intelligenz, Interoperabilität und Stabilität in vollem Maße zu erschließen und die Fehleranfälligkeit solcher Systeme bei kritischen Prozessen zu minimieren, müssen diese Entscheidungen nicht nur *explizit* getroffen werden, sondern sie sind auch in all ihren Konsequenzen vollumfänglich zu durchdenken. D.h. die bisherige unsachgemäße Ontologiepraxis zu versuchen, von diesen Entscheidungen zu abstrahieren, wie es insbesondere bei der inferioren Ontologiekonzeption Grubers der Fall ist, kann selbstredend keine Option für das ontologische AI-Systemdesign in "*nontoy worlds*" darstellen. Damit kann es in letzter Konsequenz keine *linguistischen* Top-level Ontologien geben, die nicht auf dieser unhaltbaren Praxis aufsetzen und sich bereits damit disqualifizieren. Werden die Fundamente *linguistischer* Top-level Ontologien freigelegt, was mit Blick auf ihre Kritikabilität unumgänglich ist, zeigt sich auch bei ihnen ein dezidiertes metaphysisches Fundament im Sinne *kritikabler Metaphysik*. Deskriptive Metaphysik bezieht sich letztlich also genauso auf revisionäre metaphysische Dispositionen, nur sind diese verdeckt und in aller Regel unreflektiert. Es handelt sich somit um Ansätze, die auch insofern inferior sind, als sie unklare Grundlagen besitzen und ihre implizit gegebenen Fundamente durch Dritte aufwändig herauszulesen sind. Das erschwert ihre Kritikabilität bzw. versuchen sich diese dagegen zu immunisieren, was kaum eine sinnvolle Wissenschaftspraxis darstellen kann.

Metaphysik ist die Disziplin, deren Gegenstand in der Klärung der fundamentalen Strukturen *realer* bzw. *möglicher* Welten besteht, die für CPSS-adäquate Ontologien gleichermaßen unabdingbar sind. Entsprechend definiert auch der Physiknobelpreisträger Born (1956: 94) die *Metaphysik* »as an investigation into the general features of the *structure* of the world and our methods to deal with this *structure*«. ²⁵⁶⁵ Ähnlich konstatiert Sider (2009: 420): »The point of metaphysics is to discern the fundamental structure of the world. That requires choosing fundamental notions with which to describe the world. No one can avoid this choice«. Vor allem aber geht es um die reale Welt und damit um die Frage der fundamentalen Strukturen der Realität als solcher:

²⁵⁶⁵ Hvh. des Verf.

»Metaphysics, at bottom, is about the *fundamental structure of reality*. Not about what's necessarily true. Not about what properties are essential. Not about conceptual analysis. Not about what there is. *Structure*. Inquiry into necessity, essence, concepts, or ontology might help to illuminate *reality's structure*. But the ultimate goal is *insight into this structure itself* – insight into what the world is like, at the most fundamental level.«²⁵⁶⁶

Wenn die Metaphysik nach den fundamentalen Strukturen aller Welten fragt, bestehen mit der Disparität der einzelnen Welten auch verschiedenste Vorschläge, auf welche Weise man sich dieser Frage nähern sollte. Bei Thomasson (1999) etwa via Fiktionen, bei L.R. Baker (2006) mithilfe von "Everyday Concepts" während schließlich Hawley (2006) für eine wissenschaftliche Annäherung votiert. Zwar können Unklarheiten im Alltagswissen notwendige Überprüfungen techno-wissenschaftlicher Sachverhalte implizieren, doch ist die Prioritätsfrage mit Popper (1972a), Quine (1977) oder Bunge/Mahner (2004) klar zugunsten des objektiven Wissens entschieden. Die Fiktionen bei Thomasson (1999) geben einen Hinweis darauf, dass Metaphysik nicht strikt als wissenschaftliche Metaphysik bzw. Klasse-3-Metaphysik ausgelegt werden kann. Damit ist weniger Vaihingers (1911: 787 f.) *Metaphysik des Als-Ob* gemeint, die den *Fiktionalismus* als Sonderform des idealistischen Positivismus in die metaphysische Debatte bringt.²⁵⁶⁷ Vielmehr geht es um die Erfordernisse technologischer und praktischer Ontologien. Hier spielt das Fiktionale eine andere Rolle und hat durchaus wesentlichen Stellenwert. Allerdings müssen auch solche Fiktionen unter dem einheitlichen Regime fundamentaler Kategorien stehen, da der universale Charakter der Metaphysik ansonsten verloren ginge. Somit ist allein ein *universaler Strukturalismus* zielführend.

Metaphysik ist wie Ontologie vom Grundsatz her immer universal; entsprechend ist diese Universalität auch zu sichern. Sie ist bei einer Mehrweltenontologie in der Weise zu verstehen, dass die Metaphysik universal alle Welten adressieren können muss, allen voran die aktuelle Welt, die primären Status besitzt. Ein solches Unterfangen wird allein auf Basis eines mächtigen, jedoch einheitlichen Kategoriensystems möglich. Das Universale wird dabei durch CPSS-adäquate Fundamentalkategorien gewährleistet, die sowohl für physische wie für virtuelle Welten zentrale Gültigkeit haben. Prozesse, Ereignisse und Objekte stellen dabei solche Fundamentalkategorien. Demgegenüber wird das Spezifische durch die Differenzierung der Welttypen im Sinne Poppers eröffnet. Wie der folgende fünfte, sechste und siebte Teil im Einzelnen aufzeigt, sind alle TLO-Theorieanwärter regelrecht von Metaphysik durchsetzt. Damit muss es mit Pkt. 4.1 vor dem Hintergrund der historisch nicht unumstrittenen Metaphysik gelten, im ersten Schritt ein zeitgemäßes Metaphysikverständnis zu umreißen. Dieses hat dabei vor allem auf die Belange der Informatik abzustellen, wobei sich auch mit Steinharts (1998) *Digital Metaphysics* das enge Verhältnis von Informatik und Metaphysik zeigt. Dieses ist natürlich schon im Leibnizprogramm angelegt, bleibt jedoch im Zuge einer techno-wissenschaftlichen Metaphysik als Fundament der *Top-level Ontologie* im Zeichen des *cyber-physischen "Reality Computing"* neu zu begründen.

²⁵⁶⁶ Sider (2012: 1), Hvh. des Verf.

²⁵⁶⁷ Ein solches Unterfangen würde dann auf einen W1F-Modus hinauslaufen.

4.1 Zur Möglichkeit der Metaphysik: Kritik der Metaphysikklassen

»Metaphysics is nothing but the description of the generalities which apply to all the details of practice.«

— Alfred North Whitehead (1929a: 13)

Cyber-physische Systeme (CPS) gelangen als CAS (CPE) in den vielfältigsten ontologischen Anwendungs- und Integrations Szenarien zum Einsatz, wobei dies gerade bei *Closed-loop U-PLM-Systemen* in kombinierter Weise geschieht: Hier reichen sie von der BOL-Phase der *Smart Factory* (CPPS, CPLS) über die MOL-Phase bei *Smart Products* (PEID) bis hin zu *Smart Communities* (CPSS), wie sie für Innovationsprozesse des *Smart Enterprise* entscheidend sind und sich dabei auf alle Phasen des PLM-Zyklus beziehen. Entsprechend muss sich die *Smart Enterprise Integration* (SEI) in entscheidender Weise als *CPSS-adäquat* erweisen, wobei außer Frage steht, dass davon nicht nur das komplette Systemdesign wie die *Enterprise Architecture* elementar berührt sind, sondern genauso alle ihr im CPSS-IoX-Zusammenhang zugrundeliegenden Basistechnologien. Analog dazu entstehen mit dem CPS-CEP-Konnex, der nicht weniger als einen Wechsel von der primären Objekt- zur primären Ereigniszentrierung impliziert, oder mit dem CPS-MAS-Konnex grundlegend neue Basisansätze. Ähnliches gilt mit Blick auf die sensorbezogene kontext- resp. situationssensitive Eigenart dieser Systeme (TLO-referenzierende CAW- bzw. SAW-Ontologien) bzw. auf ihre Selbstorganisations- und Adaptionaspekte, die schließlich wie die CEP- oder MAS-Aspekte (Pkt. 6.2.1) wiederum auf der *Theorie komplexer Systeme* (CAS) aufbauen.²⁵⁶⁸ In dem Sinne, dass CPS diese und weitere Aspekte insgesamt in kombinierter Form voraussetzen, ändert sich mit ihnen für die Informatik alles. Das gilt auch dann, wenn alle genannten Aspekte auch jenseits der jeweiligen CPS-Gesichtspunkte für die Disziplin wesentliche Relevanz entfalten.

Insofern das Ganze in seinen Zusammenhängen gesehen werden muss, ist in diesem systemischen CPSS-IoX-Verbund ein *neues Paradigma* der Informatik auszumachen. Es handelt sich dabei nicht um irgendein neues, sondern um *ihr* Paradigma; um das eigentliche Paradigma der Informatik, das erst jetzt im Sinne von Leibnizens Ursprungsgedanken zu einem in sich geschlossenen Ganzen zusammenwächst. Entsprechend ist die Emergenz dieses neuen Paradigmas nicht diesem kombinatorischen Aspekt geschuldet, indem dieser in einem größeren Gefüge zu sehen ist: Tatsächlich steht seine wahre Bewandnis erneut im Zeichen von McCarthys (1995) "*general world view*", indem dieser für die disparaten CPS-Welttypen den integrativen Dreh- und Angelpunkt, nämlich die *metaphysisch fundierte Top-level Ontologie* darstellt. In diesem Sinne stellt das *neue Paradigma* der Informatik letztlich zwingend ein *metaphysisch fundiertes Paradigma* dar, für das neben Metaphysik und Ontologie im Automaten- bzw. CAS-Sinne vor allem die Komplexitätsforschung konstituierend ist. Die Rede von einem CPS-bezogenen *neuen Paradigma* ist deshalb opportun, weil Cyber-physische Systeme (CPS) nicht etwa einen Sonderfall der Informatik bilden, sondern vielmehr als ihr eigentlicher Normalmodus zu erachten sind. Vor

²⁵⁶⁸ Vgl. hierzu etwa Rzevski (2012).

diesem Hintergrund stellen prinzipiell alle computergestützten Systeme cyber-physische *World Automata* dar, die im Leibniz-Whiteheadschen Sinne zu verstehen sind, und dabei im Zeichen von Feynman (1986: 520) den einzig sachgerechten Zugang zu einem "*universal computer*" darstellen. Indem *World Automata* für alle vier CYPO-Welten konstituierend sind, beziehen sich diese sowohl auf den Cyberspace mit seiner unendlichen Zahl *möglicher Welten* wie auch auf die Realität als *aktueller Welt*: Genau dann geht es in der generischen Klasse der *World Automata* um die erwähnten *Reality Machines* (Reality Automata), die insbesondere in der IS/KS-Sphäre den Standardfall bilden. Ob als *World Automata* oder *Reality Machine*; mit der Entdeckung ihrer eigentlichen CPS-Natur beginnt in der Informatik eine Zeitenwende, indem ihr *neues Paradigma*, das der dritten AI-Generation analog zum Leibniz-Whiteheadschen Ursprungsparadigma ein *metaphysisch fundiertes Paradigma* repräsentiert.

In diesem neuen Paradigma, dessen Kern in der dritten AI-Generation besteht, erfahren Ontologien nicht nur zentralen Stellenwert, sondern mit ihm wird nicht zuletzt mit allen SEI-Szenarien – wie auch für die Informatik insgesamt – eine neue Ontologiekonzeption erforderlich, die sich in elementarer Weise durch ihre *CPSS-Adäquanz* auszeichnet. Es geht um eine *TLO-referenzierende Mehrweltenontologie*, die mit Pkt. 3.5 im Popperschen Sinne zwischen verschiedenen Welt- resp. Ontologietypen differenziert. Denn CPS bewegen sich autonom in ontisch-physischen *Welten* (W1), besitzen als *kognitive Systeme* ihr eigenes subjektivistisches *Belief System* (W2), weisen eine komplexe Steuerungslogik mitsamt einer *Ontologie der Artefakte* (W3) auf, und agieren schließlich als MAS in *Artificial Societies* (W4). Dabei sind natürlich alle vier Welten *spezifische ontologische Welten*, nämlich sowohl unter metaphysischen wie unter wissensontologischen bzw. methodologischen Gesichtspunkten. Eine solche *Mehrweltenontologie* ist deshalb allein *metaphysisch* begründbar, als es um völlig disparate Welttypen geht, deren jeweilige fundamentale Strukturen zu analysieren und in einer einheitlichen TLO-Konzeption zu integrieren sind. Insofern muss auch diese TLO-Konzeption *metaphysischer* Natur sein. Neben diesen fundamentalen Strukturen der Welten bzw. Realität ist etwa darzulegen, wie sich die W2-W1- bzw. W2-W3-Interaktion darstellt, ob die fundamentalen Strukturen dieser Welten konform sind, ob Kategorien-Kompatibilität besteht, inwiefern Entitäten in den Welten existieren, oder wie sich die einheitliche TLO-Referenz bewerkstelligen lässt. Das alles setzt ein in sich konsistentes Metaphysiksystem voraus.

Dass diese Fragen für die Ontologiedebatte tatsächlich von größter Relevanz sind, wird an der Feststellung ersichtlich, dass sie zwar typisch für moderne Systeme sind, jedoch alle bisherigen TLO-Theorieanwörter an ihnen letztlich scheitern. Dabei lassen sich die Ursachen für dieses Scheitern direkt benennen: sie liegen (i) regelmäßig in einer für CPS-Zwecke falsch gewählten *Metaphysik* bzw. philosophischen Basis oder aber (ii) im Ausnahmefall in einer zwar richtig gewählten Metaphysik, die jedoch falsch in die *Top-level Ontologie* transformiert wird. Dazu sei exemplarisch auf zwei TLO-Ansätze verwiesen, die diese

Defekte besonders gut illustrieren: ad (i) ist auf die BFO-TLO Smithens zu verweisen; ad (ii) auf die Sowa-TLO. Schon mit diesen Beispielfällen wird deutlich, wie sehr die ganze *Top-level Ontologie* auf der Metaphysik und ihrer richtigen Konzeption beruht. Genauso wird offenbar, welche hohe Ansprüche eine *CPSS-adäquate Ontologiekonzeption* in ihrer TLO-Referenz an das Metaphysikfundament stellt. Indem der eigentliche Ursprung der Informatik im Leibnizprogramm besteht, das in seiner Einheit von *Scientia generalis*, *Mathesis universalis* und *Metaphysica* zu verstehen ist, wird die fundamentale Rolle, die die Metaphysik für die Informatik besitzt, ersichtlich. Denn das Leibnizprogramm beruht primär auf Leibnizens *Metaphysica*, wobei hier – wie generell – die Metaphysik alles andere bestimmt. Indem Leibnizens *Monadologie* die Welt als *System von Automaten* versteht, wird bereits vor dem Hintergrund von Shannon/McCarthy (1956) *Automata Studies* deutlich, dass McCarthy (1995) "*general world view*" allein eine *metaphysische* Weltauffassung darstellen kann. Mit diesem "*general world view*" steht außer Frage, dass eine *realweltliche* AI-Disziplin, die sich mit Hayes (1979) nicht an '*toy problems*' orientieren will, *metaphysisch* zu begründen ist. Dabei gilt mit E.J. Lowe (2013b), dass diese Begründung *unmittelbar über die Metaphysik selbst* zu vollziehen ist, nicht etwa über Vehikel von nachgeordneter AI-Relevanz wie Epistemologie, Logik, Semantik oder die Philosophie des Geistes: »*metaphysics must be done directly*«. ²⁵⁶⁹

Metaphysik ist aus dem Grunde immer in der *Metaphysik als Disziplin* selbst zu führen, weil es nie um einzelne metaphysische Aspekte geht, sondern immer um ein metaphysisches Gesamtsystem, das in sich konsistent ist. Es lassen sich also keine metaphysischen Teile isolieren, und als solche in andere Disziplinen wie die Epistemologie oder Logik verlagern, weil Metaphysik *immer System* ist; es geht also um *Metaphysiksysteme* als Ganzes. Das ist deshalb in aller Rigorosität zu fordern, weil anders alle Aspekte meta-ontologischer Fundierung nicht in sich konsistent sein können, damit diese Fundierung wiederum zum jeweiligen Realitätsverständnis passt, zu ihrem fundamentalen Kategoriensystem. Daneben muss dieses Kategoriensystem mit den identifizierten fundamentalen Weltstrukturen korrespondieren, und die epistemologischen Positionen müssen sowohl mit der *Theorie des Wissens* als auch mit der zugehörigen Methodologie konform gehen. ²⁵⁷⁰ Im Sinne wissenschaftlicher Metaphysik vermag darüber hinaus nur diese in ihrer Eigenart als *allgemeinste Theorie* im Wechselspiel mit den Wissenschaften die empirische Adäquanz aller Positionen kontinuierlich abzusichern. Demnach beschränkt sich die Relevanz der *Metaphysik* in Analogie zu Arp (2010) offenbar nicht länger allein auf die Philosophie.

Alle vorgenannten metaphysischen Aspekte besitzen eine solche Breite und Tiefe, die eine darauf spezialisierte, eigenständige Metaphysikdisziplin erforderlich machen. Hier ist

²⁵⁶⁹ Vgl. E.J. Lowe (2013b: 126), Hvh. im Orig.

²⁵⁷⁰ Ontologie, Epistemologie und Methodologie sind demnach integriert zu behandeln; sie beziehen sich in zentraler Weise auf die *Metaphysik* als Erster Philosophie, die Quine (1981) gerade zu überwinden trachtet. Indem dies in Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken streng auf die Wissenschaften bezogen ist, erweist sich diese Perspektive als kongruent mit Ladymans (2002, 2007) *Philosophy of Science*, die die Wissenschaftstheorie im breiten Sinne "*as epistemology and metaphysics*" auslegt.

nicht der Ort der Frage nachzugehen, wie das im Einzelnen zu organisieren ist. Allein steht außer Frage, dass dies nicht im klassisch metaphysischen Sinne zu bewerkstelligen ist. Denn klassisch ausgebildete Philosophen, die die Metaphysik bestimmen, sind wohl nur in Ausnahmefällen in der Lage die Metaphysik zu modernisieren, wie es bereits im kosmologischen Sinne erforderlich ist. Mit anderen Worten läuft hier vieles falsch, indem Metaphysik oftmals eher nach Maßstäben der Philosophiegeschichte denn systematisch betrieben wird. Wird sie systematisch betrieben, dann zumeist nach Maßgabe von spekulativen *Mögliche-Welten-Metaphysiken*, die aus gutem Grund für Wissenschaft wie Praxis gleichermaßen wenig bedeutend sind. Eine kosmologische Metaphysikperspektive, wie sie insbesondere für Whitehead, Popper oder Bunge kennzeichnend ist, scheitert in der Diffusion zumeist daran, dass analytische Metaphysiker den erforderlichen transdisziplinären Wissenschaftsfokus *wissenschaftlicher Metaphysik* nicht im Blick haben. Daneben muss die zwingende Verbindung von Metaphysik und Informatik weit über abstrakte mögliche Welten hinausgehen, wenn in Pkt. 3.3 mit McCarthy (1995) festgestellt wurde, dass alle zentralen AI-Ideen *philosophische* Ideen sind, und mit Glymour/Ford/Hayes (2000) gar, dass AI *Philosophie* ist. Konkreter muss es heißen: *AI ist Metaphysik*, auf der im Leibniz-Whiteheadschen Sinne eine entsprechende Epistemologie, mathematische Logik, Methodologie wie eine *Theorie des Wissens* systematisch aufbauen.

Metaphysik ist im Leibniz-Whiteheadschen Sinne samt ihrer oben genannten Unterdisziplinen die wichtigste Disziplin überhaupt; sie liegt allem anderen zugrunde. In digitalmetaphysischer Perspektive ist die Informatik strukturwissenschaftliche Schlüsseldisziplin, während die Physik die erste Erfahrungswissenschaft markiert. Beide fallen im cyber-physischen Sinne unter das einheitliche Regime der Komplexitätsforschung. Dabei ist dies alles im Zirkel zu sehen, und damit im Sinne von Agassi (2006) wie des *Ratio-Empirismus* durchaus auch vom anderen Ende. Anders wäre das Prinzip der stetigen Infragestellung metaphysischer Systeme im Sinne *allgemeinster Theorie* nicht zu rechtfertigen; Metaphysik kann also vom anderen Ende empirisch komplett revidiert bzw. verworfen werden. Metaphysik ist nach Leibniz-Whiteheadschem Verständnis, das in beiden Fällen mit *zellulären Automaten* korrespondiert, *Cyber-Metaphysik*. Insofern gilt auf der Automatengrundlage nicht nur, dass AI *Metaphysik* ist, sondern in vielerlei Hinsicht auch, dass Metaphysik *Informatik* ist; sie läuft nämlich in der angezeigten Ergänzung von Wolframs (2002) *New Kind of Science* als *World Automata Science* im Zeichen des Kantisch-Feynmanschen *Regeluniversums* unmittelbar auf Computersimulationen und -experimente hinaus. Speziell unter Wissensgesichtspunkten gilt dann auch: Metaphysik ist AI, nämlich wenn es um die fundamentalen Strukturen der Welt bzw. der Realität geht. Wenn also die Metaphysik in die *Top-level Ontologie* der Informatik transformiert wird.

Insgesamt wird somit offenbar, was in der TLO-Diskussion bisher kaum bis gar nicht berücksichtigt wird, nämlich, dass das Verhältnis zwischen *Metaphysik und Top-level Ontologie* nicht nur ein überaus enges ist, sondern, dass es sich dabei um ein *systemati-*

sches Verhältnis handelt. Denn die Metaphysik liefert ihre Grundlagen in Form einer *systemischen Meta-Ontologie* der Welt- bzw. Realitätsstrukturen wie der damit zusammenhängenden universalen Kategorien. Analoges gilt in epistemologischer wie methodologischer Hinsicht oder etwa im Hinblick auf die passenden Logikkalküle. Indem die *Top-level Ontologie* Ausgangspunkt wie oberste Referenzebene der *OE-Disziplin* der Informatik ist, besteht somit auch zwischen Metaphysik und OE-Disziplin dieser enge Bezug. Im Sinne techno-wissenschaftlicher Metaphysik ist beides gar interdependent, wie in Abb. 3 unter Pkt. 3.3.1 illustriert. In dieser Interdependenz stellt sich die oben aufgeworfene Frage nach der Organisation der Metaphysikdisziplin, insbesondere wenn diese im Sinne der klassischen Systematik Wolffs (1730) die philosophische Ontologie als *metaphysica generalis* mit umfasst. Mit der obigen Kritik der aktuellen Metaphysikpraxis treten wiederholt Ideen in Erscheinung, die darauf zielen, die metaphysische Ontologie aus der Philosophie herauszulösen, wie sie B. Smith und andere vertreten. In dieser Linie steht auch Abdoullaevs (2008: 34) *Ontologie* als "*universal science*", was das oben Gesagte nochmals von dritter Seite unterstreicht. In einer solchen Herauslösung, die darauf hinausläuft, alle Ontologie, speziell jene von Philosophie, Informatik und Einzelwissenschaften, in einer Disziplin zusammenzufassen, kann jedoch nur bedingt eine Option bestehen: sie kann nämlich allenfalls ergänzenden Charakters sein. Denn sowohl was das Verhältnis der Metaphysik zur Philosophie als auch das Verhältnis der *Top-level Ontologie* bzw. der OE-Disziplin insgesamt zur Informatik anbelangt, gilt: sie sind für ihre jeweilige gesamte Disziplin grundlegend und lassen sich insofern auch nicht aus diesen herauslösen.

Welchen Stellenwert die enge Verbindung von Metaphysik und OE-Disziplin tatsächlich hat, wird mit der auch für das *U-PLM-Referenzszenario* relevanten *Semantic E-Science* offensichtlich, wenn sich diese vor allem auf die *Realwissenschaften* bezieht und von Seiten der AI-Disziplin eine ontologische Grundlegung einfordert. Dann geht es nicht mehr bloß um die Frage der Realitätsrepräsentation bei technologisch-realweltlichen AI-Systemen, sondern vielmehr um den zu klärenden Sachverhalt, welche universalen Kategorien im Zeichen des Transdisziplinaritätsmoments für *alle* realwissenschaftlichen Disziplinen gelten können. Dabei ist nicht nur die Frage eines adäquaten Realitätsverständnisses, sondern vielmehr alle oben genannten Metaphysikaspekte für eine sachgerecht konzipierte *Top-level Ontologie* von unmittelbarer Bewandnis. Offensichtlich kann vor diesem Hintergrund auch die *Top-level Ontologie* selbst nur dann in sich konsistent sein, wenn sie zum einen unmittelbar auf die Metaphysik referenziert, zum anderen sich dabei rigoros auf diese als Gesamtsystem erstreckt.

Es ist faktisch unmöglich, *Wissen* im Sinne des KR-Gedankens sachgerecht zu repräsentieren, ohne dass Klarheit bzw. Einigkeit bzgl. der grundlegenden Kategorien, der Meta-Ontologie sowie epistemologischer wie methodologischer Aspekte besteht.²⁵⁷¹ Analoges gilt für *Daten und Informationen*, weil es unmöglich ist, konzeptuelle Modelle sachge-

²⁵⁷¹ Vgl. hierzu bereits R.W. Sellars (1920).

recht zu entwickeln, ohne dass die gleiche Klarheit bzw. Einigkeit gegeben ist. Ähnliches gilt im Hinblick auf die Datenfusion und insbesondere für die höhere Informationsfusion (HLIF). McCarthy/Hayes (1969) weisen in dieser Sache den Weg, denn es sind allein *metaphysisch wie epistemologisch adäquate Repräsentationen*, die den sachgerechten Ansatzpunkt im AI- bzw. CM-Kontext bilden können. Demgegenüber ist die *Idee linguistischer Ontologie* von Genesereth/Nilsson (1987), Gruber (1993, 1995) und Epigonen in dem Sinne gescheitert, als sie die notwendig werdende vollumfängliche IS-Interoperabilität und KS-Transdisziplinarität, die nicht zuletzt mit Verweis auf die Präzisions- und Stabilitätsaspekte im Sinne der Heavyweight-Ontologie zu vollziehen ist, systematisch versagt. Ferner ist mit Verweis auf Pkt. 3.2.3 festzuhalten, dass Common Sense-Ontologien mit Blick auf die *Natur des Wissens* gegenüber objektivem, präzisen Wissen von inferiorer Gestalt sind. Entsprechend lassen sie sich sachgerecht nicht unabhängig von diesem objektiven Wissen entwickeln, sondern sich nur zur Vereinfachung von diesem ableiten.

Was die *Metaphysik* für die Philosophie darstellt, ist die *Top-level Ontologie* für die Informatik: sie ist *allgemeinste Theorie*.²⁵⁷² Hier wie da bilden sie den Ausgangspunkt und die oberste Referenzebene, was im letzteren Fall selbstverständlich nicht nur für AI-Aspekte, sondern mit einer TLO-referenzierenden *konzeptuellen Modellierung* für das *Software Engineering* (SE) bzw. *Systems Engineering* insgesamt zutreffend ist. Dabei gilt der Status als oberste Referenzebene für die *Top-level Ontologie* weitaus strikter als jener der Metaphysik. Denn mit Agassi (2006) ist die Möglichkeit des freien "bottom-up" im Wissenschaftsvollzug ohne die "top-down"-Assistenz der Metaphysik als problemlos zu erachten, ungeachtet dessen, dass auch Agassi das enge Zusammenspiel von Wissenschaft und Metaphysik allgemein befürwortet.²⁵⁷³ Tatsächlich muss hier ein solches "bottom-up" möglich sein, weil ansonsten die Revision der Metaphysik im Sinne des *Ratio-Empirismus* schwerlich zu vollziehen wäre. Demgegenüber ist der Fall der *Top-level Ontologie* ganz anders gelagert und das in zweifacher Hinsicht: (i) zum einen erfolgt die TLO-Korrektur metaphysisch fundierter Top-level Ontologien über die Revision techno-wissenschaftlicher Metaphysik, so dass hier die Revisionsfunktion eines freien "bottom-up" entfällt.

Wesentlicher ist jedoch (ii), dass im Gegensatz zum Wissenschaftsvollzug, bei dem die Idee der *Einheit der Wissenschaften* zwar mit Apostel (1963) explizites metaphysisches Ziel, doch faktisch betrachtet bislang eher Fiktion ist,²⁵⁷⁴ die transdisziplinäre *Einheit des*

²⁵⁷² Vgl. Bunge (1971: 507 f.; 1973: 145).

²⁵⁷³ Vgl. Agassi (2006: 16).

²⁵⁷⁴ Vgl. Apostel (1963: 22): »The ideal of the unity of Science can only be realised in a scientific metaphysics [...] and the ideal of a scientific metaphysics can only be realised through the attempt towards unification of science«. Vgl. hierzu ferner Dupré (1993: 7, 221): »The idea of science as a project that might ultimately be completed in some grand synthesis of all natural knowledge is an understandable and perennial dream. [...] The conceptions of an ordered nature and a unified science belong naturally together. If there is some ultimate and unique order underlying the apparent diversity and disorder of nature, then the point of science should be to tell the one story that expresses this order«. Wenn eine solche Einheit oftmals auf Basis von "Imperialismen" versucht wird, ist noch nicht einmal deren Richtung klar. Unter Naturwissenschaftlern gibt es gewiss nicht nur Naturalisten bzw. Materialisten oder Reduktionisten, sondern auch solche, die dem Geistigen primären Rang einräumen wollen. Hierzu gehören Physiker wie

Wissens auf Basis unterschiedlichster Ontologietypen und -arten wie die damit verbundene *vollumfängliche semantische Interoperabilität* in AI-Integrationsszenarien bzw. der *Smart Enterprise Integration* (SEI) die *unmittelbare Verpflichtung* darstellt. Mit anderen Worten stellen sich desintegrierte Wissenschaften vergleichsweise problemloser dar als desintegrierte Applikationslandschaften resp. Wissensbasen. Vor allem mit Blick auf die semantische Systemintegration gilt, dass eine Inkommensurabilität von Ontologien gerade bei kritischen Prozessen inakzeptabel ist. Gleichzeitig ist eine *ad hoc* Aufschaltung formaler Ontologien als Teil ganzer Ontologiebibliotheken direkt realisierbar; in der Idee der TLO-Referenz zeigt sich diese mit der integrierten Ontologiekonzeption unmittelbar angelegt.²⁵⁷⁵ Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass Agassis (2006) freies "bottom-up" im TLO-Fall im Gegensatz zur Wissenschaftssphäre kaum eine zielführende Option darstellen kann. Allerdings kann sich der Status quo selbst für letztere ändern, wenn die *Semantic E-Sciences* nicht nur objektivem Wissen verpflichtet sind, sondern für sie auch eine TLO-Referenz verbindlich wird. Dann nämlich gelangt die mit Agassi relativierte "top-down"-Assistenz der Metaphysik mit der *metaphysisch* fundierten *Top-level Ontologie* gewissermaßen lautlos durch die Hintertür in die faktische Sphäre der Wissenschaften.

Ontologien repräsentieren *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle*, und vor diesem Hintergrund ist die Rolle der Metaphysik klar: sie ist im Leibniz-Whitehead-schen Sinne *Welthypothese aktueller resp. möglicher Erfahrung*.²⁵⁷⁶ Insofern ist McCarthys (1995) "*general world view*" *metaphysische*, d.h. *fundamentale Weltauffassung*, die für die Zwecke der Informatik in die *Top-level Ontologie* zu transformieren und ggf. zu modifizieren ist. Entsprechend ist nicht nur die Rolle der Metaphysik evident, sondern auch jene der *Top-level Ontologie*: sie bildet im Sinne der fundamentalen Strukturen der Diskurswelten bzw. der Realität das *fundamentale Weltmodell*. Als solches besitzt die *Top-level Ontologie* die am Ende von Pkt. 3.4 genannten grundsätzlichen Funktionen in CM- bzw. KR-Hinsicht, im Hinblick auf die semantische Interoperabilität sowie die Inferenz. Diese Funktionen sind insbesondere vor dem Hintergrund der Erfordernisse von CPS integrativ zu leisten, etwa wenn CM- und KR-Gesichtspunkte bei *Reality Machines* in *nontoy worlds* unmittelbar zusammenfallen. Die *Top-level Ontologie* ist *formale Ontologie*,²⁵⁷⁷ die wiederum mit Cocchiarella (1991) auf philosophische Ansätze bezogen ist. Alternative TLO-Weltmodelle treten genauso vielfältig in Erscheinung wie die Vielfalt der mit ihnen verbunde-

Mach (1918) im Rekurs auf Berkeley oder C.F. von Weizsäcker (1948) im direkten Bezug auf die Einheit der Wissenschaften, wenn die Geisteswissenschaften als elementare Voraussetzung der Naturwissenschaften erachtet werden. Allerdings lässt sich die tiefe Spaltung, die Natur- und Geisteswissenschaften durchzieht, nicht durch solche Imperialismen überwinden; vielmehr lässt sich eine tatsächliche Einheit allein als *ontologische* Einheit im Sinne der Transdisziplinarität auf metaphysischer Basis realisieren. Der Stand der Diskussion, vgl. etwa Sober (1995), zieht diese Alternative überraschenderweise nicht in Betracht, sondern macht an überholten Konzepten fest.

²⁵⁷⁵ Vgl. hierzu auch Borgo (2010).

²⁵⁷⁶ Vgl. Stace (1949).

²⁵⁷⁷ Dabei gilt mit Cocchiarella (1991: 640): »[F]ormal ontology [...] is the systematic, formal, axiomatic development of the logic of all forms and modes of being«.

nen metaphysischen Theorien, was einschließlich der *deskriptiven Metaphysik*, also etwa der *Commonsense Metaphysics* von Hobbs et al. (1987) gilt. Somit erklärt sich auch das große Spektrum konkurrierender TLO-Theorieanwärter.

Analog zu Cocchiarellas (1991) Priorisierung der formalen Ontologie gegenüber allen anderen Wissenschaften besitzt auch die *Top-level Ontologie* als *universale Ontologie* Priorität im Ontologiesystem der Informatik. Dabei ist diese *universale Ontologie* – will sie wissenschafts- resp. technologiekonform sein – im Zeichen objektiven präzisen Wissens allein möglich auf Basis *allgemeinster Theorie*. Wenn der Status *universaler Ontologie* für die *Top-level Ontologie* konstituierend ist, folgt daraus das zwingende Erfordernis ihrer *metaphysischen Fundierung*. Indem die *Top-level Ontologie* nicht nur Referenzbasis von *Scientific Ontologies* ist, sondern analog für technologische resp. praktische Ontologien gilt, ist die im Folgenden abgegrenzte *wissenschaftliche Metaphysik* offensichtlich nicht hinreichend. Vielmehr ist für die Zwecke der Informatik, insbesondere für eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption eine *techno-wissenschaftliche Metaphysik* voranzusetzen.

Indem es mit unterschiedlichen Ontologiearten und -typen um gänzlich disparate Welttypen und Wissensarten geht, also keineswegs allein um objektives Wissen im Sinne Poppers, ist nicht nur Newells (1982) in die AI-Systematik eingezogene *Wissensebene* (Knowledge Level), sondern auch ihre Reinterpretation durch Clancey (1993) gleichermaßen neu zu interpretieren: Wenn es offensichtlich vier Welttypen gibt, ist gewiss auch die *Natur des Wissens* nicht homogen. Vielmehr ist sie mit Pkt. 3.5 in den Kontext von CYPO FOX als *Multi-Ontologie* zu stellen. In ihrem Sinne gilt ein *metaphysischer wie epistemologischer Realismus*, wobei dieser doppelte Realismus im direkten Zusammenhang zur Prozessmetaphysik Whiteheads steht. Insofern gilt auch für Newells (1982) *Knowledge Level*, dass dieser insgesamt unter dem Regime einer *universalen prozessualen Epistemologie* steht, während sich diese in Reschers (1996) *Process Metaphysics* noch auf eine Agentenklasse beschränkt. Mit Rescher (1996: 123 ff.) ist auch das *Wissen prozessual* zu begreifen. Indem *Wissen* im Zeichen von W3-Artefakten zu verstehen ist, resultiert diese Sichtweise gleichermaßen aus der W3-Referenz auf eine *prozessuale Top-level Ontologie*. Mit der universalen W2- bzw. W3-Konzeption ist dies entsprechend universal für alles Wissen aller Agentenklassen voranzusetzen. Dabei besteht in einer solch *universalen prozessualen Epistemologie* im Rekurs auf ein fundamentales TLO-Weltmodell im Sinne McCarthys (1995) mitsamt der universalisierten *Theorie des Wissens* ein wichtiger Schritt zur Ermöglichung von *Superintelligenz* der dritten AI-Generation.

Als *universale Ontologie* muss jede überzeugende *Top-level Ontologie* wissenschafts- resp. technologiekonform sein, was nur dann möglich ist, wenn sie wiederum auf die wissenschaftliche Metaphysik als *allgemeinste Theorie* referenziert. Während dieser Schritt für rein *linguistisch* konzipierte *Top-level Ontologien* im Allgemeinen ohnehin irrelevant ist, stellt sich heute kein einziger TLO-Theorieanwärter dieser elementaren Herausforderung. Allenfalls wäre dieser Schritt für zwei aktuelle TLO-Ansätze denkbar, wird durch sie

jedoch nicht vollzogen: für die BWW-TLO sowie die Sowa-TLO, die mit Bunge bzw. Whitehead auf wissenschaftlichen Metaphysiken gründen, die einen solchen *Ratio-Empirismus* voraussetzen.²⁵⁷⁸ Zwar versteht sich auch die BFO-TLO strikt als *Scientific Ontology*, doch referenziert sie ihrerseits nicht auf eine Metaphysikbasis, die im unten erörterten Bungeschen Sinne als *Scientific Metaphysics* klassifizierbar wäre. Somit kann für sie der unten erörterte *Ratio-Empirismus* keine echte Option darstellen. Entsprechend ist zwar die BFO-TLO selbst modifizierbar und wird auch beständig modifiziert, während sie keine metaphysische Basis besitzt, die in elementarer Weise auf das Whiteheadsche (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« abstellt.

Nicht im Sinne der strikt empirischen Orientierung der BFO-TLO, sondern allein vor dem Hintergrund der *allgemeinsten Theorie*, die mit Bunge für den *Ratio-Empirismus* bzw. die *wissenschaftliche Metaphysik* kennzeichnend ist, muss es überraschen, dass gerade Smith/Ceusters (2010) die Idee der *Einheits-TLO* ins Spiel bringen. Diese Idee ist in dem Sinne zu verstehen, dass es in der Informatik tatsächlich *nur eine* Top-level Ontologie gibt. Mit ihr würde die Situation eintreten, dass die Koexistenz der Vielzahl völlig disparater konkurrierender TLO-Theorieanwärter aufgehoben ist, was keinesfalls bedeutet, dass der etablierte TLO-Ansatz nicht mehr durch neue, irgendwann ggf. adäquatere Theorieanwärter herausgefordert wird. Mit dieser Idee der *Einheits-TLO* ist entsprechend etwas anderes impliziert als die von anderer Seite vorgebrachte, jedoch unhaltbare Idee eines TLO-Mappings. Gewissermaßen besteht in erster der Gegenpol zum zweiten, nämlich insofern eine *Einheits-TLO* allein auf dem Wege konsequenter TLO-Evaluierung und TLO-Selektion realisierbar ist. Mit letzterer müssten als inferior identifizierte TLO-Ansätze im Zuge ihrer umfassenden Kritik auch disziplinweit vernehmlich *ad acta* gelegt werden. Wichtig ist hier der Hinweis, dass die Idee der *Einheits-TLO* primär auf die AI-Ontologie zielt, bei der eine Integration naheliegt. Denn im CM-Kontext vertreten Milton/Kazmierczak (2006) letztlich dazu eine genaue Gegenposition, wenn sie meinen, dass es keinen "Gold Standard" in der Ontologiefrage gäbe. Hier wird jedoch die Ontologie nicht auf die Modellierung als solche, sondern auf die Meta-Modellierung beschränkt. Ihre These, »that no one, best ontology exists« bzw. »that there is no best ontology for use in informatics«, ist genauso fragwürdig wie die These »[t]here is likely to be a range of ontologies that can inform our modelling theories«. ²⁵⁷⁹ Tatsächlich brechen beide Thesen dann in sich zusammen, wenn der Ontologieeinsatz nicht bei einer Meta-Modellierung stehen bleibt. Genau das aber zeichnet sich deutlich ab. Und das gilt auch für Milton/Johnston/Lederman (2005), wenn ihre ontologischen Kategorien spezifisch für agentenbasierte *situative Systeme* ausgelegt sind, wie sie gerade für intelligente CPS charakteristisch sind. Offensichtlich beschränkt sich also der Ontologieeinsatz schon bei Milton selbst nicht auf die Meta-Modellierung, womit nicht nur seine Positionen inkonsistent sind, sondern sich auch seine These von der problemlosen

²⁵⁷⁸ Vgl. speziell zum *Ratio-Empirismus* bei Whitehead etwa Wightman (1961) oder Leclerc (1986).

²⁵⁷⁹ Vgl. Milton/Kazmierczak (2006: 91).

Koexistenz konkurrierender TLO-Theorieanwärter als haltlos erweist. Nicht nur insofern stellt sich schließlich die Frage, ob die durch Milton vertretene Chisholm-TLO tatsächlich eine sachgerechte Basis für *situative Systeme* darstellt. Dabei findet sich bei Johnston/Milton (1992) zur Koexistenz konkurrierender TLO-Ansätze eine noch etwas anders akzentuierte Position:

»One difficulty with these approaches is that there are a number of philosophical ontologies available, with differing levels of formality and a wide range of philosophical commitments. The problem of how to select the appropriate one has not been resolved. The choice is thus largely a matter of taste and philosophical bias, which introduces a degree of arbitrariness in this line of research.«²⁵⁸⁰

Allerdings muss auch diese Position inakzeptabel erscheinen, als sich sehr wohl genaue Anforderungen an eine TLO-Fundierung der Informatik stellen lassen, wie sie im siebten Teil im Sinne einer CPSS-adäquaten integrierten Ontologiekonzeption im Kontext komplexer Systeme entwickelt werden. Vor diesem Hintergrund lässt sich sehr genau darlegen, dass sich gravierende qualitative Unterschiede in den einzelnen TLO-Ansätzen zeigen, wenn sie mit den dezidierten Zwecken der Informatik konfrontiert werden. Miltons These, dass es keine superiore Ontologiekonzeption für die Informatik gäbe, ist für sie nicht nur in praktischer wie in wissenschaftsprogrammatischer Hinsicht für die Disziplin fehlleitend; vielmehr ist sie an sich falsch. Tatsächlich besteht in Smith/Ceusters' (2010) Idee der *Einheits-TLO* die einzige Alternative zur Realisierung eines echten Fortschritts im Ontologiediskurs der Informatik. Allerdings müsste die Disziplin dann auch zwei notwendige Konsequenzen ziehen: zum einen müsste sie eine solche TLO-Evaluierung wie TLO-Selektion *systematisch* betreiben, was sie – ungeachtet des exorbitanten Stellenwerts der *Top-level Ontologie* – gemeinhin nicht tut. Zum anderen müsste sie alle Anstrengungen in dieser Sache darauf verwenden, eine integrative Lösung zu entwickeln, an der die Disziplin mit ihren natürlichen Integrationserfordernissen in keiner Weise vorbeikommt. Allein schon mit Blick auf die notwendige agentenbasierte AI-Konzeption kann die Idee der *Einheits-TLO* natürlich nicht auf den Ansatz hinauslaufen, den Smith/Ceusters (2010) mit ihrer einseitigen Zentrierung auf *Scientific Ontologies* selbst vertreten. Auch hier ist ein radikales Umdenken erforderlich: die eigentlichen Anforderungen sind zunächst einmal von den je eigenen Perspektiven und Zwecken vollständig zu emanzipieren; zudem kann eine Einheits-TLO im übertragenen Sinne nur radikal an Feyerabends (1975) *"anything goes"* festmachen. Denn nur dann wird eine TLO-Fundierung realisierbar sein, die allen Anforderungen gerecht wird.

Wenn mit Blick auf die Ermöglichung von Superintelligenz der dritten AI-Generation davon ausgegangen werden kann, dass über kurz oder lang nicht nur der exorbitanten Stellenwert der *Top-level Ontologie*, sondern auch die Richtigkeit bzw. Zweckmäßigkeit von Smith/Ceusters' (2010) Idee der *Einheits-TLO* erkannt wird, gelangt zwangsläufig der *Ratio-Empirismus* und mit ihm die techno-wissenschaftliche Metaphysik ins Spiel. Denn allein durch diesen Schritt lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem

²⁵⁸⁰ Johnston/Milton (1992: 41).

überwinden und eine systemübergreifende *vollumfängliche semantische Interoperabilität* realisieren. Während Smith/Ceusters (2010) die Idee der *Einheits-TLO* im unmittelbar empirischen Kontext sehen, steht indessen außer Frage, dass weder die Modifikation noch die Selektion von TLO-Ansätzen *unmittelbar* auf Grundlage empirischer Diskurse erfolgen kann. Wie sollte das bei der Vielzahl zu berücksichtigender Wissenschaften, Technologien wie relevanter praktischer Situationen gehen, wenn neue Erkenntnisse das bisherige Kategoriensystem oder einzelne meta-ontologische Dispositionen in Frage stellen? Genauer besehen ist evident, dass weder solche Modifikationen noch die TLO-Selektion über einen *bloßen Empirismus* erfolgen können. Das Procedere kann allein ein *ratio-empirisches* sein, das an der Cyber-Physik der Informatik orientiert ist. Es muss sich etwa auf Bunge bzw. Whiteheads *wissenschaftliche Metaphysik* als *allgemeinster Theorie* beziehen, mit der sich erst das für die universale Ontologie alles entscheidende *Transdisziplinaritätsmoment* realisieren lässt. Dieses erspart die fortlaufende Notwendigkeit zur Modifizierung insofern, als mit der *allgemeinsten Theorie* ein stabiles Fundament besteht, auf das referenziert wird. Smith/Ceusters (2010) Idee der *Einheits-TLO* ist also richtig, der damit direkt verbundene reine Empirismus allerdings falsch. Wenn die Lösung allein in der *allgemeinsten Theorie* bestehen kann und es gelingt, sie zu spezifizieren, sie kategorial zu fassen, ihre meta-ontologischen Implikationen zu reflektieren und schließlich auch ihre logischen, epistemologischen wie methodologischen Konsequenzen zu definieren, wird deutlich, dass vor dem Hintergrund des CPST- bzw. IoX-Hyperspace tatsächlich nur *ein* TLO-Ansatz mit sämtlichen Positionen der *allgemeinsten Theorie* kongruent sein kann: Dieser setzt zwangsläufig auf der Ontologiearchitektur von CYPO/IMKO auf.

Mit der *Top-level Ontologie* kommt die Informatik also gerade auch aus dem Grunde in keiner Weise an der Metaphysik vorbei, als der gesamte Selektionsprozess der TLO-Theorieanwärter allein im Kontext von McCarthys (1995) "*general world view*" durchführbar ist. Natürlich lässt sich die Superiorität bzw. Inferiorität einzelner TLO-Theorieanwärter *im Kern* nur anhand einer konkreten *Weltauffassung* festmachen: Erachtet die Informatik ihre Diskursuniversen als "*furnished rooms*", sind auch darauf abstellende TLO-Ansätze als geeignet zu werten. Sieht sie ihre Diskursuniversen hingegen im Zeichen von *Event Driven Worlds*, sieht die Sache ganz anders aus. Gilt es, die Informatik in ihrem Ontologiefundament voranzubringen, worin mit intelligenten AI-Systemen eine vordringliche Aufgabe bestehen muss, kommt die Disziplin offensichtlich auch gerade in dieser Selektionsfrage nicht um Metaphysik umhin. Sie muss also zunächst einmal die für die Informatik passende Metaphysik identifizieren, weil sie allein auf dieser Basis den in den Kerngesichtspunkten passenden TLO-Theorieanwärter bestimmen kann. Im Zeichen von McCarthys (1995) "*general world view*" muss somit auch hinsichtlich der TLO-Selektion eine disziplinweite Entscheidung bzgl. der sachgerechten *Weltauffassung* für die Informatik fallen. Dieser Schritt ist einfacher als es auf den ersten Blick den Anschein haben mag: Wenn es um die Intelligenz und damit die Ontologie von AI-Systemen geht, ist die Frage der AI-

Ontologie in den Kontext der gesamten AI-Programmierung, insbesondere der eigentlichen AI-Grundlagen zu rücken. Damit kommen wir auf das in Pkt. 1 bzw. Pkt. 1.1 dargelegte Erfordernis der dritten AI-Generation zurück. Diese Diskussion wird im Folgenden mit der Automatentheorie bzw. dem dazu passenden *Evolutions- und Komplexitätsparadigma* fortgesetzt, in dem der ratio-empirische Mittler zur *allgemeinsten Theorie* besteht.

Wenn außer Frage steht, dass die *Metaphysik* eine über zwei Jahrtausende dauernde Vergangenheit mit einigen Tiefpunkten hat, sie zudem vollkommen verschiedene Auslegungen besitzt, ist zunächst ausführlicher auf diese Disziplin an sich einzugehen. Das gilt auch insofern, als gerade in der Informatik mit McCarthy/Hayes (1969) zwar seit langem auch explizit auf die Metaphysik rekurriert wird, dies jedoch in höchst disparaten Formen erfolgt. Hierzu gehören unter anderem folgende Metaphysikansätze: alle im Zusammenhang mit dem *Frame Problem* in Pkt. 1 genannten Metaphysikpositionen der ersten, zweiten und dritten AI-Generation sowie alle Metaphysikpositionen, die hinter den einzelnen TLO-Ansätzen stehen. Das betrifft mit der BWW-TLO die Bungsche *Substanzmetaphysik*, mit dem TLO-Ansatz Miltons (2004) Chisholms (1989, 1996) *Substanzmetaphysik*, mit den TLO-Ansätzen von Sowa (2000) bzw. Batres et al. (2007) die Whiteheadsche *Prozessmetaphysik* sowie mit dem in der Disziplin gängigen Rekurs auf Strawsons (1959) Differenzierung von *revisionärer vs. deskriptiver Metaphysik* alle Typen von letzterer, hinter der zahlreiche philosophische Ansätze stehen, angefangen von der analytischen Ontologie bzw. Metaphysik über die Phänomenologie und neo-aristotelischen Positionen bis hin etwa zur *Commonsense Metaphysics* von Hobbs et al. (1987). Auch damit endet der Rekurs der Informatik auf die Metaphysik nicht; hinzu kommen etwa E. Halls (1949) *Metaphysics of Logic*, D. Moores (1992) *Metaphysics of the Computer*, Heims (1993) *Metaphysics of Virtual Reality*, Steinharts (1998) *Digital Metaphysics*, Fitelson/Zaltas (2007) *Computational Metaphysics*, Petersens (2013) *Algorithmic Metaphysics*, und all jene metaphysischen Positionen, die im Zuge der Komplexitätsforschung als Computerwissenschaft mit Pagels (1988) oder Casti (1997) ins Feld geführt werden. Wenn schließlich jedes *cyber-physische "Reality Computing"* auf der Physik aufsetzt, zeigen sich zwangsläufig die metaphysischen Grundlagen der modernen Physik genauso von Relevanz. Dann geht es um jene metaphysischen Positionen, die direkt mit der Physik als Strukturwissenschaft bei C.F. von Weizsäcker (1974) oder mit den dissipativen Systemen bei Prigogine/Stengers (1984) zusammenhängen. Metaphysik findet sich in der Informatik also allerorten, doch die Frage, was sie eigentlich *an sich* ist, wie sie inhaltlich konkret ausgestaltet ist, und wie sie prozedural zu vollziehen ist, bleibt im Sinne von McCarthys (1995) *"general world view"* nach wie vor ungeklärt. Demnach muss es gelten, nicht nur ein sachgerechtes Metaphysikverständnis für die Informatik herzustellen, sondern auch zu klären, was ein für die Informatik adäquates Metaphysiksystem im Einzelnen ausmacht. Genau das wurde bisher nie untersucht, wieweil alles in der Disziplin im Grunde an dieser Frage hängt.

Im Hinblick auf den ewigen Streit um die Metaphysik muss jede Diskussion der *Metaphysik an sich* mit der Frage nach der *Möglichkeit der Metaphysik überhaupt* beginnen. Bereits an dieser Frage müsste die metaphysische Fundierung der *Top-level Ontologie* scheitern, wenn Stegmüller (1954: 5) mit seiner Auffassung recht besäße, dass »eine Antwort auf die Frage nach der 'Möglichkeit der Metaphysik' unmöglich« ist, weil das »Problem der Metaphysik [...] absolut unentscheidbar« sei. In dieser Position Stegmüllers besteht aus dem Grunde ein geeigneter Start in jede Metaphysikdebatte, weil sie die Notwendigkeit eines radikalen Umdenkens in allen Metaphysikfragen anschaulich vor Augen führt. Denn mit seiner *Unentscheidbarkeitsthese* spielt Stegmüller auf die Antagonismen an, die sich in der Metaphysikkritik von Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft* finden. Stegmüller steht dabei mit dieser Position natürlich nicht allein, wobei der Hinweis nicht fehlen sollte, dass er, bis er Kuhn (1962) rezipierte, ein Carnap-Schüler war. Tatsächlich ist diese Position auch der eigentliche Standpunkt Carnaps, dessen elementarer Einfluss auf die Herausbildung des *linguistischen OE-Ansatzpunkts* als Gegenpol zum *metaphysisch-realistischen OE-Ansatzpunkt* bereits in Pkt. 3.3.2 diskutiert wurde. Insofern ist dieser Diskurs für die Klärung der OE-Frage, ohne die sich keine *Ontologie komplexer IoX-Systeme* begründen lässt, zwar ein abstrakter, doch letztlich der faktisch entscheidende Hintergrund.

Wie in Pkt. 1 festgestellt, besteht mit McCarthy (1963a) der Kern der modernen Informatik in der AI-Disziplin, und diese ist mit Glymour/Ford/Hayes (2000) wiederum im Kern *Erste Philosophie*, d.h. Metaphysik. Es gilt also "*AI is metaphysics*", und damit ist alle Informatik im Kern Metaphysik, nämlich Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik als techno-wissenschaftliche *Cyber-Metaphysik*. Tatsächlich ist die Metaphysik samt Ontologie, Epistemologie, Methodologie und metaphysischem Logizismus für die ganze Informatik in jeder Hinsicht konstituierend, was bereits beim cyber-physischen Datum bzw. der Information als Grundstoff beginnt, über alle Perzeptions- und Kognitionsfragen einschließlich aller Wissensaspekte reicht und mit den fundamentalen Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen etwa bei der Frage nach den fundamentalen Strukturen der Realität endet. Wenn demgegenüber kaum ein praktischer Informatiker gegenwärtig etwas mit der *Metaphysik der Informatik* anfangen kann, zeigt sich damit umso mehr wie sehr die Disziplin auf tönernen Füßen steht. Auch das war für viele Informatiker bisher nebensächlich, doch lässt sich diese fragwürdige Praxis mit dem *cyber-physischen "Reality Computing"* nicht mehr länger aufrechterhalten. Das gilt auch insofern, als die bisherigen inferioren AI-Verständnisse primär darauf zurückgehen, dass zahlreiche Missverständnisse um die Metaphysik und angrenzende Disziplinen bestehen oder dass die falschen Metaphysiksysteme als AI-Fundament gewählt werden. Daneben wird bei genauerer Reflexion deutlich, dass Stegmüllers bzw. Carnaps Position unhaltbar ist, indem es dazu zwei ausschlaggebende Gegenargumente gibt: (i) erstens haben sowohl Carnap als auch Stegmüller das Kantische Werk sowohl in Intention als auch in Position Kants offensichtlich fehlinterpretiert, womit sie in einer langen Tradition stehen. Das gilt sowohl allgemein für sein Ge-

samtwerk wie auch speziell in Bezug auf Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft*. (ii) Zweitens ist bereits Stegmüllers (wie Carnaps) Rede von der 'Möglichkeit der Metaphysik' *unmöglich*, weil es "die" Metaphysik gar nicht gibt. Diese beiden Gegenargumente seien kurz erörtert, um die Fronten zu klären, die Metaphysikdiskussion zu versachlichen und schließlich die bestehenden Vorbehalte der linguistischen Ontologen mit dem Ziel der Synthese insgesamt zu entkräften.

Ad (i) ist zunächst festzustellen, dass Kant sich aus speziellen Gründen kritisch mit der Metaphysik auseinandersetzt, ihr aber insgesamt ganz und gar nicht ablehnend gegenübersteht. Vielmehr betont Kant (1783a: 143) aller Kritik ungeachtet gerade explizit das Gegenteil, nämlich, dass es "unmöglich" sei, der Metaphysik "gänzlich zu entsagen". Vor allem ist zu beachten, auf welche Aspekte sich die Metaphysikkritik bei Kant (1781) überhaupt bezieht: Denn was Carnap und andere gerne übersehen ist der Umstand, dass sich Kants Kritik in keiner Weise auf die *allgemeine Metaphysik* bezieht. Also gar nicht auf jenen der beiden durch Wolff (1730) abgegrenzten Metaphysikteile, um den es für die Zwecke der Informatik wie jene der Wissenschaften eigentlich vor allem geht. Vielmehr stellt Kants Kritik in seinem expliziten Rekurs auf die Metaphysiksystematik Wolffs (1730) allein auf die *metaphysica specialis* ab, und hier nicht einmal auf den speziellen Teil in Gänze, sondern vielmehr aus gutem Grund lediglich auf ganz spezifische, behutsam ausgewählte Fragen.²⁵⁸¹ Demgegenüber bleibt die *metaphysica generalis* von dieser Kritik

²⁵⁸¹ Mit Verweis auf Pkt. 3.3 gliedert sich Wolffs Systematik der Metaphysik auch für Kant (1781: B 874) im Einzelnen in vier Hauptteile: erstens in jenen der *Ontologie*, nach Kantischer Sentenz auch als *Transzendentalphilosophie* bezeichnet, was im Wesentlichen die allgemeine Metaphysik ausmacht. Daran schließt die spezielle Metaphysik zweitens mit der *immanenten rationalen Physiologie* mit ihren zwei Abteilungen der *Physica rationalis* und der *Psychologia rationalis*, drittens die *rationale Kosmologie* oder *transzendente Welterkenntnis*, und schließlich viertens die *rationale Theologie* an. Damit wird nochmals deutlich, dass die Metaphysik weit über die Ontologie hinausgeht und diese zugleich umschließt. Obschon Kant (1781) explizit das Metaphysiksystem Wolffs (1730) zugrundelegt, wird es hier offensichtlich gezielt umgedeutet: von Wolffs (1730) *Primat der Ontologie* ist bei Kant keine Rede; Ontologie ist nicht mehr als bloße "Propädeutik" zur Metaphysik, vgl. Kant (1804: 11), womit diese letztlich allein im Sinne der eigentlich nur nachgeordneten *metaphysica specialis* interpretiert wird. Insgesamt wird das Verhältnis zwischen *metaphysica generalis* und *metaphysica specialis* bei Kant ins genaue Gegenteil verkehrt, was weder mit Blick auf die ursprüngliche Metaphysik bei Aristoteles und die Systematik Wolffs (1730) noch insgesamt als sinnvoll erachtet werden kann. – Kant (1781) bricht damit nicht nur radikal, indem seine Transzendente Dialektik nach dem Schema der *metaphysica specialis* aufgebaut ist, vgl. hierzu auch Vollrath (1962), sondern diese *metaphysica specialis* wird auch noch genau auf jene spezifischen Fragestellungen eingeengt, die für seine *Kritik der reinen Vernunft* und insgesamt im Zeichen der Aufklärung, als deren letzter großer Vorkämpfer Kant gerechnet werden darf, gerade zielführend sind. Entsprechend steht auch das Kantische (1790) Verständnis von Selbstorganisation mit Kant (1784) im Zeichen der alten lateinischen Maxime "*sapere aude!*", nämlich des Aufrufs zur geistigen Selbstbefreiung. Denken meint für Kant das Denken eines reflexiven Geistes, der in sich bildende Kraft besitzt: »Aufklärung ist der Ausgang des Menschen aus seiner selbst verschuldeten Unmündigkeit. Unmündigkeit ist das Unvermögen, sich seines Verstandes ohne Leitung eines anderen zu bedienen. Selbstverschuldet ist diese Unmündigkeit, wenn die Ursache derselben nicht am Mangel des Verstandes, sondern der Entschliebung und des Mutes liegt, sich seiner ohne Leitung eines andern zu bedienen. Sapere aude! Habe Mut dich deines eigenen Verstandes zu bedienen!«, vgl. Kant (1784: 55). Entsprechend setzt Kant (1790: B 158) folgende "Maximen des gemeinen Menschenverstandes" voraus: »1. Selbstdenken; 2. an der Stelle jedes anderen denken; 3. jederzeit mit sich selbst einstimmig denken«, wobei die erste Maxime im Kontext der Aufklärung »die Maxime einer niemals passiven Vernunft« ist. Erst vor diesem Hintergrund von Kants Bemühungen um Aufklärung ist seine Metaphysikkritik überhaupt zu ver-

genauso unberührt, wie auch wesentliche Teile der *metaphysica specialis*; hierzu gehören etwa die Fragen der Naturphilosophie. Offenbar hat Stegmüller (1969) im Zuge seines späteren Abwendens von Carnap realisiert, dass seine ursprünglich metaphysikkritische Position nicht haltbar ist, wenn er nunmehr konstatiert: »[M]an [muß] sagen, *alle* Wissenschaft sei metaphysisch fundiert. [...] Man kann Metaphysik ablehnen, aber man darf dann nirgends mehr mitreden wollen«. ²⁵⁸² Das betrifft keine Disziplin so sehr wie die Informatik.

In etwa zeitgleich wird in der Analytischen Philosophie mit dem Aufkommen der *analytischen Metaphysik* insgesamt die Rehabilitation der Metaphysik eingeleitet, ²⁵⁸³ die insbesondere durch Wittgenstein, den Wiener Kreis und speziell durch Carnap in einen grundsätzlichen Misskredit gebracht wurde. Als zentral ist dabei Strawsons (1959) *deskriptive Metaphysik* zu erachten, womit außer Frage steht, dass die *analytische Metaphysik* letztlich mit Strawsons Idee der *deskriptiven Metaphysik* in ganz grundsätzlicher Hinsicht gleichge-

stehen. Denn reine resp. exakte Metaphysik, die nicht an die Erfahrung gekoppelt ist, wurde vor der Aufklärung zuweilen auch missbräuchlich eingesetzt. Kants (1781) Metaphysikkritik bezieht sich entsprechend zum einen auf die Fundamentalkritik der gängigen Metaphysik *seiner* Zeit, die nicht über den Status der reinen resp. exakten Metaphysik hinausgekommen war. Zum anderen aber speziell darauf, den Nachweis der Unmöglichkeit der Gottesbeweise der Scholastik zu erbringen. So erklärt sich auch Kants Fokussierung auf drei ganz spezielle metaphysische Probleme, die vor allem im Kontext der *Theologia naturalis* stehen, demgegenüber aber rein gar nichts mit der in Pkt. 4.1 umrissenen *wissenschaftlichen Metaphysik* zu tun haben, nämlich die für die Aufklärung entscheidenden Fragen nach Gott, Freiheit und der Unsterblichkeit der Seele. Diese Fragen fallen, wie erwähnt, in Wolffs (1730) Systematik allesamt in den Bereich der speziellen Metaphysik, die eigentlich nur nachgeordnet ist, und bilden hier auch nur spezielle Fragen. Ihre zentrale Rolle erklärt sich bei Kant dadurch, dass für ihn der Endzweck der Metaphysik explizit in der *Klärung des "Übersinnlichen"* besteht, vgl. Kant (1804: 11). Angefangen bei Aristoteles widerspricht ein solches Metaphysikverständnis allerdings bis heute allen gängigen Auffassungen; es ist gerade vor dem Hintergrund der *wissenschaftlichen Metaphysik* in ihrer Eigenschaft als Universal-synthese strikt abzulehnen. Mit dieser auch aus einem zweiten, genauso wesentlichen Grund: Denn die Negation des Primats der Ontologie, der *metaphysica generalis*, wie es von Aristoteles über Leibniz bis hin zu Wolff gültig ist, bedeutet Kants "Kopernikanische Wende", indem Kant (1781: 12) die *Welt als Vorstellung* dem Subjekt entspringen lässt, was bekanntlich den deutschen Idealismus begründen sollte. Dies bedeutete aber natürlich nicht lediglich eine Revolution der Erkenntnistheorie, sondern auch, dass *diese* – nicht mehr die Ontologie – den zentralen Ansatzpunkt Kants bildet. Die *Welt als Vorstellung* ist auf die W2-Ontologie fixiert; im Sinne Descartes' handelt es sich dabei zweifelsohne jedoch auch um eine metaphysische Position, die indessen wissenschaftstheoretisch insofern problematisch ist, als sie im Grunde zwangsläufig auf einen *radikalen Empirismus* hinausläuft. Gleichzeitig impliziert eine dem Subjekt entspringende *Welt als Vorstellung* einen *Konstruktivismus*, der dem Inkommensurabilitätsproblem förderlich ist. Indessen ist ein metaphysischer Realismus, mithin die spekulative Metaphysik als *regulative Idee*, als *Heuristik* oder als *externer Stimulus* notwendig, um eine *transdisziplinäre Idee des Ganzen* entwickeln zu können, wie sie in der Informatik im Zuge der *Top-level Ontologie* praktiziert wird. Erst mit ihr steht die W1-Ontologie als grundlegende Schicht im Fokus, wie es auch sachgerecht ist. Es ist dieser Hintergrund, vor dem Whiteheads (1929a) zweite Kopernikanische Wende zu sehen ist, die er in Fundamentalkritik Kants vollzieht, ohne dabei das durch Kant (1781) herausgearbeitete subjektivistische Moment zu negieren. Denn dieses ist in Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* manifestiert. – Insgesamt betrachtet ist es vollkommen unverständlich, dass gerade das Kantische Metaphysikverständnis, das in seinem Zuschnitt allein seiner Zwecksetzung in der Aufklärung und der Kritik der Metaphysik seiner Zeit verpflichtet ist, den allgemeinen Bezugspunkt für wissenschaftstheoretische Debatten um die Zulässigkeit und Rolle der Metaphysik im zwanzigsten Jahrhundert bilden sollte. Tatsächlich ist es nicht das Kantische (1781) Werk an sich, sondern erst *seine Fehlinterpretation als wissenschaftstheoretischer Bezugspunkt* zur Diskussion der Funktion von Ontologie und Metaphysik, das die Metaphysik im Allgemeinen und etwa die Prozessmetaphysik Whiteheads gerade auch im zwanzigsten Jahrhundert unzulässig diskreditiert hat.

²⁵⁸² Vgl. Stegmüller (1969: 454), Hvh. im Orig.

²⁵⁸³ Vgl. Strawson (1959, 1992), Loux (1978, 1979, 2002) oder Van Inwagen (2002); vgl. auch Aune (1991).

setzt werden kann. Das wird auch von dritter Seite in dieser Weise gesehen: »Strawson's notion of descriptive metaphysics restored the position of metaphysics in analytic philosophy.«²⁵⁸⁴ Die deskriptive Metaphysik ist somit gerade auch deshalb von elementarer Bedeutung, weil mit ihr in den Nachfolgetraditionen im Grunde sämtlicher antimetaphysischer Strömungen *Metaphysik* von nun an wieder die allgemeine Grundlegung im Sinne einer *analytischen Modalmetaphysik* mitsamt einer *Mögliche-Welten-Semantik* bildet. Als solche ist für sie grundsätzlich kennzeichnend, dass sie nicht primär aktualistisch ausgelegt ist. Genau diese primär aktualistische, teils gar auch strikt aktualistische Auslegung der Metaphysik ist demgegenüber für die andere, durch Strawson (1959) selbst nicht geteilte Richtung, nämlich die *revisionäre Metaphysik* kennzeichnend. Mit dieser zweiten Richtung kommt es genauso zu einer umfassenden Rückbesinnung auf die Metaphysik, die nunmehr wieder das zentrale philosophische Fundament bildet. In der revisionären Richtung gelangt somit genau jenes Moment zum Zuge, dass der analytischen Modalmetaphysik mindestens in systematischer Hinsicht fehlt, nämlich eine *empiristische* bzw. *wissenschaftliche* Orientierung, wie sie weiter unten näher dargelegt wird. In diesen Disziplinen geht es also um *Scientific Metaphysics*, die etwas anders akzentuiert auch unter der Bezeichnung *Neue Ontologie* geführt wird.²⁵⁸⁵ Charakteristisch für diese ist der Umstand, dass für entsprechende Ansätze all jene Momente, die für die moderne Wissenschaft zentral sind, in abstrakter wie kategorialer Form ihren Niederschlag finden. Hierzu gehören die in Pkt. 6.1.2 näher behandelten struktur- resp. komplexitätsorientierten Aspekte wie Relationen, Interaktionen und Systeme, Ereignisse bzw. Prozesse, Komplexität, Evolution, Emergenz (Schichten), Selbstorganisation oder Ordnungsmuster. Zu dieser revisionären Richtung sind vor allem Whitehead (1929a), Hartmann (1940), Apostel (1963), Bunge (1973: 145 ff.), Mahner/Bunge (1997: 3) sowie mit deutlichen Abstrichen Rescher (1996, 2000a, 2000b) zu zählen. Eine dritte Gruppe steht mit ihrem Neo-Aristotelismus im Grunde zwischen der deskriptiven und revisionären Richtung, ist jedoch ungeachtet ihrer Orientierung an *ontischen* Kategorien letztlich der *deskriptiven* Gruppe zuzuschlagen. Das gilt sehr deutlich für Chisholm (1989), weniger deutlich für E.J. Lowe (1998), indem für diesen wissenschaftliche Aspekte von stärkerem Interesse sind, sowie schließlich am wenigsten deutlich für B. Smithens BFO-TLO – ungeachtet ihrer Fokussierung auf *Scientific Ontologies*. Mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 ist sowohl für die deskriptive wie für die revisionäre Metaphysik die kategoriale Analyse und entsprechende Kategoriensysteme entscheidend; neben vielfältigsten meta-ontologischen Aspekten sind es insbesondere diese Kategoriensysteme, die beide Metaphysikrichtungen zum unmittelbaren Bezugspunkt für jede Diskussion der *Top-level Ontologien* werden lassen. Insofern ist die Stellung beider Richtungen mit Pkt. 6.2.2 nochmals gesondert zu klären.

²⁵⁸⁴ Vgl. Bunnin/Yu (2004: 27).

²⁵⁸⁵ Vgl. hierzu Fn. 1362.

Der Gegensatz von deskriptiver und revisionärer Metaphysik, wie er durch Strawson (1959) gezeichnet wird, ist nicht ohne einen geschichtlichen Rückblick zu verstehen. Im Grunde kann man sagen, dass beide Richtungen unmittelbar etwas mit Kants (1781) Metaphysikkritik zu tun haben; in der Tat besitzt sowohl die deskriptive Richtung als auch der Ratio-Empirismus der revisionären Richtung hier seinen eigentlichen Ursprung. Mit anderen Worten wird versucht, Kants konstruktive Kritik der Metaphysik auf Basis zweier disparater Strategien umzusetzen: Bei der deskriptiven Richtung geht es darum, die objektivistische Metaphysik durch eine subjektivistische zu ersetzen; primär ist nicht mehr das Ontische, sondern im Sinne von Kants *konzeptuellem Schema* und seinen Hilfskategorien vielmehr das Kognitive bzw. Epistemische. Demgegenüber macht die revisionäre Richtung an der Kantischen Differenzierung der *Urteile a priori und a posteriori* einschließlich Kants Anspruch fest, dass Wissen auf *mögliche Erfahrung* zu begrenzen ist.²⁵⁸⁶ Faktisch stehen beide Strategien jedoch jeweils im Widerspruch zur Kantischen Gesamtkritik, indem Ansätze der deskriptiv-analytischen (z.B. Lewis) bzw. revisionär-ratio-empirischen (z.B. Bunge) Richtung sich immer nur auf einen der beiden zentralen Kantischen Kritikpunkte beziehen, während sie dem anderen sehr offensichtlich nicht gerecht werden. Allein die Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) mit ihrer zweiten Kopernikanischen Wende oder der agentenbasierte Metaphysikansatz Körners (1984) werden beiden zentralen Belangen Kants gerecht.²⁵⁸⁷ Nicht von ungefähr sind Whitehead wie Körner ausgewiesene Kant-Kenner, was die Verfechter von Strawsons (1959) deskriptiver Metaphysik offenbar kaum sein können. Denn dann würden sie keine Klasse-2-Metaphysik praktizieren, wie sie nachfolgend abgegrenzt wird.

Zwar besitzt die metaphysikkritische Haltung eine lange Tradition; sie reicht mit dem Empirismus Humes (1739) gewiss in die vorkantische Zeit zurück, doch eigentlich entscheidend ist dennoch Kant (1781). Noch entscheidender erscheint allerdings, dass Kants Metaphysikkritik gründlich missverstanden worden ist. Dabei hat auch dieses Missverständnis eine lange Tradition; es besitzt keineswegs seinen Ursprung etwa bei Wittgenstein oder Carnap. Vielmehr konstatiert bereits Hegel (1799), wie sehr die *Metaphysik* in Verruf geraten sei,²⁵⁸⁸ wobei Hegel (1812: 5) diese Entwicklung unmittelbar und explizit der "exoterischen Lehre" Kants zuschreibt. So bildet sich auch Comtes (1844) *Positivismus* nicht zuletzt vor dem Hintergrund der um sich greifenden metaphysikkritischen Epoche heraus, wobei Positivisten wie Mach (1918: 299) nicht davor zurückschrecken, ihre anti-metaphysische Haltung explizit mit Verweis auf Kant (1781) rechtfertigen zu wollen. Das geht wie gesagt indessen nur, wenn man Kant gänzlich nicht verstanden hat. Insgesamt kann diese metaphysikkritische Epoche erst grob zweihundert Jahre nach Kant (1781) zumindest in Fachkreisen als abgeschlossen gelten, selbst wenn die Frage nach der *Möglich-*

²⁵⁸⁶ Vgl. hierzu auch Körner (1967: 85 ff.).

²⁵⁸⁷ Körners (1984) agentenbasierter Ansatz differenziert eine *immanente* und *transzendente* Metaphysik.

²⁵⁸⁸ Vgl. Hegel (1799: 381): »Metaphysik ist das Wort [...], vor dem, jeder, mehr minder, wie vor einem mit der Pest behafteten davon läuft.«

keit der Metaphysik noch E.J. Lowe (2009) bewegt, er sie aber – wie der ganze gegenwärtige *Mainstream* – explizit bejaht.²⁵⁸⁹ Somit ist klar: Nicht die Metaphysik an sich ist überholt, sondern – wie schon Agassi (1964) konstatiert – genau umgekehrt alle *antimetaphysischen* Positionen. Diese Feststellung hat es für die Informatik in sich, indem dann all ihre Fundamente einer grundsätzlichen Revision zu unterziehen sind.

Natürlich liegt der Umstand, dass die metaphysikkritische Epoche prinzipiell abgeschlossen werden konnte keineswegs daran, dass Kant (1781) etwa widerlegt worden wäre. Zwar hat Brentano (1933) Kant dafür kritisiert, dass er in seinem *a priori* die aristotelischen Kategorien vollständig missverstanden habe, da sie bei Aristoteles auf der empirischen Beobachtung des Seins gründen. Allerdings ist dieser Vorwurf insofern unbegründet, als Kant (1781: B 105) explizit herausstellt, dass seine Kategorien gegenüber jenen des Aristoteles »in der Ausführung [...] sehr entfernt« seien. Der ganze Widersinn wie die Einfältigkeit der oftmals überzogenen wie im Zeitgeist polemisch geführten Metaphysikdebatte offenbart sich gerade daran, dass sie zwar vehement wie explizit in Kant (1781) gründet, sich jedoch einfach im Nichts aufgelöst hat, ohne dass dies auch nur annähernd etwas mit einer Widerlegung der Kantischen (1781) Position zu tun gehabt hätte. Allenfalls wurde durch Whitehead (1929a) festgestellt, dass nach Kants erster eine *zweite Kopernikanische Wende* zu vollziehen ist. Tatsächlich sind die zwei Ursachen für die Rehabilitation bzw. den neuen Zentrismus um die Metaphysik genau so zu sehen: erstens in der zweiten Kopernikanischen Wende Whiteheads (1929a), die wiederum explizit das *Primat der Metaphysik* begründet, allerdings dabei letztlich die Kantische Position nicht disqualifiziert, sondern als komplementär zu ihr zu werten ist. Zweitens ist es das implizite Eingeständnis aller durch Kant (1781) inspirierten Antimetaphysiker, dass sie Kant, *den ausgewiesenen Metaphysiker*, über lange Zeit fehlinterpretiert haben. Das gilt nicht nur ontologisch und epistemologisch, sondern auch methodologisch, wenn die Naturwissenschaften mit Kant (1786a) nicht um das Setzen metaphysischer Dispositionen umhinkommen.

Wenngleich nicht unmittelbar ersichtlich, sind diese Entwicklungen für alle ontologischen, epistemologischen, methodologischen wie auch logischen Grundpositionen der Informatik überaus wesentlich. Das betrifft nicht nur die vermeintliche Diskrepanz wie den tatsächlichen Zusammenhang von Leibnizens (1714a) *Monadologie* und Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft*, sondern auch die Whiteheadsche (1933: 164) Synthese des »interplay between science and metaphysics«. Relevanz besitzen sie jedoch damit zusammenhängend vor allem mit Blick auf den *Widerstreit deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik*, wenn Strawson (1959) explizit Kant der ersten Richtung und Leibniz der zweiten zuschlagen will. Was für Leibniz gilt, muss implizit auch für Whitehead gelten. Wie an anderer Stelle erörtert, ist dieser Widerstreit für die Ontologie der Informatik expliziter wie impliziter Anknüpfungspunkt. Dabei beruft sich die *linguistische* Ontologieposition unmittelbar auf die *deskriptive Metaphysik* Strawsons (1959), und diese wiederum zuvorderst auf Kant.

²⁵⁸⁹ Vgl. etwa Van Inwagen (1998b), insbes. p. 14 ff.

Wenn es aber tatsächlich gar keine an sich zwingende Diskrepanz zwischen Kants und Whiteheads Metaphysik gibt, sondern allenfalls eine stark differierende Akzentuierung des bei beiden integrativ erfassten objektivistischen wie subjektivistischen Standpunkts im Regeluniversum, dann gibt es auch kein echtes Argument für linguistisch orientierte Ontologen, eine vermeintliche Gegenposition zum realistisch-metaphysischen OE-Ansatzpunkt aufbauen zu wollen. Denn Kant ist realistisch-metaphysisch, und teilt mit Leibniz die Überwindung der Cartesischen Subjekt-Objekt-Dichotomie. Dabei zeigt sich der Leibnizsche Automat bei Kant auf den kognitiven menschlichen Agenten eingeschränkt, um auf diese Weise bestimmte Sachverhalte konkret herausarbeiten zu können.²⁵⁹⁰

Dass es diesen Gegensatz zwischen Kant und Whitehead wohl in der Akzentuierung, aber an sich nicht gibt, wird etwa anhand der *Top-level Ontologie* Sowas nachvollziehbar, wobei die realistisch-metaphysische Konzeption selbstverständlich tonangebend gegenüber linguistischen Gesichtspunkten ist, weil es umgekehrt weder möglich ist noch sinnvoll erscheinen kann. Mehr noch: wenn heute durchweg die Ansicht vertreten wird, dass Metaphysik für alle Wissenschafts- bzw. Technologiepraxis wie damit für das entsprechende *Wissen* elementar ist, irren die Verfechter der linguistischen OE-Position offensichtlich ganz grundsätzlich. Wie die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zeigt, gilt dies selbst für rein praktische Ontologien, da diese oftmals im Zusammenhang zu technologischen Ontologien und ggf. darüber auch zu *Scientific Ontologies* stehen. In diesem Sinne müssen die Linguisten, indem sie sich vor allem an der Analytischen Philosophie orientieren, mindestens im Sinne der *analytischen Metaphysik* nachziehen. Wenn sie gleichziehen, was sie etwa mit Welty/Fikes (2006: 235) explizit tun, dann stellt sich jedoch die Metaphysikdebatte zwangsläufig insgesamt; nämlich wenn überaus zweifelhaft bleiben muss, ob genau diese Metaphysikvariante gegenüber den Alternativen für die Zwecke der Informatik wirklich die sachgerechte ist.

Vor diesem Hintergrund kommen wir ad (ii) zum zweiten Gegenargument, das gegen Stegmüllers (1954) These ins Feld zu führen ist, als festzustellen ist, dass es "*die*" Metaphysik, von der Stegmüller spricht, gar nicht gibt.²⁵⁹¹ Vielmehr existieren *grundverschiedene Arten von Metaphysiken*, die zwar *alle* an sich möglich sind,²⁵⁹² allerdings in Sachen ihrer Zweckmäßigkeit wie in ihrer Methodik bisweilen stark divergieren. Bunge (1971, 1973) und ähnlich Capek (1972) unterscheiden drei Klassen von Metaphysiken, nämlich (1) die *reine Metaphysik* (plain metaphysics), (2) die *exakte Metaphysik* (exact metaphysics), sowie (3) die *wissenschaftliche Metaphysik* (scientific metaphysics), die bei Laszlo (1976) auch als "*Metaphysics of class 3*" bezeichnet wird. Mit unseren folgenden Ausführungen ist es angezeigt, zusätzlich eine (4) *techno-wissenschaftliche Metaphysik* als vierte

²⁵⁹⁰ Vgl. hierzu Fn. 2581.

²⁵⁹¹ Vgl. hierzu auch F.C.S. Schiller (1920).

²⁵⁹² Das gilt auch dann, wenn natürlich nicht sämtliche metaphysische Fragen, allen voran genau jene, denen Kant (1781) nachging, entscheidbar sind. Indem Metaphysik auf *Letztbegründung* zielt, liegt es in der Natur der Sache, dass *unentscheidbare Fragen* verbleiben.

Klasse abzugrenzen, indem sich diese in wichtigen Belangen von der rein wissenschaftlichen Metaphysik als "*Metaphysics of class 3*" unterscheidet.

Metaphysik prinzipiell abzulehnen bzw. ihr gänzlich zu entsagen, ist mit Kant (1783a) *de facto* "unmöglich";²⁵⁹³ vielmehr muss es mit Einstein (1934) gelten, gute von schlechter Metaphysik zu unterscheiden, also die an sich unabdingbare Metaphysik, die fraglos "schlecht" konzipiert sein kann, faktisch "gut" zu machen. Für letzteres ist mit Einstein (1934) oder P.M. Simons (2002) ein Aspekt überaus entscheidend, nämlich das *empirische* Moment: in ihm ist eine Art Korrektiv bzw. Bodenhaftung aller rationalen Synthese und Gedankenexperimente zu erachten, was tatsächlich gerade mit Verweis auf Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft* genauso wie mit Blick auf zahlreiche fragwürdige Metaphysikentwürfe erforderlich ist. Ansonsten müsste man zum Resultat gelangen, dass die Kantische Kritik eigentlich umsonst war, indem sie speziell durch die *analytische Metaphysik* effektiv konterkariert wird. Denn im Zeichen ihres analytischen Logizismus *reiner Modalmetaphysik* ist sie faktisch als "*reine Vernunft*" zu werten. Mit Van Fraassen (2002) zeigen sich damit die Unterschiede zum Metaphysikstil des siebzehnten Jahrhunderts in methodischer Hinsicht nivelliert. Im Sinne Einsteins (1934) kann es sich bei ihr nicht um "gute" Metaphysik handeln, indem das empirische Moment als Korrektiv fehlt. Entsprechend baut jede sachgerechte Metaphysikkonzeption auf dem *Ratio-Empirismus* auf, was die obige Auswahl von Metaphysikansätzen auf die Klassen (3) und (4) eingrenzt. Um diese, speziell um die höchste Klasse, kommen weder die Wissenschaften im Allgemeinen noch die Informatik im Besonderen umhin.

Ad (1) Die *reine Metaphysik* umfasst alle Metaphysik, die nicht Gebrauch von den Formalwissenschaften, also der Logik und Mathematik, macht, aber dennoch rational argumentiert. Neben dem Bezug zu den Formalwissenschaften fehlt jener zu den Erfahrungswissenschaften. Dennoch kann sie mit Bunge eine reiche Quelle an Problemen und Einsichten bieten und besitzt damit für die metaphysische Forschung zumindest einen heuristischen Stellenwert. Unter sie ist die gesamte Metaphysiktradition bis ausschließlich Leibniz zu subsumieren.

Ad (2) Demgegenüber macht die *exakte Metaphysik* mit Leibniz beginnend umfassenden Gebrauch von den Formalwissenschaften; insofern besteht ein Fortschritt gegenüber der reinen Metaphysik. Aber auch hier fehlt die direkte Verkopplung mit den Erfahrungswissenschaften. Exakte Metaphysik ist rein *a priori* orientiert und weist entsprechend keine empiristischen Momente auf.²⁵⁹⁴ Als Beispiele für exakte Metaphysik nennt Bunge die Ansätze von Leibniz, Bolzano, Scholz oder Montague.²⁵⁹⁵ Darüber hinaus ist auch Russell mit seiner Metaphysik hier zu verorten, insofern er diese explizit als reines *a priori* Unter-

²⁵⁹³ Dass wird bei Kant (1800) auch selbst deutlich, indem seine Position des *Regeluniversums* insofern in der Tradition von Leibnizens (1714a, 1714b) *Monadologie* steht, als sein "*general world view*" mindestens implizit mit dessen *System von Automaten* konform geht.

²⁵⁹⁴ Vgl. Bunge (1977a: 8).

²⁵⁹⁵ Ibid.

fangen versteht,²⁵⁹⁶ womit er ebenfalls den Weg zu der heute entscheidenden *wissenschaftlichen Metaphysik* systematisch verbaut.²⁵⁹⁷ Denn bei Russell ist im Unterschied zu seinem akademischen Lehrer Whitehead nicht ein beständiges wie systematisches Wechselspiel von Metaphysik und erfahrungswissenschaftlicher Erkenntnis nach Maßgabe des *Ratio-Empirismus* angelegt.^{2598, 2599} Während Carnap wie später Quine mit ihrem strikten Empirismus allein für die mathematische Logik als erfahrungswissenschaftliche Methodologie votieren und alle Metaphysik, die für sie bloß reine und exakte Metaphysik ist, ablehnen, ist das bei Russell anders. Für Russell, für den entgegen Carnap und Quine kein einseitiger Empirismus, sondern ein Wechselspiel mit dem Rationalismus unabdingbar ist,²⁶⁰⁰ besitzt die mathematische Logik ebenfalls zentrale Stellung, und er gesteht im Kontext dieser beiden Gedanken der *exakten Metaphysik* eine von den Wissenschaften separierte, spekulative Sphäre und damit eine ergänzende Funktion zu. Durch diese Separierung kann sie für die Wissenschaftstheorie aber nur bedingt nutzbar gemacht werden, nämlich im Sinne des durch Russell vertretenen *Kritizismus* der Philosophie.²⁶⁰¹ Indessen lassen sich die Grundfragen der Welt für die Wissenschaften nur klären, wenn Wissenschaften und Metaphysik über eine entsprechend mächtige Wissenschaftstheorie unmittelbar integriert werden, wie es allein auf Basis der beiden höchsten Metaphysikklassen möglich wird.

Demgegenüber ist die gesamte ILP-Tradition der Analytischen Philosophie mit Russell als ihrem Begründer als *Klasse-2-Metaphysik* zu verstehen; auch sie ist nicht-empirisch,

²⁵⁹⁶ Vgl. Russell (1952: 111); analog sieht Russell (1914: 33 ff.) das Wesen der Philosophie in der Logik.

²⁵⁹⁷ Russells (1912: 103) Metaphysikkritik bezieht sich ausschließlich auf die *reine Metaphysik* und hier insbesondere auf die *spezielle Metaphysik*, weil viele ihrer Fragen für den menschlichen Intellekt unlösbar bleiben müssen, vgl. Russell (1912: 112 f.). Russells eigene Metaphysik fällt hingegen unter *exakte Metaphysik*; sie lässt sich durch naturwissenschaftliche, insbesondere logisch-mathematische Methoden leiten, nicht durch religiöse und ethische Ideen, vgl. Russell (1952: 98 ff.). Einstein (1934: 48) ist überzeugt, dass »das Gespenst der metaphysischen Angst« auch bei Russell »einigen Schaden angerichtet hat«. Tatsächlich muss aber Russell (1940) auch in einem seiner Hauptwerke zur Analytischen Philosophie letztlich einsehen, dass man ohne Metaphysik nicht auskommen kann, vgl. Russell (1940: 341 ff.). Indem Russell für Quine prägend ist, gilt Einsteins (1934) Feststellung indirekt auch für diesen, wobei die Revision seiner Position allein über seinen akademischen Lehrer Whitehead führen kann.

²⁵⁹⁸ Für Russell (1952: 111) sind philosophische Sätze immer "*a priori*"; ein philosophischer Satz muss so beschaffen sein, dass er »durch empirische Evidenz weder bewiesen noch widerlegt werden kann«. Die Philosophie darf für Russell »nur Aussagen machen, die wahr sind, ganz gleich wie die tatsächliche Welt auch beschaffen ist«; entsprechend sieht er die Philosophie als "*Wissenschaft des Möglichen*", vgl. a.a.O., S. 112. Die Funktion der Philosophie liegt bei Russell vor allem in der Gewährleistung der *Einheit der Erkenntnis*: »The knowledge it aims at is the kind of knowledge which gives unity and system to the body of the sciences«, vgl. Russell (1912: 112).

²⁵⁹⁹ Im Gegensatz zu Whitehead vollzieht Russell die Verbindung von Logik und Metaphysik für gewöhnlich erst in einem nachgelagerten Schritt. Er räumt – insbesondere mit Blick auf das ILP-Paradigma der Analytischen Philosophie resp. Sprachphilosophie – der Logik regelmäßig Priorität ein. Vgl. zu weiteren Unterschieden zwischen Russell und Whitehead etwa Gare (1999).

²⁶⁰⁰ Für Russell (1912: 51 f.) haben beide Positionen ihre Berechtigung, womit eine Synthese notwendig ist.

²⁶⁰¹ Russell (1912: 109) spricht von der »philosophy as a *criticism* of knowledge«, worin sie sich von der Wissenschaft unterscheidet; sie besitzt bei Russell eine wissenschaftstheoretische Funktion: »It examines critically the principles employed in science«. Im Unterschied zu Whiteheads wissenschaftstheoretischer Position versteht Russell die Philosophie nicht nur als kritische Reflexion der Wissenschaften, sondern auch der Lebenswelt. Ein wichtiger Bereich ist dabei die gesellschaftskritische Reflexion, die mit dem *Russell-Einstein-Manifest* ihren Höhepunkt findet.

indem eine Modelltheorie an die Stelle einer empirisch verstandenen Ontologie tritt.²⁶⁰² Doch genauer besehen ist die gesamte Analytische Philosophie, also auch die OLP-Tradition, und somit insgesamt die analytische Ontologie bzw. analytische Metaphysik hier zu verorten. Denn die OLP- wie ILP-Tradition beansprucht mindestens implizit mit P.M. Simons (2002, 2004a) die *Harmonie-These*, die besagt, dass die natürliche bzw. ideale Sprache mit den Grundstrukturen der realen Welt harmoniert bzw. diese gänzlich erschließt:²⁶⁰³

»In retrospect it is clear that confidence about substance in the weak sense depends on a tacit assumption about the relationship between language and the world, a thesis which I call the pre-established harmony of linguistic and ontological categories. It is assumed either without argument, or else under various kinds of non-realist banner, that no wedge can be driven between the general syntactic categories of name, predicate and sentence, and the general ontological categories of thing (substance), attribute and state of affairs. There may not be a one-to-one correlation between expressions and designata, but there is a correlation of categories, syntactic with ontological. I submit that in the light of QFT and other modern science, as well as for general logical and metaphysical reasons, there is no good reason to suppose such a harmony obtains. The harmony thesis is unacceptably anthropocentric.«²⁶⁰⁴

Natürlich ist diese These schon allein deshalb falsch, weil es in der Realität überhaupt keine Substanzen gibt, sondern diese im Sinne der Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) vielmehr als raumzeitlicher Strom von Ereignissen zu verstehen ist, indem Objekte erst aus der Reproduktion von Ordnungsmustern emergieren. Zudem ist all das, was Strawson (1959) als *deskriptive Metaphysik* versteht, Klasse-2-Metaphysik. Das geht, wie unten erläutert, über die Analytische Philosophie weit hinaus, indem weitere Strömungen hinzukommen. Für die Analytische Philosophie ist generell kennzeichnend, dass sie auf ILP- oder auf OLP-Basis und somit sprachphilosophisch von *universalen Welten* als *logischem Raum* ausgeht. Das findet sich bei Wittgenstein (vgl. Pkt. 5.5) genauso wie bei Chisholm (vgl. Pkt. 5.4), wobei letzterer über ersten insofern hinausgeht, als es sich bei Chisholm um eine in Teilen platonistische Ontologie handelt. Diese ist gerade dann von Relevanz, wenn es um *mögliche Welten* geht.

Insofern werden gerade in der analytischen Metaphysik *alle Welten* im Sinne von Leibniz über einen einheitlichen Ansatz erschließbar. Die typische Klasse-2-Metaphysik als deskriptive Metaphysik ist damit universal *auf alle Welten* bezogen, wie es in der Informatik partiell Ashenhursts (1996) *Analytic Approach* illustriert. Auch bildet dieser Anspruch bereits einen Grundgedanken des metaphysischen Ansatzes bei McCarthy/Hayes (1969). Am besten wird er jedoch bei den in Pkt. 3.3.2 behandelten linguistischen Ontologien deutlich, also etwa bei Genesereth/Nilsson (1987), Gruber (1993, 1995) und schließlich bei Guarino (1998) bzw. der DOLCE-TLO. All diese Ansätze sind – ungeachtet ihrer partiellen Disparität – als *deskriptive Metaphysiken* und damit ebenfalls als Klasse-2-Metaphysiken zu klassifizieren. Damit wird deutlich, dass diese Klasse ein großes Spektrum überaus heterogener Ansätze abdeckt. Im Grunde teilen sie sich in drei Gruppen auf, nämlich in die historischen Ansätze exakter Metaphysik sowie in den ILP- und OLP-Zweig der Analyti-

²⁶⁰² Vgl. P.M. Simons (2004a: 249).

²⁶⁰³ Vgl. *ibid.*

²⁶⁰⁴ P.M. Simons (2002: 37).

schen Philosophie, die sich mit Russell bzw. G.E. Moore erst im zwanzigsten Jahrhundert herausgebildet haben. Wie erwähnt differieren diese Zweige in verschiedener Hinsicht, so auch in jener, dass der OLP-Zweig im Allgemeinen *epistemische* Kategorien zugrunde legt, der ILP-Zweig jedoch mitunter *ontische* Kategorien. Wenn beide heute in der analytischen Metaphysik münden, die dabei den überwiegenden Teil der deskriptiven Metaphysik bildet, ist genau zu evaluieren, um was für einen Metaphysikansatz es sich in diesem überaus heterogenen Spektrum von Ansätzen konkret handelt.

Eine einfache Gleichsetzung von deskriptiver Metaphysik und analytischer Metaphysik wie bei Thalberg (1985) ist nicht korrekt, indem beide lediglich eine Schnittmenge bilden, die allerdings für beide Richtungen wesentlich ist. Wenn die analytische Metaphysik nur eine Teilgruppe der deskriptiven Metaphysik bildet, stellt sich die Frage nach ihrem anderen Part. In der Tat gibt es einen bedeutenden Teil deskriptiver Metaphysik, der sich explizit *nicht* als Analytische Philosophie versteht, wie unter Pkt. 5.5 deutlich wird. Dabei geht es um die nicht geringe Zahl neo-aristotelischer Ansätze, die wiederum selbst nicht ausschließlich, jedoch zumeist eine deskriptive Metaphysik verkörpern. Diese teilen drei wichtige zusammenhängende Momente der analytischen Metaphysik nicht: (i) sie sind strikt auf die *aktuale Welt* bezogen, damit gleichzeitig (ii) *empirisch orientiert*, nämlich mit Blick auf die Instantiierung von Universalien (immanenter Realismus), und fußen entsprechend (iii) auf *ontischen Kategorien*. Dennoch handelt es sich grundsätzlich um deskriptive Ansätze, indem sie in ihrem Kern an der aristotelischen Kategorienlehre festmachen. Insofern ist diese Gruppe deskriptiver Ansätze, die strikt auf die *aktuale Welt* bezogen sind, gesondert als *Klasse-2A-Metaphysik* (= Aktualismus) abzugrenzen. Hierzu gehören neo-aristotelische Ansätze (vgl. Pkt. 5.2) wie jener von E.J. Lowe (vgl. Pkt. 6.1.3) oder B. Smith genauso wie etwa Husserls Phänomenologie (vgl. Pkt. 5.6). Wenn es innerhalb der deskriptiven Metaphysik solche Ansätze gibt, die sich einseitig auf die *aktuale Welt* fixieren, gibt es auch solche, die sich genauso einseitig strikt auf *mögliche Welten* beziehen. Dennoch sind auch diese gesondert als *Klasse-2P-Metaphysiken* (= Possibilismus) zu klassifizieren. Das erscheint auch insofern angezeigt, als es sich im Kern um platonistische Ansätze handelt. Unter diese *Klasse-2P-Metaphysik* fällt der Modale Realismus von D.K. Lewis (1986b). Demgegenüber ist die DOLCE-TLO ungeachtet ihres partiellen Bezugs auf D.K. Lewis mit ihren mindestens genauso maßgeblichen Unterschieden nicht als eine solche *Klasse-2P-Metaphysik* zu verstehen. Sie weist genauso elementare Unterschiede zur BFO-TLO als *Klasse-2A-Metaphysik* auf, und ist insgesamt als universale Klasse-2-Metaphysik zu klassifizieren.

Poppers *Kritischer Rationalismus* umfasst auch Überlegungen zur Metaphysikkritik, und es lassen sich bezüglich der Klasse-2-Metaphysik zwei Kritikpunkte identifizieren: der erste gilt analog zur Klasse-1-Metaphysik: Metaphysiken, die mit Fiktivprämissen und *ad hoc* Erklärungen statt mit wissenschaftlichen operieren,²⁶⁰⁵ fallen insofern in den Bereich

²⁶⁰⁵ Vgl. Agassi (1964: 192 f.).

der Pseudowissenschaft, als sie nicht überprüfbar sind. Denn aus der Unwiderlegbarkeit einer Theorie folgt noch lange nicht deren Wahrheit.²⁶⁰⁶ Tatsächlich immunisieren sich die Aussagensysteme der reinen und exakten Metaphysik gegenüber jedem Versuch der Falsifizierung, indem mit solch rein spekulativen Metaphysiken kein Erklärungsapparat im Sinne einer empirischen Theorie gegeben ist. Der zweite Kritikpunkt betrifft die *empirischen* Varianten der Klasse-2-Metaphysik. Ungeachtet der empirischen Orientierung ist auch hier festzustellen, dass es bei ihnen jedoch weder darum geht, ihre Kategorien bzw. fundamentalen Dispositionen auf ratio-empirischen Wege zu gewinnen, noch ihre Aussagensysteme widerlegbar zu machen. Indem metaphysische Aussagen universale Geltung besitzen, lässt sich auch kein Verifikationsprinzip anwenden. Wenn für Einstein (1934) oder P.M. Simons (2002) das empirische Moment für die Metaphysik entscheidend ist, dann muss es auch hier um das Poppersche Falsifikationsprinzip gehen. Die Leibnizsche Metaphysik ist nur insofern Klasse-2-Metaphysik, als sie diese Klasse auf Basis der formalen Logik eröffnet. Im Gegensatz zu Whitehead findet sich ferner in seiner Metaphysik kein Ratio-Empirismus. Allerdings ist dieser im Leibnizprogramm insgesamt angelegt, und darüber ist dann auch die Metaphysik revisionär. Somit ist festzustellen, dass die Klasse-4-Metaphysik, die durch Whitehead eröffnet wird, in den Grundzügen schon bei Leibniz vorgedacht ist und das Leibnizprogramm im Ganzen mit seinem gleichzeitigen Stellenwert der Erfahrungs- wie Strukturwissenschaften gewiss hier,²⁶⁰⁷ nicht wie speziell die isoliert betrachtete Leibnizsche Metaphysik auf Ebene der Klasse-2-Metaphysik zu verorten ist.

Ad (3) ist die Konzeption der *wissenschaftlichen Metaphysik* deshalb besonders hervorzuheben, weil noch vielfach die Ansicht vertreten wird, Metaphysik sei ein rein *a priori* orientiertes Unterfangen. Wenn man von dieser antiquierten Sicht ausgeht, gelangt man selbstverständlich zu einem vollständig anderen Metaphysikverständnis als jenem, das heute in allen Sphären vom Grundsatz her angezeigt ist. Dabei macht die *wissenschaftliche Metaphysik* nicht nur umfassenden Gebrauch von den Formalwissenschaften, sondern ist im Sinne des Whiteheadschen (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« konsequent zu den Erfahrungswissenschaften hin geöffnet. Dabei gilt mit Burt (1925: 300) »that the heart of the new scientific metaphysics is to be found in the ascription of ultimate reality and causal efficacy to the world of mathematics, which world is identified with the realm of material bodies moving in space and time«. Mit Burt (1925) wird bereits deutlich, dass die fundamentalste Hypothese wissenschaftlicher Metaphysik im Whitehead-Popperschen Sinne im *metaphysischen Realismus* besteht, der durch den *epistemologischen Realismus* komplettiert wird. Aber nicht nur die Realitätsorientierung ist für die wissenschaftliche Metaphysik kennzeichnend, sondern damit zusammenhängend der systemische wie interaktionistische Gesichtspunkt, womit jede wissenschaftliche Metaphysik ganz

²⁶⁰⁶ Vgl. Popper (1963b: 273).

²⁶⁰⁷ Hier ist zu beachten, dass die Leibnizsche *Scientia generalis* zwei Aspekte in sich vereinigt, nämlich eine *empirische* (Inventarium) und eine *apriorische* Basis (Buch der Deduktionen); vgl. dazu auch Poser (2016: 430 f.).

selbstverständlich im Zeichen des Evolutions- bzw. Komplexitätsparadigmas steht. Das ist bei Bunge und Whitehead genauso der Fall wie etwa bei den metaphysischen Positionen N. Hartmanns (1940). Damit zeigt sich bereits an dieser Stelle, dass die allgemeinste Theorie dem heutigen Stand der Wissenschaft entsprechend allein auf eine *komplexitätsorientierte Theorie* hinauslaufen kann, die direkten Anschluss für die *Theorie komplexer Systeme* in ihrer Eigenschaft als logico-mathematischer Methodologie bietet. Das markanteste Beispiel für eine wissenschaftliche Metaphysik ist der Ansatz von Bunge selbst, indem dieser rigoros auf eine *strikt wissenschaftliche* Perspektive angelegt ist. Entsprechend spricht Bunge (1973: 43) der metaphysischen Disziplin wissenschaftlichen Charakter zu und sieht in ihr, gemeinsam mit der Logik und Semantik, die Schnittmenge zwischen Philosophie und den Wissenschaften. Im Gegensatz zu den Einzelwissenschaften mit ihren jeweils spezifischen Gegenstandsbereichen oder Erkenntnisinteressen zielt die Metaphysik auf eine Auseinandersetzung mit den allgemeinsten Charakteristika der Realität. Indem die *wissenschaftliche Metaphysik* den Grundmodus auch der techno-wissenschaftlichen Metaphysik darstellt, der für ein zeitgemäßes Metaphysikverständnis im Unterschied zum alten charakteristisch ist, kommen wir auf diesen Typus unten nochmals ausführlicher zurück.

Ad (4) ist schließlich auf die *techno-wissenschaftliche Metaphysik* einzugehen, in der eine ganz bestimmte Variante der wissenschaftlichen Metaphysik besteht. Dabei handelt es sich um *Cyber-Metaphysik* bzw. mit Steinhart (1998) um *Digital Metaphysics*, als sie nicht nur auf die wissenschaftlichen, sondern auch auf die technologischen wie praktischen Zwecke der Informatik zugeschnitten ist. Sie ist im Sinne Bunes *Scientific Metaphysics*, jedoch im großen Unterschied zu Bunge nur insofern, als sie dabei genauso Simons (1969) *Sciences of the Artificial* entsprechen kann. Denn damit muss die wissenschaftliche Metaphysik jeden einseitigen materialistischen Fokus, wie er für die Variante Bunes kennzeichnend ist, aufgeben. Entsprechend ist eine spezielle *Techno-Variante* erforderlich, die insbesondere auf alle System- bzw. Strukturwissenschaften mitsamt ihrer Realitätsstrukturen abstellt, die speziell auf die Belange der *Theorie komplexer Systeme* Rücksicht nimmt wie auf AI- oder AL-Aspekte. Die nicht nur die materiale Sphäre adressieren kann, sondern gerade auch den Cyberspace und seine möglichen Welten, und schließlich insbesondere auch auf *Cyber-physische Systeme* (CPS) zugeschnitten ist. Damit handelt es sich gleichzeitig um eine Variante wissenschaftlicher Metaphysik, über die sich die positive Seite der analytischen Metaphysik, nämlich die zur Adressierung möglicher Welten im Cyberspace erforderliche *Modalmetaphysik* problemlos inkorporieren lässt. Zudem ist es allein die *techno-wissenschaftliche Metaphysik*, die in Gestalt der in Pkt. 3.4 diskutierten *integrierten metaphysischen Wissensontologie* erst die Ontologie der Informatik sachgerecht eröffnen kann. Bunes wie Whiteheads Metaphysiken stellen zwar beide wissenschaftliche Metaphysiken (Klasse 3) dar, doch allein die Whiteheadsche entspricht auch der "*Metaphysics of class 4*"; mit anderen Worten ist nur sie *techno-wissenschaftliche Metaphysik*, und für diese gar prototypisch; somit besteht in ihr auch die eigentliche *Cyber-*

Metaphysik des neuen Paradigmas der Informatik, was für jene Leibnizens (Klasse 2) nur sehr eingeschränkt, nämlich im Sinne eines *Ursprungsparadigmas der Informatik* gelten kann. Die *Metaphysik der Informatik* besteht also in der *Klasse-4-Metaphysik*, d.h. in jener, die gegenwärtig am wenigsten im Mittelpunkt der Metaphysikdisziplin steht. Indessen ist es die einzige Metaphysikklasse, die tatsächlich universal ist, indem sie durchgängig sowohl zu allen Erfahrungs- wie zu allen Strukturwissenschaften ist. Daraus folgt, dass nicht nur die Informatiker vollständig umdenken müssen, sondern auch die Metaphysiker.

Mit Whitehead (1929a: 13) gilt: »Metaphysics is nothing but the description of the generalities which apply to all the details of practice«,²⁶⁰⁸ was durchaus wörtlich zu nehmen ist: Denn im Unterschied zu Bunge (1977a) handelt es sich bei ihm insofern um Metaphysik "aus einem Guss", indem sie gleichzeitig die wissenschaftliche, technologische wie die praktische Dimension in sich verkörpert. Das ist insofern möglich, als es sich – im Gegensatz zur Bungeschen – bei der Whiteheadschen um eine antimaterialistische Metaphysik handelt,²⁶⁰⁹ der zudem ein gegenüber Bunge erweiterter Realitätsbegriff zugrundeliegt. Dieser wurde bereits in Pkt. 3.5 insbesondere im Kontext mit jener Welt 3 diskutiert, die Bunge gerade ablehnt. Dass darin indessen ein ganz grundsätzlicher Fehlschritt Bunges besteht, zeigt der Umstand, dass etwa mit Houkes/Vermaas (2009b) und einer ganzen Reihe weiterer in Pkt. 4.6 behandelte Beiträge gerade im PLM-relevanten *Engineering* wie insgesamt in der *Technologie* eine *Ontologie* bzw. eine *Metaphysik der Artefakte* in den Mittelpunkt rückt, die etwa mit Borgo/Vieu (2006, 2009) oder Mizoguchi/Kitamura (2009) eine unmittelbare Relevanz für die Selektion IoX-adäquater TLO-Theorieanwärter besitzt. Natürlich kommt gerade die Informatik nicht um eine solche *Ontologie der Artefakte* umhin, mit der sich eine Reihe metaphysischer Fragen stellen, wie sie etwa E.J. Lowe (1983b, 2014) oder Simons/Dement (1996) thematisieren. Auch vor dem Hintergrund der *Metaphysik der Artefakte* wird klar, dass die Informatik zwingend einer "*Metaphysics of class 4*" bedarf. Gerade mit Blick auf eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption ist festzustellen, dass sich Cyber-physische Systeme ontologisch auf der CPSS-adäquaten *Technoscientific Metaphysics* (Klasse 4) Whiteheads begründen lassen, nicht aber auf der *materialistisch-substanzzentrischen* Bungeschen Metaphysik (Klasse 3). Diese ist für Technologien wie für Strukturwissenschaften – und damit auch insgesamt für die Informatik ungeeignet. Tatsächlich ist es der universale *Ereigniszentrismus*, mit dem sich der Whiteheadsche Ansatz einheitlich für physische wie für virtuelle Prozesswelten eignet. Damit wird auch deutlich, dass Bunge den engen Bezug, den er fortwährend zwischen Wissenschaft und Technologie sieht, auf Basis seiner streng materialistischen wissenschaftlichen Metaphysik selbst gar nicht sachgemäß einzulösen versteht. Somit kann in dieser CPSS-Adäquanz

²⁶⁰⁸ Ähnlich stellt V. Lowe (1961: 199) fest: »The metaphysical objective [...] is a general characterization of the universe, capable of making every type of experience intelligible«.

²⁶⁰⁹ Wie bereits in Pkt. 3.1 ausgeführt, ist dieser *Antimaterialismus* nicht zu verwechseln mit einem *ontologischen Immaterialismus*; nur für ersten sind auch materielle Entitäten elementar, wenn auch nicht alles.

allein eine ereigniszentrische *Technoscientific Metaphysics* für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Speziellen – wie für die Informatik im Generellen – wegweisend sein.

Vor dem Hintergrund der dargelegten viergliedrigen Klassifizierung der Metaphysiktypen gilt: was die wissenschaftliche Metaphysik anbelangt, ist Kant insofern durch Kant überwunden, als seine Kritik sich ihrem Wesen nach allein auf die reine und exakte Metaphysik, also auf die beiden tieferen Klassen (Klasse 1 und 2) der Metaphysikklassifizierung bezieht.²⁶¹⁰ Demgegenüber bleiben die beiden höheren Klassen (Klasse 3 und 4), also die *wissenschaftliche bzw. techno-wissenschaftliche Metaphysik* von seiner Kritik gänzlich unberührt, indem es diese Art von Metaphysik zu seiner Zeit noch gar nicht gibt. Vielmehr sind diese Metaphysikvarianten nicht zuletzt auch als direkte Folge der Kantischen Kritik zu erachten. Mit dieser Feststellung ist zugleich impliziert, dass Stegmüllers (1954) *Unentscheidbarkeitsthese* genau umzudrehen ist: denn mit Metaphysik der Klasse 3 und 4 ist das Problem der Metaphysik *absolut entscheidbar*; indem es diese Art von Metaphysik zur Zeit Stegmüllers (1954) lange gibt, ist seine *Unentscheidbarkeitsthese* genauso widerlegt wie jene identische v. Foersters (1993, 2002).^{2611, 2612} Wie festgestellt, ist Kant (1781) über

²⁶¹⁰ Metaphysik ist für Kant nicht nur möglich, sondern auch notwendig. Für Kant (1783a) ist es unmöglich, der Metaphysik gänzlich zu entsagen, wobei diese Position bei ihm noch nicht einmal im systematischen Kontext der *wissenschaftlichen* Metaphysik steht. Für Kant gilt es allein, bestimmte Bedingungen an sie zu knüpfen und ihre natürlichen Grenzen, die zugleich die Grenzen aller Erkenntnis sind, zu respektieren. Kant (1781) bestreitet also nicht die Möglichkeit von Metaphysik generell, sondern lediglich jene als apriorische Wissenschaft aus Begriffen, als Versuch, durch reines Denken das Unerfahrbare, Transzendente mit Erkenntniswert zu bestimmen. Entsprechend ist es allein eine rein spekulative Methode, die Kants Ablehnung findet, und das insbesondere im Hinblick auf die verschiedenen rein spekulativen (ontologischen) Gottesbeweise. Kant hatte alles andere als einen Bruch zwischen Metaphysik und Wissenschaften im Sinn, der erst durch die zahlreichen Fehlinterpretationen seines Werkes zustande kam, und bis heute die nicht vorhandene metaphysische Programmatik der Informatik unter anderem mit bedingt.

²⁶¹¹ Hier heißt es mit explizitem Bezug auf Kant: »ein Metaphysiker ist: einer, der über prinzipiell unentscheidbare Fragen für sich entscheidet«, vgl. Foerster (2002: 11 f.), und: »wir werden zu Metaphysikern, [...] wenn wir Fragen entscheiden, die prinzipiell unentscheidbar sind«, vgl. Foerster (1993: 70). Aber auch seine expliziten Rehabilitierungsversuche der Metaphysik laufen ins Leere, denn sie korrespondieren weder mit der heute gesetzten wissenschaftlichen Metaphysik, noch werden sie überhaupt eigentlicher Wissenschaft gerecht: Sie sind genauso abwegig wie seine Metaphysik selbst, die noch nicht über den Stand Kants (1781) hinausgekommen ist, wenn er – wie dieser selbst – noch den Fängen der reinen und exakten Metaphysik verhaftet ist: Tatsächlich kann Foersters abstruses "metaphysisches Postulat" gerade für die wissenschaftliche Metaphysik nicht gelten, denn dieses besagt: »Nur *die* Fragen, die im Prinzip unentscheidbar sind, können *wir* entscheiden«, vgl. Foerster (1993: 73), Hvh. im Orig. Auch wenn von Foerster mit diesem metaphysischen Postulat die Metaphysik »in den Bereich der legitimen menschlichen Denkformen zurückziehen« will, und damit »in einen Bereich, in dem man nicht schon weiß, wie alles ist«, vgl. Foerster (2002: 11), ist es rundweg abzulehnen, weil zum einen viele metaphysische Fragen gerade im Zuge der wissenschaftlichen Metaphysik entscheidbar werden, und einige wenige fundamentale mit großer Wahrscheinlichkeit für immer Rätsel, und damit sachlogisch unentscheidbar bleiben, vgl. hierzu auch Bernays (1976). Darin besteht gerade das nicht hoch genug zu schätzende Verdienst Kants (1781). – In der Tat ist die Freiheit, sich bei metaphysischen Fragen so oder anders zu entscheiden, im Rahmen wissenschaftlicher Metaphysik höchst begrenzt: Denn wissenschaftliche Metaphysiksysteme haben sich im Wechselspiel mit den Erfahrungswissenschaften an diesen zu bewähren. Die Freiheit, die Foerster im Rahmen der Metaphysik zugesteht, besteht mit Wartofsky (1967) bei der wissenschaftlichen Metaphysik darin, metaphysische Hypothesen als Heuristik für die Wissenschaften zu formulieren, womit das rationalistische Moment der Metaphysik in das Wechselspiel mit dem empiristischen Moment der Erfahrungswissenschaften gebracht wird. Bei der reinen und exakten Metaphysik gibt es dieses Wechselspiel nicht; für sie gilt tatsächlich die Unentscheidbarkeit – und genau darauf zielte auch die Kantische (1781) Kritik. In diesem Sinne ist Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft* letztlich als einer der Wegbereiter der *wissenschaftlichen Metaphysik* mit ihrem *Ratio-Empirismus* zu sehen.

gut zwei Jahrhunderte in seiner Kritik gründlich missverstanden worden. Denn jenseits seiner Kritik der reinen bzw. exakten Metaphysik (Klasse 1 und 2) steht für Kant (1781: B 21) die Unverzichtbarkeit der Metaphysik außer Frage; nach ihm ist »irgend eine Metaphysik zu aller Zeit gewesen, und wird auch immer darin bleiben«. Entsprechend will Kants Metaphysikkritik die Metaphysik natürlich nicht *als solche* überwinden, indem für ihn außer Frage steht, dass sie sich gar nicht überwinden lässt. Vielmehr geht es für Kant darum, »das bisherige Verfahren der Metaphysik umzuändern«. ²⁶¹³ Es steht also für ihn allein die *Methode* der Metaphysik in Frage, nicht die Metaphysik an sich, wobei gilt:

»Eben deswegen ist Metaphysik auch die Vollendung aller Kultur der menschlichen Vernunft, die unentbehrlich ist, wenn man gleich ihren Einfluß, als Wissenschaft, auf gewisse bestimmte Zwecke bei Seite setzt. Denn sie betrachtet die Vernunft nach ihren Elementen und obersten Maximen, die selbst der Möglichkeit einiger Wissenschaften, und dem Gebrauche aller, zum Grunde liegen müssen. Daß sie, als bloße Spekulation, mehr dazu dient, Irrtümer abzuhalten, als Erkenntnis zu erweitern, tut ihrem Werte keinen Abbruch, sondern gibt ihr vielmehr Würde und Ansehen durch das Zensoramt, welches die allgemeine Ordnung und Eintracht, ja den Wohlstand des wissenschaftlichen gemeinen Wesens sichert [...].« ²⁶¹⁴

Ungeachtet der Tatsache, dass es einen subjektivistischen Standpunkt gibt, den die Metaphysik zu berücksichtigen hat, läuft die richtige Methode, die sich aus dem Kantischen Werk ableiten lässt, indessen gerade nicht auf die *deskriptive Metaphysik* Strawsons (1959) hinaus, für deren Position man Kant gerne einspannt. Denn die *deskriptive Metaphysik*, die zuweilen nicht umsonst mit *analytischer Metaphysik* identifiziert wird, bedeutet eine deutliche *Abkehr von wissenschaftlichen Fragen*, während mit Einstein (1934) gerade am *empirischen* Moment anzusetzen ist. Denn es ist genau dieses, das in den Metaphysikvarianten zu Kants Zeiten defekt bzw. nicht existent war, wobei diese Varianten bereits in einem großen Gegensatz zur durch Hume (1739) vertretenen Positionen des *Empirismus* standen. Wenn vor diesem Hintergrund "gute" Metaphysik am empiristischen Moment anzusetzen hat, läuft jede sachgerecht verstandene Metaphysik somit nicht auf die deskriptive, sondern vielmehr auf spezifische *revisionäre* Metaphysikvarianten hinaus. Diese bestehen entweder in der *wissenschaftlichen Metaphysik* oder aber in der *techno-wissenschaftlichen Metaphysik* als höchste Form von Metaphysik. Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft* ist nichts weiter als die *Kritik des reinen Rationalismus*, wie er für die *reine und exakte Metaphysik*, also für die Klassen 1 und 2 charakteristisch ist. ²⁶¹⁵ Tatsächlich haben nur wenige seine Botschaft richtig verstanden, etwa Einstein (1934: 48): Als theoretischer Physiker in der Sache unverdächtig, hat er schon zu Zeiten des Wiener Kreises erkannt, dass die insbesondere durch schwerwiegende Fehlinterpretation des Kantischen Werks bedingte Ablehnung *aller* Metaphysik auf einem fatalen Irrtum beruht. Einstein kritisiert zu Recht die »verhängnisvolle 'Angst vor der Metaphysik'«, die für ihn »eine Krankheit des gegenwärtigen empiristischen Philosophierens« bedeutet. Dabei identifiziert er die empiristische Wende

²⁶¹² Indem sich Foerster explizit auf Kant (1781) beruft, und dieser wiederum allein die beiden tieferen Metaphysikklassen adressiert, lässt sich genauer sagen, dass die *Unentscheidbarkeitsthese* für die Klassen 1 und 2 gilt, nicht aber für Klasse 3 und 4.

²⁶¹³ Vgl. Kant (1781: B XXII).

²⁶¹⁴ Kant (1781: B 878, B 879), ohne Hvh. des Orig.

²⁶¹⁵ Vgl. hierzu auch N. Hartmann (1948) mitsamt seiner Überlegungen zu einer *neuen Metaphysik*.

richtiggehend im Sinne einer extremen, jedoch überzeichneten Gegenbewegung, nämlich als »Gegenstück zu jenem früheren Wolken-Philosophieren«, »welches das Sinnlich-Gegebene entbehren und vernachlässigen zu können glaubte«. ²⁶¹⁶ Entsprechend läuft die Kritik Einsteins darauf hinaus, dass die Metaphysik der Klasse 1 und 2 genauso abzulehnen ist wie jeder einseitige, metaphysikfreie Empirismus.

Demgegenüber sucht Einstein (1934: 47 f.) beides insofern zusammenzuführen, als er die wesentliche Bedeutung des empirischen Moments in der Metaphysik hervorhebt; und dieses ist, wie dargestellt, allein für die beiden höheren Metaphysikklassen (Klasse 3 und 4) kennzeichnend. Mit Einstein (1934) lässt sich entgegen Carnap (1928a) nicht mehr zwischen einer empirischen und einer metaphysischen Wirklichkeit unterscheiden. Dass schließlich wird ein Jahr später durch Whiteheads (1929a) *Ratio-Empirismus* unterstrichen; nicht umsonst wird die Whiteheadsche Metaphysik gerade als eine *Metaphysik der Erfahrung* charakterisiert. ²⁶¹⁷ Hintz (1955: 226) spricht in dieser Sache treffend von Whiteheads »merging of science and metaphysics«, während Bunge (1977a: 16) keine Kluft zwischen sehr allgemeinen wissenschaftlichen Theorien und Ansätzen wissenschaftlicher Metaphysik ausmacht. Somit geht es um die *eine* Wirklichkeit, wozu bereits Whitehead (1911: 4) konstatiert: »There is not one world of things for my sensations and another for yours, but one world in which we both exist«. Entsprechend geht es in den beiden höheren Metaphysikklassen gerade darum, die fundamentalen Strukturen der Realität in transdisziplinärer Weise zu bestimmen. Damit sind diese nicht nur im Sinne Poppers *kritikabel*, sondern im Sinne Agassis (1964: 191 f.) auch prinzipiell *falsifizierbar*, was weiter unten nochmals aufgegriffen wird. Dabei wird die Kritikabilität dadurch gewährleistet, dass an jede wissenschaftliche Metaphysik strikte Anforderungen zu stellen sind; mit Bunge (1971) müssen sie folgenden sechs elementaren Bedingungen genügen. ²⁶¹⁸

1. sie muss sich auf die allgemeinsten Charakteristika der Realität und der realen Objekte beziehen,
2. sie muss systematisch, d.h. eine Theorie oder ein Teil einer Theorie im Sinne eines hypothetisch-deduktiven Systems sein,
3. sie muss sich explizit der Logik oder Mathematik bedienen,
4. sie muss mit der gegenwärtigen Wissenschaft kompatibel sein,
5. sie muss Grundbegriffe der Philosophie oder der Grundlagen der Wissenschaft aufzuhellen gestatten, und
6. sie muss durch Spezifizierung oder Hinzufügung spezifischer Hypothesen zu einer wissenschaftlichen Theorie entwickelt werden können. ²⁶¹⁹

Revisionäre Metaphysik, wie sie in Pkt. 6.2.2 in ihrer Differenzierung zur deskriptiven Metaphysik abgegrenzt wird, muss sich als Metaphysikentwurf immer Poppers (1979) *aktiver Metaphysikkritik* stellen. Mit den durch Kant (1781) aufgedeckten Mängeln, die bei

²⁶¹⁶ Vgl. identisch Einstein (1944).

²⁶¹⁷ Vgl. Wiehl (1990: 234) sowie E. Kraus (1998).

²⁶¹⁸ Vgl. Bunge (1971: 507 f.; 1973: 145); Übers. des Verf.

²⁶¹⁹ Die *reine* und die *exakte Metaphysik* erfüllen jeweils bestimmte dieser sechs Anforderungen nicht, vgl. hierzu im Einzelnen Bunge (1971: 508).

Metaphysikentwürfen der Klasse 1 und 2 gewiss bestehen, läuft richtig verstandene *revisionäre Metaphysik* darauf hinaus, dass sie sich vor dem Hintergrund Bunes (1971, 1973) allein noch auf Ansätze der Klasse 3 und 4 beziehen kann. Indem die Idee *revisionärer Metaphysik* – gerade auch mit Blick auf die in Pkt. 1.1 für die Informatik postulierte *Universalontologie* – immer der *universalen* Anwendung, der Grundlegung aller Disziplinen verschrieben ist, sind Systeme der Klasse 1 und 2 inakzeptabel. Sie kommen mit den oben durch Bunge (1971) genannten sechs elementaren Bedingungen mit den letzten drei Aspekten zu Fall. Sie scheitern darüber hinaus schon daran, dass eine *Universalontologie* zuvorderst auch Poppers *Scientific Ontologies* mit abdecken können muss, was in der metaphysischen Fundierung konsequenterweise eine *Scientific Metaphysics* bzw. *Technoscientific Metaphysics* voraussetzt.

Zwar existiert heute eine Reihe alternativer Metaphysiksysteme, doch beschränken sich die beiden wirklich umfassend *revisionären Systeme wissenschaftlicher Metaphysik* insofern auf Bunge (1977a) und Whitehead (1929a), als allein diese einen umfassenden *Ratio-Empirismus* wie die Idee *allgemeinster Theorie* aufweisen. In ihnen bestehen die beiden großen Systeme wissenschaftsorientierter Substanz- vs. Prozessmetaphysik. Allerdings ist dabei zu beachten, dass der *Ratio-Empirismus* bei Bunge monodirektional verstanden wird, nämlich einseitig von der Wissenschaft zur Metaphysik, um die empiristischen Gesichtspunkte zu einer ratio-empirischen allgemeinsten Theorie zu verdichten. Bei Whitehead wird dieses Zusammenspiel anders verstanden, nämlich bidirektional – oder besser: zirkulär – als echtes und stetiges »interplay between science and metaphysics«. ²⁶²⁰ In dieser Weise ist es auch in Kants (1786a: IV) Sinne, wenn *Wissenschaft* sich entweder als *rational* oder *empirische* Verknüpfung der Erkenntnis zu einem systematischen Ganzen versteht, gleichzeitig jedoch metaphysische Anfangsgründe erfordert. Wie erwähnt, gibt es metaphysische Systeme, die mindestens als wissenschaftsorientiert zu klassifizieren sind. Hierzu gehören etwa auf Seiten der neo-aristotelischen Substanzmetaphysik E.J. Lowes (2002a, 2002b) *Four-Category Ontology*, auf Seiten der Prozessmetaphysik etwa Rescher (1996) oder Sider (2001). Allerdings handelt es sich bei E.J. Lowe nicht, und bei Rescher bzw. Sider nur sehr eingeschränkt um revisionäre Metaphysiken, weil ihnen der Ratio-Empirismus nicht zu eigen ist. Damit werden bei diesen Systemen die metaphysischen Kategorien nicht ausgehend von einer tatsächlich vollzogenen empiristischen Universalsynthese gebildet bzw. permanent in Frage gestellt. Daneben existiert noch eine Vielzahl anderer moderner Metaphysiksysteme, auf die, sofern sie für die TLO-Diskussion Relevanz besitzen, an anderer Stelle in ergänzender Weise eingegangen wird. Demgegenüber sind die Systeme Bunes und Whiteheads mit der BWW-TLO bzw. der Sowa-TLO direkt in die TLO-Diskussion involviert.

Indessen ist der Gedanke der *wissenschaftlichen Metaphysik* keineswegs neu. Er findet sich bereits bei Eisler (1905: 120 ff.), bei Burt (1925), bei Whitehead (1929a), bei Apostel

²⁶²⁰ Vgl. Whitehead (1933: 164).

(1963), später bei Rescher (1996) oder Mahner/Bunge (1997). Auch die sogenannte *Neue Ontologie* steht im Zeichen *wissenschaftlicher Metaphysik*; sie zeigt sich dabei nicht nur grundsätzlich empirisch ausgerichtet, sondern im Allgemeinen auch *emergentistisch* verfasst. Neben A.N. Whitehead gehören auch etwa S. Alexander oder N. Hartmann zu dieser Richtung, die im Gegensatz zur analytischen Metaphysik i.e.S. strikt auf die fundamentalen Strukturen der Realität bezogen ist, nämlich im primären Sinne. Entsprechend konstatiert Peirce (1935: § 2 (6)) in seiner *Scientific Metaphysics*: »[i]ts business is to study the most general features of reality and real objects«. Es geht also mit E.J. Lowe (2006a: 1) um die Erfassung wie Reflexion der Struktur der Realität als Ganzes, auf ihrer grundlegendsten Ebene; demnach ist mit E.J. Lowe (1998: 2) die Metaphysik »as the systematic study of the most fundamental structure of reality« zu verstehen:

»[M]etaphysics is above all concerned with identifying, as perspicuously as it can, the fundamental *ontological categories* to which all entities, actual and possible, belong. This it does by articulating the *existence and identity conditions* distinctive of the members of each category and the relations of *ontological dependency* in which the members of any given category characteristically stand to other entities, either of the same or of different categories.«²⁶²¹

Somit lässt sich mit E.J. Lowe (2005) die Ontologie als Teil der Metaphysik fassen:

»Ontology, understood as a branch of metaphysics, is the science of being in general, embracing such issues as the nature of existence and the categorial structure of reality. [...] Different systems of ontology propose alternative categorial schemes. A categorial scheme typically exhibits a hierarchical structure, with 'being' or 'entity' as the topmost category, embracing everything that exists.«²⁶²²

Mit E.J. Lowe (2009) ist die Metaphysik aber nicht nur mit Blick auf den Bau von Kategoriensystemen eine unentbehrliche Disziplin, sondern damit zusammenhängend auch, um das Spektrum der wirklichen Möglichkeit und Notwendigkeit, also der *metaphysischen Möglichkeit und Notwendigkeit* zu erforschen, worauf wir in Pkt. 6.2.4 zurückkommen. Vor ihrem Hintergrund geht es dann nicht nur zwingend um die fundamentalen Strukturen der Realität, sondern in diesem Sinne um die fundamentalen Strukturen aller Welten, d.h. aller möglichen Welten. Sowohl mit Blick auf die komplexen Strukturen der Realität, als auch insbesondere mit Blick auf die Strukturen möglicher Welten ist evident, dass *alle* Metaphysik, und damit auch alle *wissenschaftliche* Metaphysik, spekulative Metaphysik ist.²⁶²³ Das ist sie insofern, als sie einen rationalen Teil besitzt, der für sie den eigentlich charakteristischen Stellenwert hat. Wäre gemäß dem *Ratio-Empirismus* der empirische Teil

²⁶²¹ E.J. Lowe (2006a: 1).

²⁶²² E.J. Lowe (2005: 670).

²⁶²³ Geht es um die großen Fragen ist diese metaphysische Spekulation auch ansonsten unverzichtbarer Bestandteil des wissenschaftlichen Procederes. Entsprechend findet sie sich etwa beim Physiknobelpreisträger Gell-Mann (1992b): »Would advanced complex adaptive systems on another planet come up with anything like our mathematics or anything like our mathematical theories of physical processes, or both? At present, we can only speculate about the answers, but the questions are deep and meaningful«, vgl. Gell-Mann (1992b: 7). Genauso auch etwa beim theoretischen Physiker Barrow (1996: 9), wenn dieser die Ansicht vertritt, dass wir mit der Mathematik »die Sprache gefunden haben, in der das Buch der Natur geschrieben zu sein scheint«. Der Grund dafür, dass wir die Zusammenhänge und die Wirkungsweisen des Universums mitsamt seiner inhärenten Prozesse und Regeln auf Basis artifizieller Systeme simulieren bzw. emulieren können, ist dabei in der metaphysischen Voraussetzung, dass das Universum *mathematisch* ist, zu suchen. Wie J. von Neumann (1948: 4) herausstellt, ist es eine Eigenart der Mathematik, dass dies mit so wenig Information geschehen kann.

charakteristisch, liefe dies auf die weiter unten diskutierte *induktive Metaphysik* hinaus, die gerade nicht *wissenschaftliche Metaphysik* ist. Insofern ist Bunges (2003b: 202) Differenzierung zwischen *spekulativer* und *wissenschaftlicher* Metaphysik widersprüchlich; noch widersprüchlicher ist es, dass er dabei Whitehead der ersten, sich selbst aber der zweiten zuordnen will. Denn das Bunesche System ist mit seiner Perspektive auf die "*Furniture of the World*" gewiss nicht weniger spekulative Metaphysik als jenes Whiteheads, und umgekehrt ist dieses gewiss auch nicht weniger wissenschaftliche Metaphysik als jenes Bunges. Bunges (2003b: 202) Differenzierung geht offensichtlich vor allem darauf zurück, dass beide Ansätze in einem echten Konkurrenzverhältnis stehen, was bereits mit der durchgängigen Buneschen Kritik an den Positionen Whiteheads, Poppers oder Reschers zum Ausdruck kommt. Dass bei Bunge das spekulative Moment fehlt, hat mit der oben erwähnten Monodirektionalität seines Ansatzes zu tun, während der Whiteheadsche als bidirektionaler Ansatz von Natur aus spekulativ ist.

Dieses Konkurrenzverhältnis besteht vor allem auch in der Hinsicht, dass der Bunesche Ansatz *naturalistisch* i.e.S. ist, indem er die Metaphysik letztlich doch auf den materialistischen Gesichtspunkt der Naturwissenschaften reduziert. Demgegenüber zeigt sich der Whiteheadsche Ansatz völlig anders konzipiert; wenn der Bunesche dem *Naturalismus* folgt, ist es beim Whiteheadschen analog der *Digitalismus*, ohne dabei einem ontologischen Immaterialismus zu folgen. Tatsächlich ist es sein universaler Ereigniszentrismus, mit dem er als *digitalistisch* zu werten ist, und damit eine *Digitalmetaphysik* verkörpert. Denn hier wird nicht – wie bei Bunge – die Metaphysik auf das Materielle der Naturwissenschaften reduziert, sondern umgekehrt ist die Metaphysik universale Grundlage aller Wissenschaften, aller Technologien und aller Praxis. Allein auf diesem Wege ist ihre tatsächliche Einheit möglich. Diese kann sie wiederum in dieser universalen Form nur in dieser *digitalistischen* Fundierung bieten, indem es das *digitalistische* Moment ist, das allen Sphären inhärent ist. Somit läuft das Kantisch-Feynmansche Regeluniversum auf Zuses (1982) *Computing Universe* hinaus, das gleichermaßen im universalen Sinne von *Diskursuniversen* (UoD) zu sehen ist. Die techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik ist somit zugleich *Computer-* bzw. *Digitalmetaphysik*, die sich dadurch auszeichnet, dass sie in der Tradition von Platons *mathematischem Universum* bzw. Leibnizens logico-mathematischem *Automatenuniversum* die Boolesche Logik nicht nur epistemologisch, sondern auch ontologisch, d.h. *kategorial* wie *meta-ontologisch* zulässt.

Das Spekulative dieser Systeme bezieht sich dabei vor allem auf die in Pkt. 6.1.3 behandelten Kategoriensysteme, die in der Tat bei allen Metaphysikansätzen oftmals höchst different ausfallen, womit die daran orientierten Kategoriensysteme der *Top-level Ontologien* sich nicht weniger disparat darstellen können. Entsprechend sind die Ursachen des in Pkt. 1.2 erörterten Inkommensurabilitätsproblems genau hier zu suchen. Poppers (1979) Idee *aktiver Metaphysikkritik* muss entsprechend so verstanden werden, dass in solchen Selektionsprozessen vor allem die tatsächliche *Universalität der Kategoriensysteme* und

damit ihre Wissenschafts-, Technologie- wie Praxisrelevanz zu untersuchen ist. Natürlich bestehen hier maßgebliche Unterschiede, wenn einmal Objekte primär sind, und einmal Ereignisse usf. Inwiefern solche Priorisierungen tatsächlich den Zwecken universaler Ontologie entsprechen, ist somit eingehend zu untersuchen, nicht zuletzt auch vor dem Hintergrund der ontologisch besonders relevanten Cyber-physischen Systeme (CPS). Indem diese Kategoriensysteme zwangsweise *spekulativ-metaphysischen* Ursprungs sind, ist der Widerstreit konkurrierender Kategoriensysteme wie entsprechend jener der elementar darauf gründenden TLO-Theorieanwärter programmiert. Allein im Sinne Poppers (1979) *aktiver Selektion* ist dieser Widerstreit im Sinne der Höher- bzw. Weiterentwicklung der revisionären Metaphysiksysteme konstruktiv und notwendig, während er mit dem heute weitgehend zu beobachtenden Verzicht auf eine solch *aktive Selektion* destruktiv ist. Ohne wissenschaftlichen Streit wird es in diesen grundlegenden metaphysischen bzw. meta-ontologischen Fragen, deren Lösung sich im Sinne Poppers (1979) anders vollzieht als bei unmittelbar falsifizierbaren Theorien, keinen nennenswerten Fortschritt geben können.

Indem es die *Top-level Ontologie* ist, die das eigentliche Fundament aller tatsächlich intelligenten AI-Systeme, für alle *World Automata* und *Reality Machines* legt, ist die Informatik aufgerufen, den an sich bestehenden, jedoch disziplinweit kaum richtig wahrgenommenen Widerstreit um die TLO-Theorieanwärter in seiner eigentlichen Bedeutung zu erkennen und ihn mit Verve zu führen. Sie muss die wesentliche Rolle kritischer Diskursprozesse für sich neu entdecken, indem bei der TLO-Selektion keine falsch verstandenen Rücksichten genommen werden können. Allein der unter sachlichen Aspekten festzustellende Fortschritt kann leitend sein. Eine wissenschaftssoziologische Reflexion kann helfen, um die Probleme zu erkennen, die mit einer rigorosen Kritik der einzelnen TLO-Theorieanwärter verbunden sind, wenn eine Selektion letztlich nur den Totalverriss des einen oder andern aufwändig konzipierten TLO-Ansatzes bedeuten kann. Dass vergleichsweise gute Ansätze wie die Sowa-TLO oder die GFO-TLO kaum verbreitet sind, während Ansätze wie die BWW-TLO oder die BFO-TLO, die sich für die Zwecke der Informatik letztlich als vollkommen ungeeignet erweisen, stark verbreitet sind, zeigen, dass die bloße Strategie des Abwartens, welcher Ansatz sich als Quasi-Standard durchsetzen wird, gewiss keine gute Strategie ist. Vielmehr ist bei der Vielzahl gänzlich inkommensurabler TLO-Ansätze anders vorzugehen, nämlich in der Weise, die dem eigentlichen Kernproblem gerecht werden kann. Wenn dieses Kernproblem in den metaphysischen Grundlagen zu suchen ist, dann ist in einer Weise vorzugehen, die dieser metaphysischen Ebene auch gerecht wird.

Damit kommen wir erneut zu Popper, der dargelegt hat, wie die Selektion von Metaphysikansätzen zu führen ist. Vor allem hat Popper (1979) die Kritikabilität aller Metaphysik überhaupt erst aufgezeigt. Entsprechend ist festzustellen, dass sich nicht nur im Sinne Poppers metaphysische Ansätze mit rationalen Argumenten kritisieren bzw. unterstützen lassen, sondern das genau das gleiche auch für die Selektion der TLO-Theorieanwärter gilt. Allerdings gestaltet sich letztere insofern weitaus umfassender gegenüber ersten, als sich

die Selektion nicht auf das metaphysische Fundament des TLO-Ansatzes allein erstreckt. Hinzu kommen die damit verbundenen epistemologischen, methodologischen und logischen Implikationen, und schließlich sind noch eine Reihe technologischer Aspekte zu berücksichtigen, die sich rein auf die Informatik erstrecken, etwa bzgl. der formalen Repräsentationssprache. Auch wenn sich die TLO-Selektion weitaus umfassender darstellt, gestaltet sie sich umgekehrt insofern ungleich einfacher als die Selektion metaphysischer Ansätze, als sich bei ihr genaueste Anforderungskriterien spezifizieren lassen. Das gilt eigens für das Kriterium der CPSS-Adäquanz bzw. IoX-Konformität der TLO-Theorieanwärter.

Kategoriensysteme von Klasse-3-Metaphysiken müssen dem *Kriterium der Wissenschaftsadäquanz* gerecht werden;²⁶²⁴ solche von Klasse-4-Metaphysiken darüber hinaus auch jenem der *Technologieadäquanz*, wobei in diesem Fall beides interdependent ist. Indem gerade auch die kategorialen Anforderungen im Zuge der TLO-Selektion wiederum mit Verweis auf die in einer universalen Konzeption zwingend mit abzudeckenden IoX- bzw. CPSS-Gesichtspunkte abzustellen haben, sind Poppers (1979) kritische Diskurse in diesem Fall prinzipiell objektiv durchführbar. Generell lassen sich bzgl. jeder TLO-Selektion auf einfache Weise relevante Anforderungs- und Integrationsszenarien definieren und die TLO-Theorieanwärter vor ihrem Hintergrund kritisch prüfen. Wie in Pkt. 1.5 dargelegt, verkörpert das U-PLM-Szenario mit seinen inkorporierten CPS-, CPE-, CPPS-, CPLS- oder CPSS-Gesichtspunkten ein ganz besonders aussagekräftiges Referenzszenario, indem hier alle universalontologisch relevanten Anwendungsfälle gleichzeitig gegeben sind.

Ein tatsächlich universaler TLO-Theorieanwärter muss auch Smithens Gedanken der *Scientific Ontology* gerecht werden, der jedoch demgegenüber im Popperschen Sinne auszulegen ist. Das läuft automatisch auf die *Scientific Metaphysics* als metaphysische Basis hinaus. Mit dieser rückt jenes Moment in den Fokus, dass sie zur reinen bzw. exakten Metaphysik abgrenzt. Dieses besteht primär darin, dass die wissenschaftliche Metaphysik nicht allein dem *Rationalismus* verschrieben ist, sondern in erster Linie und ganz grundsätzlich über das Moment der Erfahrung dem *Empirismus*.²⁶²⁵ In diesem Sinne gilt das Kriterium der *Wissenschaftsadäquanz*, dem Klasse-3-Metaphysiken gerecht zu werden haben, genauso für sich darauf beziehende TLO-Ansätze. Relevant sind hier im Sinne Bunges (2001c) die *reine Wissenschaft* bzw. Grundlagenwissenschaft sowie die *angewandte Wissenschaft*. In diesem Sinne muss sich sowohl ein konkretes System wissenschaftlicher Metaphysik genauso wie ein darauf aufbauender TLO-Theorieanwärter nicht zuletzt an den Schlüsseltheorien der Erfahrungswissenschaften bewähren können. Entspre-

²⁶²⁴ Vgl. zu divergenten Metaphysikkonzeptionen im *Wissenschaftskontext* etwa P. Frank (1950a, 1950b).

²⁶²⁵ In diesem Sinne unterscheiden wir hier nicht nochmals zwischen einer *philosophischen* Ontologie und einer *wissenschaftlichen* Ontologie, wie es etwa Burian/Trout (1995) offenbar für notwendig halten; die philosophische Ontologie *ist* wissenschaftliche Ontologie, allerdings nicht im regionalen Sinne der Einzelwissenschaften, sondern im Sinne *universaler* Ontologie, also allgemeinsten Theorie. In ihr sind sämtliche Entitäten aller Hartmannschen (1940) Schichten ihrer ganzen qualitativen Natur nach in einem universalen kategorialen Gesamtsystem verortet, das in einer integrierten Ontologiekonzeption notwendig auf eine *emergentistische Vier-Welten-Ontologie* hinausläuft.

chend lassen sich Poppers (1963a) *Conjectures and Refutations* auch auf den *Widerstreit ontologischer Theorieanwärter* übertragen.

Demgegenüber kommt bei Klasse-4-Metaphysiken das Kriterium der *Technologieadäquanz* hinzu, hier mit der Besonderheit, dass für die TLO-Theorieanwärter allein die *ontologiegestützten* Technologien von Relevanz sind, von denen sie faktisch oder potentiell berührt sind. Hierzu sind insbesondere *Cyber-physische Systeme* (CPS), *Multiagentensysteme* (MAS) und das *Complex Event Processing* (CEP) zu zählen. Diese und zusammenhängende Aspekte sind durch Klasse-3-Metaphysiken aus einer Reihe wesentlicher Gründe nicht adressierbar: So verlangt das *Complex Event Processing* (CEP) nach einer *unabhängigen* Ereigniskategorie; d.h. diese kann nicht objektfixiert sein. Dabei setzt die Individuierbarkeit von Ereignissen eine 4D-Konzeption voraus, indem ihre Identität im Sinne Whiteheads (1929a), Lemmons (1967) oder Quines (1985a) raumzeitlich begründet ist. Diese 4D-Orientierung ist damit zusammenhängend für eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption insofern vorauszusetzen, als mobile CPS (PEID usf.) auf die Grundlage von *Local Positioning Systems* (LPS) zu stellen sind. Intelligente CPS bilden *komplexe adaptive Systeme* (CAS), wobei deren Adaption in vernetzten Strukturen mit Multiagentensystemen (MAS) zusammenfällt. Insofern handelt es sich bei Klasse-4-Metaphysiken um ratio-empirische *multiagentenbezogene* techno-wissenschaftliche Metaphysiken, deren adaptiver Kern im Whiteheadschen (1929a) *Subjekt-Superjekt* besteht.

Die Metaphysik ist für die TLO-Diskussion auch in dem Sinne konstituierend, als für die AI-Disziplin mit Steimann/Nejdl (1999: 5) das Moment der *Universalontologie* gerade mit Blick auf die erforderliche *Wissensintegration* unabdingbar ist. In diesem Sinne ist für sie das Transdisziplinaritätsmoment gesetzt, womit außer Frage steht, dass die *universale Ontologie* automatisch ein Bekenntnis zu einer *allgemeinsten Theorie* impliziert. Im Fall der techno-wissenschaftlichen Metaphysik und damit korrespondierender TLO-Ansätze weist das auf die gesamte Erfahrungswelt und Technopraxis. Es zeigt somit auf das Totale, auf den Kosmos als Ganzes, nicht nur auf bestimmte Sphären, Schichten, Ebenen, Ausschnitte oder spezifische Fragestellungen. Das prozessual Ganze zu adressieren ist mit dem Ziel der Einheit der Erkenntnis und des Wissens für die *universale Ontologie* selbstverständlich.²⁶²⁶ Dieser Perspektive entspricht keine der speziellen Wissenschaften, auch nicht die Physik. Auch sie hat insofern nicht das Totale im Fokus,²⁶²⁷ als damit nur das *emergentistisch Totale* gemeint sein kann, das für alle CYPO-Welten einheitlich vorauszusetzen ist.

Entsprechend steht mit dem emergentistischen Transdisziplinaritätsmoment von CYPO FOX außer Frage, dass *universale Ontologie* nicht im Sinne des Naturalismus auf einen

²⁶²⁶ Tatsächlich ist mit der Zergliederung und Reduktion der jenseits des Komplexitätsparadigmas vollzogenen Wissenschaftspraxis das Verständnis für die Zusammenhänge und Rückkopplungen, für die Strukturiertheit und Zeitlichkeit der Welt abhanden gekommen. Bereits Teilhard de Chardin (1955: 31 f.) hat darauf insistiert, »daß der Kosmos, an den der Mensch gebunden ist, infolge der unversehrbaren Integrität seiner Gesamtheit ein *System*, ein *Totum* und ein *Quantum* bildet«, nämlich »ein System infolge seiner Vielheit – ein Totum infolge seiner Einheit – ein Quantum infolge seiner Energie«.

²⁶²⁷ Vgl. Harris (1965: 29).

Reduktionismus hinauslaufen kann, der einzelne Sachverhalte höherer Emergenzenebenen auf Grundlagendisziplinen wie wahlweise die Physik oder Biologie zu reduzieren sucht. Mit Pkt. 5.1 ist der Naturalismus vielmehr durch die techno-wissenschaftliche Metaphysik zu ersetzen, d.h. durch *allgemeinste Theorie* im universalontologischen Sinne. Es kann in dieser Sache also keine multi-, pluri-, quer- oder interdisziplinäre Strategie weiterhelfen, sondern allein eine strikt transdisziplinär gehaltene Konzeption, auf die jede universale Ontologie bzw. allgemeinste Theorie hinausläuft. Dabei wird echte Transdisziplinarität erst auf einer *universalen TLO-Basis* möglich, indem allein auf dieser Grundlage eine transdisziplinäre *Einheit des Wissens* tatsächlich realisiert werden kann. Bisher wird diese zwar diskutiert, besitzt faktisch jedoch Konzeptstatus. Demnach wird dieses *Transdisziplinaritätsmoment* wie damit zusammenhängende Gesichtspunkte *universaler Ontologie* durch alle bisherigen TLO-Ansätze in keiner Weise thematisiert. Das überrascht insofern nicht, als sie kaum auf die *Ontologie als Universalwissenschaft* zugeschnitten sind; also auf das, was Bunge (1977a) "*general science*" oder Browning (1990) "*universal science*" nennt.

Wird das *Transdisziplinaritätsmoment* auf die allgemeinste Theorie bezogen und berücksichtigt, dass für Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken vor allem das empiristische Moment zu adressieren ist, läuft letzteres auf eine *empiristische "Universalsynthese"* hinaus. Dabei steht dieses empirische Moment nicht nur bei Whitehead (1929a) oder später bei Bunge (1977a) besonders im Fokus, sondern auch bei Peirce (1935: § 1 (2)), der konstatiert: »metaphysics [...] really rests on observations«. Indem die Sowa-TLO neben Whitehead auf Peirce aufbaut, müsste auch sie im Zeichen einer *empiristischen "Universalsynthese"* stehen, was jedoch nicht der Fall ist.²⁶²⁸ Das unbedingte Erfordernis des empirischen Moments der Metaphysik wird bereits durch Eisler (1905: 125 f.) wie durch Einstein (1934: 47 f.) betont. Mit Eisler (1929) besteht in der *kritischen Metaphysik* der stets zu erneuernde »Versuch, auf Grundlage der allgemeinsten Ergebnisse der Einzelwissenschaften eine *Universalsynthese* des Inhalts der Erfahrung überhaupt in einer einheitlichen, erkenntniskritisch fundierten Weltanschauung zu schaffen«. ²⁶²⁹ Insofern ist Metaphysik zu verstehen als »Theorie des Zusammenhanges der Gesamterfahrung«. ²⁶³⁰ Ihren »Gegenstand bildet die Totalität wissenschaftlicher Erfahrung [...] nach ihrer Begründung durch Prinzipien, die nicht selbst empirisch sind, aber in denkender Weiterführung der Erfahrung gewonnen sind und zu ihrem Abschluß, zu ihrer obersten Vereinheitlichung dienen«. ²⁶³¹ Es sind indes die Einzelwissenschaften selbst, die, »insofern sie allgemeine Voraussetzungen machen und zu Ergebnissen gelangen, die ihren Abschluß nicht mehr mit einzelwissenschaftlichen Mitteln erhalten können, zu metaphysischen Bedürfnissen [führen]«. ²⁶³² Mit N. Cartwright (1983) gilt derweil genauso umgekehrt:

²⁶²⁸ Mit Pkt. 2 liegt dies nicht zuletzt an Sowas Favorisierung der Wittgensteinschen (1953) *Sprachspiele*.

²⁶²⁹ Vgl. Eisler (1929: 126), Hvh. des Verf.

²⁶³⁰ Vgl. Eisler (1929: 127), ohne Hvh. des Orig.

²⁶³¹ Vgl. Eisler (1905: 123 f.), ohne Hvh. des Orig.

²⁶³² Vgl. Eisler (1905: 124).

»In metaphysics we try to give general models of nature. We portray it as simple or complex, law-governed or chancy, unified or diverse. What grounds do we have for our choices? *A priori* intuitions and abstract arguments are not good enough. We best see what nature is like when we look at our knowledge of it.«²⁶³³

Somit besitzt die Metaphysik nicht nur eine primäre *ontologische* Bewandnis, sondern spielt vor allem auch eine zentrale epistemologische Rolle, die für die AI-Disziplin von ebenso großer Wichtigkeit ist. Natürlich bleibt eine *Einheit der Erkenntnis* in dem Sinne, wie sie zu verstehen ist, ohne Metaphysik unerreichbar.²⁶³⁴ Denn es sind ihr universales Moment wie ihre regulativen Ideen, über die erst die höchste Synthese allen Erfahrungsmaterials gelingen kann.²⁶³⁵ Somit können nur Metaphysiken, die spezifisch auf die Wissenschaften rekurrieren, also *wissenschaftliche* Metaphysiken, zu objektiver Erkenntnis beitragen,²⁶³⁶ also jener, die Gegenstand von *Scientific Ontologies* Poppersche Provenienz sind. Schon Schopenhauer (1859) sieht die Aufgabe des Metaphysikers darin, »das Allgemeine der Erscheinung zu seinem Problem zu machen; während die Forscher in den Realwissenschaften sich nur über ausgesuchte und seltene Erscheinungen verwundern«.²⁶³⁷ Entsprechend gilt mit Browning (1990: 3): »The project is, thus, to provide the most general picture of the way things really are«. Insofern ist die Metaphysik mit Blick auf das primäre Ziel der *Einheit der Erkenntnis* auch für alle Wissenschaft unabdingbar.²⁶³⁸ Die Metaphysik ist mit Popper (1959: 15) *Kosmologie, Gesamtwissenschaft*; sie ist *Grundwissenschaft*,²⁶³⁹ die sich auf alles, was überhaupt ist, erstreckt.²⁶⁴⁰ Kosmologie ist dabei mit Popper (1959: 15) zu verstehen als »the problem of understanding the world – including ourselves, and our knowledge, as part of the world«. – Vor diesem Hintergrund gilt mit Popper: »All science is cosmology«.^{2641,2642} Mit Blick auf die IS-Interoperabilität und KS-Transdisziplinarität wird immer deutlicher, in welcher Richtung die Antwort auf McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" zu suchen ist. Natürlich ist jede Weltauffassung im ratio-empirischen Sinne allein *metaphysisch* begründbar, und entsprechend gilt mit Russell (1919a: 47): »the business of metaphysics is to describe the world«.

²⁶³³ N. Cartwright (1983: 13).

²⁶³⁴ Aus genau diesem Grunde ist die Whiteheadsche Prozessmetaphysik auch als *Kosmologie* zu verstehen; entsprechend stellt Prigogine (1977: 31) richtig fest: »Whitehead hat darauf hingewiesen, daß es von jeher eines der Ziele der Philosophie gewesen ist, die Einheit der Erkenntnis zu realisieren, Verzweigungen des Denkens zu vermeiden«.

²⁶³⁵ Vgl. Eisler (1905: 124).

²⁶³⁶ Vgl. Ladyman/Ross (2007).

²⁶³⁷ Vgl. Schopenhauer (1859, II: 185), ohne Hvh. des Orig.

²⁶³⁸ Vgl. auch Eisler (1905: 123 ff.).

²⁶³⁹ Vgl. auch Coreth (1994: 29).

²⁶⁴⁰ Mit Bunge (2001a: 27) lässt sich *Kosmologie* dabei als *Weltsicht* oder *Weltanschauung* auffassen; entsprechend ist unter »cosmology [...] a synoptic view of the cosmos – not just of nature, but also of persons, society, and perhaps more« zu verstehen. Es handelt sich damit um das, worauf McCarthys (1995) "*general world view*" in letzter Konsequenz notwendig hinausläuft.

²⁶⁴¹ Vgl. Popper (1959: 15).

²⁶⁴² Philosophische Erkenntnis unterscheidet sich mit Russell (1927b: 308) nicht wesentlich von wissenschaftlicher; Philosophie ist allein kritischer und universeller als Wissenschaft – allerdings bedarf sie dann mit Popper auch entsprechender Wahrmacher, damit von objektiver Erkenntnis die Rede sein kann.

Der hierzu notwendige *Ratio-Empirismus* lässt sich nur dann richtig verstehen, wenn nicht nur die Unbrauchbarkeit der *rein rationalistischen* Klasse-1- bzw. Klasse-2-Metaphysiken außer Frage steht, sondern gleichermaßen auch jene der *rein empiristischen* Metaphysiken, die in ihrer defekten Struktur in der Bungeschen Systematik erst gar nicht erwähnt werden. Indessen besteht in ihnen ein alternativer Versuch zur Realisierung einer wissenschaftsorientierten Metaphysik, und dieser ist mit Verweis auf Smith/Ceusters' (2010) Idee der *Einheits-TLO* von besonderer Relevanz: Bei Smith/Ceusters (2010) wird zwar eine empirisch-methodologische Position zur *Top-level Ontologie* vertreten, jedoch keine dezidiert metaphysische. Bei ihnen kommt der *Rationalismus* genauso wenig zum Zuge wie in solch rein *empiristischen* Metaphysiken, die nicht zuletzt ebenfalls infolge der Kritik Kants (1781) entstanden sind. Hier sind insbesondere die *induktiven Metaphysiken* von G.T. Fechner (1848, 1851) und H. Lotze (1879, 1883) ins Feld zu führen, die insofern als kritisch zu werten sind, als man hier auf induktivem Wege versucht, von wissenschaftlichen Einzelergebnissen unmittelbar auf ein *universales Weltbild* zu schließen. Natürlich ist es unzulässig, aus wissenschaftlichen Einzelbeobachtungen induktiv auf metaphysische Aussagen zu schließen. Demgegenüber operieren wissenschaftliche Metaphysiken weder in einem rein deduktiven noch in einem rein induktiven Modus. Vielmehr sind für sie das Wechselspiel zwischen rationalistischen und empiristischen Momenten, und damit ein *Ratio-Empirismus* bestimmend,²⁶⁴³ wie er gerade für die metaphysischen Programme Whiteheads (1929a) und Bunge (1977a) kennzeichnend ist:²⁶⁴⁴

»Reason and experience are each necessary but insufficient to understand the world. [...] [U]nchecked speculation and blind empirical trial are equally barren. [...] [A]n adequate philosophy of factual science and technology, one that is both true and fruitful, combines the true features of rationalism and empiricism. We call this synthesis 'ratio-empiricism' [...].«²⁶⁴⁵

Zugleich wird gerade auch anhand dieses *Ratio-Empirismus* deutlich, dass strikt zwischen wissenschaftlicher Metaphysik und der *Modalmetaphysik* der Analytischen Philosophie zu differenzieren ist. Es ist keineswegs wegweisend, auch die wissenschaftliche Metaphysik unter die analytische Metaphysik subsumieren zu wollen, wofür es gleich drei zentrale Argumente gibt: (i) Letzterer fehlt gerade das empiristische Moment, womit sie mit Verweis auf Pkt. 3.3 nicht jene metaphysische Klammer bilden kann, die für eine integrierte Ontologiekonzeption einzufordern ist.²⁶⁴⁶ (ii) Daneben ist analytische Metaphysik zuvorderst als *deskriptive Metaphysik* zu verstehen, während techno-wissenschaftliche

²⁶⁴³ Rein empiristische Positionen, wie Einstein (1934) sie bereits in grundsätzlicher Absicht kritisiert hatte, sind genauso unhaltbar wie rein rationalistische Positionen, wie sie sich in Form der reinen und exakten Metaphysik darstellen. Was zählt, ist der *Ratio-Empirismus*, und mit ihm die wissenschaftliche Metaphysik. Damit löst sich zugleich die alte, für viel Verwirrung sorgende wissenschaftstheoretische Debatte um den *Empirismus vs. Realismus* von selbst auf, vgl. hierzu etwa Dilworth (2006: 9 ff.). Der Positivismus ist in seiner Ablehnung aller Metaphysik gescheitert, aber in seiner Zielsetzung letztlich durchaus mit der wissenschaftlichen Metaphysik vereinbar; neben dem Empirismus ist der Realismus mit dem *Ratio-Empirismus* der wissenschaftlichen Metaphysik gesetzt.

²⁶⁴⁴ Während bei Kant nur die Methode empirisch ist, nicht aber der Aussageninhalt, ist in Whiteheads *Ratio-Empirismus* Methode und Aussageninhalt von empirischer Natur, vgl. hierzu Stace (1949). Vgl. zum *Ratio-Empirismus* bei Whitehead ferner Gare (1999), insbes. p. 138.

²⁶⁴⁵ Bunge (1996: 322).

²⁶⁴⁶ Vgl. hierzu auch Fn. 2038.

bzw. wissenschaftliche Metaphysik immer *revisionäre Metaphysik* ist (et v.v.). (iii) Die analytische Metaphysik ist völlig anders konzipiert als die wissenschaftliche, als sie in ihrer Eigenart als *Modalmetaphysik* prinzipiell auf *mögliche Welten* bezogen ist und nicht wie die zweite auf die aktuelle. Diese aber muss die Basis bilden, indem mit Sider (2012: 266) gilt: »At bottom, the world is an amodal place«. Anders gewendet muss es bei den fundamentalen Strukturen und den Kategorien zunächst einmal um jene der aktuellen Welt gehen, womit das Ganze unmittelbar realitätsbezogen zu konzipieren ist. Es geht also bei dieser Basis samt Bodenhaftung der Metaphysik um genau das, was Popper *Welt 1* nennt, und diese ist – wie die *Welt 4* – in der Tat *an sich amodal*.

Das heißt keineswegs, dass die Modalmetaphysik keine Rolle spielt; das kann sie tatsächlich selbst im Sinne wissenschaftlicher Ergänzung. Nur kann sie – etwa entgegen Williamson (2013) – weder die Orientierung für die Konzeption einer universalen Metaphysikkonzeption vorgeben noch den primären Modus der Metaphysik darstellen. Analoges gilt für eine auf sie abstellende TLO-Konzeption. Die Modalmetaphysik wird benötigt für die W2- und W3-Ontologie, womit sie in die techno-wissenschaftliche Metaphysik (Klasse 4) zu inkorporieren ist und genauso in einer darauf aufbauenden *Top-level Ontologie*. Nicht umsonst findet sie sich bereits bei McCarthy/Hayes (1969); ebenso ist sie für Simons (1969) *Sciences of the Artificial*, etwa für die AL-Forschung, wie auch für andere Zwecke unerlässlich.²⁶⁴⁷ In Klasse-3-Metaphysiken wie der Bungeschen (1977a) ist ihre Inkorporation jedoch nicht denkbar, weil diese strikt auf den wissenschaftlichen Gesichtspunkt und damit auf die aktuelle Welt ausgelegt sind. Wohl aber in Klasse-4-Metaphysiken wie der Whiteheadschen (1929a), die auf Basis ihres metaphysischen Logizismus als technologische bzw. digitalistische Ansätze alle Belange des Cyberspace zu berücksichtigen vermögen.^{2648, 2649} Im Cyberspace geht es immer um *mögliche Welten*, womit modalmetaphysische Modi mitsamt einer *Mögliche-Welten-Semantik* einzufordern sind, wie sie CYPO FOX mit Verweis auf Pkt. 6.2.4 vorsieht. Mit Klasse-4-Metaphysiken werden entsprechend alle alten Metaphysiktypen obsolet; denn die jeweils positiven Aspekte von Klasse-1- bis Klasse-3-Metaphysiken sind hier eingegangen. Das gilt insofern, als sich Klasse-1- und Klasse-2-Metaphysiken als rein logische Spekulationsmodi primär durch die W2-Ontologie bzw. in Artefaktform durch die W3-Ontologie abgedeckt zeigen, während Klasse-3-Metaphysiken analog in der W1- bzw. W4-Ontologie aufgehen. Insofern benötigt

²⁶⁴⁷ Mit McCarthy (1977: 1041) gilt: »Knowledge is not the only operator that admits modal treatment. There is also belief, wanting, and logical or physical necessity. For AI purposes, we would need all the above modal operators and many more in the same system«.

²⁶⁴⁸ Whiteheads kosmologische resp. wissenschaftstheoretische Positionen sind aus der Sichtweise des Mathematikers erschaffen; um sie richtiggehend zu interpretieren, sind sie auch entsprechend in einer mathematischen Denkweise zu erschließen, vgl. hierzu auch Harrah (1959), Mays (1961), Palter (1961), Wassermann (1990) sowie Ernest (2000).

²⁶⁴⁹ In der Whiteheadschen Metaphysik ist ein *metaphysischer Logizismus* inkorporiert; die mathematische Logik steht explizit hinter Whiteheads Prozessmetaphysik, vgl. Whitehead (1929a: 3, 90 f.; 1937: 186); vgl. hierzu auch Urban (1941: 310).

die Metaphysik nicht mehr als diese Synthese, indem sich bei CYPO FOX alle metaphysischen Sachverhalte integrativ behandeln lassen.

Somit zeigt gerade der *Ratio-Empirismus* die Defekte mancher Metaphysikkonzeption auf, und es ist dieser, in dem implizit mit Einstein (1934) oder Bunge (1996) die einzig richtige Antwort auf Kants (1781) berechnete *Kritik der reinen Vernunft* besteht. Alle nicht an ihm orientierte Metaphysik ist inferior in dem Sinne, als sie weder die *allgemeine* Bezugsbasis für die formale Ontologie wie im Zeichen der Logikkalküle für die formale Logik noch für die Epistemologie und Methodologie bilden kann. Damit ist sie aber auch für die Wissenschaften letztlich belanglos und im Sinne von Poppers (1979) Selektionsprozessen insgesamt zu verwerfen. Das gilt für die oben genannten Ansätze *induktiver Metaphysik* genauso wie letztlich für die rein-spekulative *Mögliche-Welten-Metaphysik* der Analytischen Philosophie. Was bleibt ist die These, dass allein Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken mit ihrem *Ratio-Empirismus* für eine generell verteidigbare Metaphysik in Frage kommen. Doch läuft diese Selektion mit der elementaren Stellung der Strukturwissenschaften, allen voran der Informatik, schließlich auf Klasse-4-Metaphysiken hinaus.

Dabei erweisen sich beide höchsten Klassen insofern als *spekulativ*, als sie auf *Kategoriensysteme* zielen, die erst eine *universale Ontologie* ermöglichen. Hierbei gilt, dass die Metaphysik auf die Totalität *qua Totalität* zielt;²⁶⁵⁰ sie versucht das Ganze zu erfassen und auf der Suche nach Letztbegründung in fundamentaler Weise kritisch zu hinterfragen.²⁶⁵¹ Sie gelangt in diesem Unterfangen stetig an die Rationalitätsgrenzen der reinen Vernunft und geht auch insofern sehr deutlich über die Ontologie als *metaphysica generalis* hinaus.²⁶⁵² In diesem spekulativen Sinne ist nicht nur Whiteheads (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« zu sehen, sondern auch, dass die *Metaphysik* für die Wissenschaften in einem solchen Wechselspiel mit Kant (1781) als *Zensoramt*, mit Agassi (1976) als *regulative Idee*, mit Walsh (1967) als *externer Stimulus* oder mit Wartofsky (1967) als *Heuristik* fungiert. Entsprechend können nicht nur die empirischen Wissenschaften das Korrektiv zum Rationalismus der Metaphysik bilden; vielmehr gilt das im Zeichen eines echten Whiteheadschen (1933) "*interplay*" gleichermaßen in umgekehrter Richtung. Diese betont bereits F.C.S. Schiller (1895),²⁶⁵³ wenn er darauf hinweist, dass sich erst auf Basis der Metaphysik sämtliche fundamentalen Annahmen, die alle Wissenschaft voraussetzt, evaluieren lassen. Ähnlich vertritt Collingwood (1940) die Auffassung, dass die Metaphysik alle Voraussetzungen der Wissenschaften aufzudecken hat, wobei sich der Wissenschaftsbegriff in einem weiten Sinne auf alle organisierten Formen von Wissen bezieht. Auch sind die "*Really Big Questions*" (RBQs) auf Wheelers Agenda zweifellos alle-

²⁶⁵⁰ Vgl. auch Prigogine (1975: 292): »Ainsi la métaphysique peut-elle être caractérisée par l'importance accordée à la *totalité* qui nous inclut«.

²⁶⁵¹ Vgl. hierzu auch Manley (2009).

²⁶⁵² Vgl. hierzu auch Poli (2010a), insbes. p. 1.

²⁶⁵³ In ähnlicher Richtung argumentiert auch P. Frank (1948).

samt metaphysischer Natur.²⁶⁵⁴ Insofern ist es schon für W. Smith (1896: 256) ausgemacht, dass die Wissenschaften im Sinne von Whiteheads (1933) "interplay" nicht um eine metaphysische Fundierung umhinkommen: »Science, indeed, never escapes metaphysics«. Wenn der *Ratio-Empirismus* hingegen im Sinne einer empiristischen Universalsynthese in anderer Richtung verläuft, wird deutlich, dass die Metaphysik nicht nur als *philosophia prima*, sondern dito als *philosophia ultima* und damit im zirkulären Sinne zu verstehen ist:

»Ontology needs the achievements of all the sciences if it is to accomplish its aims. Even if we accept the Philosopher's claim that, by virtue of the problems it addresses, ontology is *philosophia prima* (first philosophy), then because of the answers it proposes ontology can be only *philosophia ultima* (last philosophy). In between there lies science.«²⁶⁵⁵

Im Gegensatz zur Monodirektionalität Bunges versteht Whitehead das »interplay between science and metaphysics« in diesem zirkulären Sinne, denn Whiteheads (1929a: 13) metaphysische Axiomatik, die naturgemäß nur *spekulative Metaphysik* sein kann,²⁶⁵⁶ ist Anfang und Ende in einem. Entsprechend gründet auch bei Whitehead (1929c: 123) die zur Realisierung kosmologischer Zwecke erforderliche transdisziplinäre Wissenschaft auf dieser *metaphysischen Axiomatik*, indem es gilt »to deduce scientific principles from *a priori* conceptions of the nature of things«. Insgesamt ist dieses zirkuläre Wechselspiel zwischen Wissenschaft resp. Technologie und Metaphysik aus dem Grunde als elementar zu erachten, weil sich anders weder ihre Einheit noch eine darauf bezogene Einheit des Wissens realisieren lässt.²⁶⁵⁷

Demnach sind Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken mit Albert (1968) *konstruktive und kritische Metaphysik*, wie sie schon bei Eisler (1929: 126) *kritische Metaphysik* ist, und grenzt sich auch damit zu allen tradierten dogmatischen Varianten, also zu den beiden tieferen Klassen, ab. Vor dem Hintergrund der wissenschaftlichen Metaphysik verkehrt sich Stegmüllers (1954: 5) These, wonach das »Problem der Metaphysik [...] absolut unentscheidbar« sei, entsprechend ins genaue Gegenteil. Indem deutlich wird, welcher tiefgreifenden Einfluss alle Facetten der Metaphysik für die Ontologie der Informatik haben, müssen im Zeichen des linguistischen Paradigmas regelmäßig vorgetragene Vorstöße wie jener Varzis (2011) zur *Separierung der Ontologie von der Metaphysik* absurd erscheinen.²⁶⁵⁸ Eine solche Separierung ist schon deshalb unmöglich, weil Ontologie immer *universale* Ontologie ist und als solche nach einem *universalen Kategoriensystem* verlangt,

²⁶⁵⁴ Wheelers RBQs weisen allesamt deutliche metaphysische Züge auf: (i) *How come existence?*; (ii) *Why the quantum?*; (iii) *A participatory universe?*; (iv) *What makes meaning?*; sowie (v) *It from bit?* Vgl. hierzu Baeyer (2005: 10 ff.); vgl. hierzu auch Wheeler (1990: 4), P. Davies (2004a) sowie die zahlreichen im gleichen Sammelband zu Ehren des Quantenphysikers Wheeler veröffentlichten Beiträge.

²⁶⁵⁵ Poli (2001a: 2).

²⁶⁵⁶ Vgl. hierzu A.E. Murphy (1941) sowie Ritchie (1941).

²⁶⁵⁷ Vgl. zu diesem Problem bereits Bertalanffy (1927b: 348): »Heute, wo die Wissenschaft in unendlich viele Spezialgebiete zersplittert ist, wird eine fruchtbare Zusammenarbeit der Einzelwissenschaften mit der Philosophie zu einem dringenden Bedürfnis. Die wissenschaftliche Arbeitsteilung [...] ist [...] leicht gefährlich, wenn sie nicht durch eine allgemeine und theoretische Verarbeitung der Einzelergebnisse ergänzt wird. Ähnliches gilt für die Philosophie: auch sie wird nur durch intime Zusammenarbeit mit der Spezialforschung und durch genaue Berücksichtigung von deren Resultaten lebensfähig bleiben, während sie ohne Anschluß an die Einzelwissenschaft nur allzu leicht in Formalismus erstarrt«.

²⁶⁵⁸ Vgl. hierzu bereits Walsh (1967).

das wiederum in seiner Abstraktion immer auf einen spekulativen Entwurf gründet.²⁶⁵⁹ Ontologie ohne Metaphysik würde somit entweder einen Verzicht auf eine kategoriale Grundlegung hinauslaufen, wie es bei Gruber (1993, 1995) auch der Fall ist. Oder man müsste versuchen, die *allgemeinste Theorie* im Sinne "induktiver" Metaphysik zu erschließen. Das ist mit Verweis auf den Methodenstreit um die induktive vs. deduktive Methode allerdings wissenschaftstheoretisch nicht zu rechtfertigen. Wie im klassisch-philosophischen Sinne ist Ontologie immer *metaphysische Ontologie*, und das muss sie sowohl in CM- als mit Blick auf das *Transdisziplinaritätsmoment* auch in AI-Hinsicht sein. Entsprechend ist mit *universaler Ontologie* die *allgemeinste Theorie* der Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken unabdingbar.

Was aber ist *allgemeinste Theorie* konkret? Man könnte es im Rückgriff auf Bunge (1971, 1973) bei der Beantwortung dieser Frage mit einem Syllogismus bewenden lassen, nämlich mit dem Hinweis, dass es sich dabei im Sinne von Eislers (1929: 126) "*Universal-synthese*" der allgemeinsten Ergebnisse der Einzelwissenschaften um die *wissenschaftliche Metaphysik* handelt. Natürlich ist das unstrittig; wissenschaftliche Metaphysik ist *allgemeinste Theorie* (et v.v.), *ex definitione*, doch inhaltlich ausgesagt ist damit noch nichts. – Mit Whitehead (1929a), Bunge (1971, 1973) und anderen Verfechtern wissenschaftlicher Metaphysik ist zu fordern, dass alle metaphysischen Fragen notwendig in den Kontext des *Ratio-Empirismus* zu rücken sind. Dieser ist als dialektischer Prozess rationalistischer und empiristischer Argumente zu verstehen. Der Rationalismus gelangt dabei insofern ins Spiel, als gilt, die *allgemeinste Theorie* im Sinne transdisziplinär gültiger Sachverhalte Schritt für Schritt zu entwickeln: Das läuft auf eine rationale Klärung, Verdichtung, logische Prüfung wie stetige Infragestellung der insgesamten Weltauffassung im Zeichen von McCarthys (1995) "*general world view*" im Sinne der fundamentalen Strukturen aller Welten einschließlich der Realität hinaus. Damit ist zu fragen: Ist das unter dem Regime eines Physikalismus, Naturalismus usf. auf direkter Basis der Einzelwissenschaften zu erledigen, wie es traditionell versucht wird? – Natürlich nicht, denn das ratio-empirische Procedere basiert nicht nur auf einer vollkommen anderen Methodik als jener der Einzelwissenschaften, sondern es wird auch eine gänzlich disparate Perspektive eingenommen: Mit gewöhnlicher *Pluri-, Multi-, Quer-, oder Interdisziplinarität* hat das Ganze nicht das

²⁶⁵⁹ Genauso abwegig ist die Idee Collingwoods (1940: 17 ff.), *Metaphysik ohne Ontologie* betreiben zu wollen: *Metaphysik* ist der *ratio-empirische* Prozess der methodisch spekulativen Erstellung des kategorialen Schemas mitsamt korrespondierender meta-ontologischer Kriterien. In der Ontologie gelangt dieses kategoriale Schema zur Anwendung, indem es ihre universalontologische, fundamentale Basis bildet. Darauf aufbauend ist *Ontologie* definiert als *semantisch explizit spezifiziertes formales Weltmodell*, wobei das unmittelbar aus der Metaphysik transformierte fundamentale Weltmodell in der *Top-level Ontologie* besteht. Indem die Ontologie ihre Zwecksetzung in der methodisch deskriptiven, transdisziplinären Repräsentation des Wissens über spezifisch abgegrenzte Welten erfährt, und allein auf diesem Wege die Richtigkeit des metaphysischen kategorialen Schemas als Totalentwurf erfahrbar wird, ist das eine vom andern nicht separierbar. Tatsächlich zeigt sich heute die Metaphysik durch die *Ontologie* dominiert, vgl. etwa Thomasson (2015).

Geringste zu tun; es geht um etwas grundsätzlich anderes, nämlich einen sämtliche Disziplinen von außen transzendierenden Ansatz, um *Transdisziplinarität*.

Dieses *Transdisziplinaritätsmoment* steht allen einzelwissenschaftlichen Imperialismen bzw. Reduktionismen diametral entgegen. Auf Basis seiner generalistischen Veranlagung werden für die allgemeinste Theorie sämtliche Spezifika aller emergentischen, gleichberechtigten Schichten im Sinne Hartmanns (1940) universal adressierbar, ohne diese dabei auf tiefere Schichten reduzieren zu wollen. Neben dem rahmengebenden Spektrum meta-ontologischer Fragen geht es dabei vor allem um den spekulativen Entwurf eines universalen Kategoriensystems, in dem allgemeine Kategorien wie Objekte, Prozesse, Ereignisse usf. differenziert und aufeinander bezogen werden. Bereits die an sich strittige Auswahl bzw. Spezifikation wie hierarchische Positionierung bzw. Bestimmung des relationalen Gefüges sämtlicher Entitäten verbietet jede enge einzelwissenschaftliche Sichtweise. Dieser rationalistische Part steht insofern im direkten Wechselspiel mit dem empiristischen Pendant, als er unmittelbar eine *Universalisierung* des letzten im Sinne von Eislers (1929) *empiristischer "Universalsynthese"* voraussetzt. Wenn sowohl die unmittelbare Relevanz als auch die Transformierbarkeit dieser transdisziplinär gültigen ratio-empirischen Sachverhalte in die *Top-level Kategorien* und die *Meta-Ontologie* der Top-level Ontologie außer Frage stehen, stellen sich die im Folgenden behandelten fünf elementaren Fragegruppen. Diese werden zunächst dargelegt und anschließend im Einzelnen erörtert. Allein der letzte Fragekomplex, der auf die Kernfrage hinaufläuft, worin eine solche *empiristische "Universalsynthese"* gerade mit Blick auf die Zwecke der Informatik konkret zu sehen ist, verlangt nach einer ausführlicheren Behandlung:

- i. Kann es vor dem Hintergrund von Eislers (1929: 126) *"Universalsynthese"* mit der allgemeinsten Theorie auf Basis des gegenwärtigen Stands der Wissenschaft überhaupt *ein* Kategoriensystem geben, das für sämtliche Schichten bzw. Wissenschaftsebenen Gültigkeit besitzt? Besteht unter der Annahme, dass eine Koexistenz alternativer Kategoriensysteme im Sinne unterschiedlicher Schwerpunktsetzung möglich ist, eine theoretische bzw. praktische Notwendigkeit, eine aktive Selektion der Kategoriensysteme zu forcieren? Welches Kategoriensystem wäre dann ggf. unter Annahme einer solchen Koexistenz vorzuziehen?
- ii. Wie stellt sich konkret der Widerstreit konkurrierender Kategoriensysteme im Zeichen des *Ratio-Empirismus* dar? Sind Metaphysiksysteme vor dem Hintergrund des *Ratio-Empirismus* fallibel? Wann würde ein Metaphysiksystem im Zeichen der *"Universalsynthese"* konkret als widerlegt gelten müssen?
- iii. Wie sind klassisch philosophische Kategoriensysteme zu beurteilen, die *nicht* im Zeichen eines rigorosen *Ratio-Empirismus* bzw. im Sinne des Whiteheadschen (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« *systematisch* die Auseinandersetzung mit dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft zur Sicherstellung einer längerfristigen Richtigkeit der *"Universalsynthese"* suchen? Handelt

es sich bei ihnen um rechtfertigbare metaphysische Systeme; wie verhalten sie sich zur wissenschaftlichen Metaphysik? – Indem diese Frage dabei vor dem Hintergrund des exorbitanten Stellenwerts präzisen, objektiven wissenschaftlichen Wissens resp. *wissenschaftlicher Ontologien* und der Tatsache, dass allen Top-level Ontologien *Kategoriensysteme* zugrundeliegen, zu sehen ist: hat die *Kritik der Top-level Ontologien* der Informatik nach den gleichen Prinzipien zu erfolgen wie die *Kritik wissenschaftlicher Metaphysik* der Philosophie?

- iv. Ist es vor dem Hintergrund einer "*Universalsynthese*" auf dem Stand gegenwärtiger Wissenschaft und der elementaren Bedeutung wissenschaftlicher Ontologien als problematisch zu werten, wenn Kategoriensysteme führender Top-level Ontologien im Zeichen des *Neo-Aristotelismus* stehen, und damit kaum im Zeichen heutiger wissenschaftlicher Schlüsseltheorien entwickelt sein können? Ist es problematisch, wenn linguistische Top-level Ontologien ihre Kategoriensysteme im Zeichen von *Common Sense Knowledge* entwickeln?
- v. Worin kann konkret die postulierte empiristische "*Universalsynthese*" bestehen, woran lässt sich diese unter Hinweis auf grundverschiedene Wissenschaftsfragen überhaupt festmachen? Was können die *allgemeinsten Ergebnisse der Einzelwissenschaften* konkret sein? Worin kann also ein *universales Wissenschaftsparadigma* bestehen? Wie ließe sich eine solch empiristische "*Universalsynthese*" aufbereiten, so dass sie im universalen resp. transdisziplinären Sinne tatsächlich Orientierung für den spekulativen Entwurf eines metaphysischen Kategoriensystems bieten kann? Inwiefern ist eine solche "*Universalsynthese*" mit Quines *Naturalismus* kompatibel, wenn die Informatik seit ihren Anfängen mit Mealy (1967) und McCarthy/Hayes (1969) wesentlich auf Quine rekurriert und McCarthy (2000: 45) das Quinesche Ontologiekonzept für die AI-Ontologie explizit für das passendste hält? Ist der Streit um die Substanz- resp. Objektontologie vs. Prozessontologie für eine solche "*Universalsynthese*" im Sinne des Ratio-Empirismus von Relevanz? Hat sich eine "*Universalsynthese*" auch auf technologische Systeme zu beziehen? Muss sie sich im Zeichen des *Ratio-Empirismus* in rationalistischer Hinsicht auch auf Steinharts (1998) *Digitale Metaphysik* wie in empiristischer auf Simons (1969) *Sciences of the Artificial* erstrecken?

Ad (i) lässt sich feststellen, dass es in der wissenschaftlichen Metaphysik generell eine Koexistenz konkurrierender Kategoriensysteme geben kann, solange es sich bei ihnen um in sich schlüssige, mit allen Anforderungen des *Ratio-Empirismus* vereinbare Systeme handelt. Die Systeme können sich nicht bezüglich gesicherter empiristischer Momente widersprechen; allerdings ist sehr wohl eine unterschiedliche Schwerpunktsetzung denkbar. Sie können als solche eine divergente Heuristik, regulative Idee oder einen externen Stimulus darstellen. Faktisch besteht eine solche Koexistenz wissenschaftlich-metaphysischer Kategoriensysteme mit den gänzlich disparaten Systemen Bunges (1977a) und Whiteheads

(1929a). Ungeachtet der Zweifel, die bei der Frage angebracht sind, ob das substanzorientierte System Bunge (1977a) tatsächlich mit den Schlüsseltheorien der modernen Wissenschaftspraxis vereinbar ist, verlangen die natürlichen Integrationsbelange der Informatik einen etwas anders gearteten Umgang mit der Koexistenz von Kategoriensystemen als die Philosophie. Denn mit der Informatik stellt sich sowohl in theoretischer als gerade auch in praktischer Hinsicht die Notwendigkeit, eine *aktive Selektion* der Kategoriensysteme zu forcieren. Eine stetige Koexistenz ist erforderlich für die Herausforderung tradierter Sichtweisen, verlangt dennoch jedes Mal aufs Neue ihre Auflösung. Entsprechend *muss* die Informatik als technologische Disziplin immer handeln, weil es ihre semantische Systemintegration nicht anders erlaubt, indem im Zuge von Integrationsszenarien entweder der richtige TLO-Ansatz zu wählen ist oder in systemübergreifenden Szenarien inkommensurable TLO-Ansätze grundsätzliche Probleme implizieren. Zwar gilt demgegenüber das Erfordernis der Auflösung koexistierender Kategoriensysteme für den Fortschritt der Philosophie eigentlich in gleicher Weise; allerdings ist es hier weitaus weniger drängend, indem keine unmittelbaren Probleme aus einer solchen Koexistenz resultieren. Diese Probleme entstehen also erst mit den Integrationsszenarien der Informatik bzw. mit der für sie zwingenden Auswahl des für spezifische technologische Anwendungsszenarien geeignetsten TLO-Theorieanwärters. Mit der faktisch gegebenen Koexistenz der diversen Kategoriensysteme muss es gelten, diese unter Einschaltung des *Ratio-Empirismus* komparativ zu analysieren und aktiv zu selektieren. Wenn keine Widersprüche zu empirisch eindeutigen Sachverhalten bestehen, ist jenes Kategoriensystem vorzuziehen, das in metaphysischer Hinsicht am besten mit den offensichtlichen fundamentalen Strukturen der Welten korrespondiert. In epistemologischer wie methodologischer Hinsicht ist zu evaluieren, inwiefern die einzelnen Systeme der Einheit der Erkenntnis zuträglich sind, den transdisziplinären Integrationsbelangen zur Einheit der Wissenschaften entsprechen, und schließlich die Einheit des Wissens fördern. Auf der Ebene der TLO-Kategoriensysteme spielen eine Reihe weiterer Erwägungen eine Rolle, etwa die CEP-Vereinbarkeit der TLO-Kategorien.

Ad (ii) ist herauszustellen, dass zwar in vielen Disziplinen konkurrierende wissenschaftliche Paradigmen bestehen, die auch im wissenschaftlichen Prozess notwendig sind, es jedoch mit der *Einheit der Natur* letztlich *nur eine allgemeinste Theorie* geben kann in dem Sinne, dass sich der eine Ansatz zu deren Entsprechung in allgemeiner Akzeptanz nachweislich besser eignet als der andere. Dieses Argument lässt sich mit Verweis auf Pkt. 5.1 jedoch nicht in Richtung des Quineschen Naturalismus verstehen; vielmehr zielt es auf universale Prinzipien emanzipierter Disziplinen, die es im Sinne einer emergentistischen Mehrebenenontologie gleichberechtigt zu adressieren gilt. Der Widerstreit konkurrierender Kategoriensysteme stellt sich im Zeichen des *Ratio-Empirismus* in spezieller Weise dar. Demnach gilt, dass mit Popper (1979) Metaphysik *an sich* kritikabel ist. Dabei ist besonders zu betonen, dass Poppers Metaphysikverständnis gerade nicht auf einen systematisch betriebenen *Ratio-Empirismus* abstellen kann, wie ihn Bunge und Whitehead ihrer Meta-

physik zugrundelegen. Wenn sich Popper explizit für das Whiteheadsche Metaphysiksystem ausspricht,²⁶⁶⁰ muss dies mit der fundamentalen Rolle, die die Metaphysik bei beiden besitzt, konsequent im Ganzen gesehen werden. Tatsächlich besteht nicht nur eine Deckungsgleichheit im Whitehead-Popperschen *Metaphysikverständnis*, sondern genauso in ihrem *Wissenschaftsverständnis*. Das zeigt sich schon insofern, als beide explizit für den kritischen Realismus eintreten. Entsprechend lässt sich vor diesem Hintergrund ein *Whitehead-Poppersches wissenschaftliches Metaphysikverständnis* begründen, das durch CYPO FOX nicht nur insgesamt in metaphysischer bzw. epistemologischer Hinsicht zugrundegelegt wird, sondern ebenso in methodologischer Hinsicht: Mit dem *Ratio-Empirismus* wissenschaftlicher Metaphysik werden auch ganze Metaphysiksysteme im Sinne hypothetisch-deduktiver Supertheorien mit Agassi (1964: 191 f.) bzw. Bunge (1983c: 85) in ihren Grundannahmen über erfahrungswissenschaftliche Theorien falsifizierbar.

Entsprechend haben metaphysische Systeme mit E.E. Harris (1965) mit der allgemein akzeptierten zentralen wissenschaftlichen Theorieerkenntnis zu korrespondieren. Mit Einstein (1934: 47) muss es zur Realisierung *wissenschaftlicher Metaphysik* gelten, genügend viele Sätze des Begriffssystems mit Sinnenerlebnissen hinreichend sicher zu verbinden, so dass metaphysische Aussagesysteme fallibel werden können.²⁶⁶¹ Diese Notwendigkeit steht für Whitehead (1933: 164) im Zeichen seines durch Popper geteilten kritischen Realismus außer Frage, wenn er feststellt: »Our metaphysical knowledge is slight, superficial, incomplete. Thus errors creep in«. Mit einem solchen Fallibilitätsmoment lassen sich Metaphysiksysteme nicht nur im *rationalistischen* Sinne Popperscher (1979) Metaphysikkritik selektieren, sondern – von Popper unberücksichtigt – auch im *empiristischen* Sinne des Popperschen (1963a, 1994c) *Kritischen Rationalismus*. Allerdings lässt sich dieser mit Blick auf die *"Universalsynthese"* nur sehr eingeschränkt im Kontext wissenschaftlicher Metaphysik praktizieren: ein Metaphysiksystem muss im Zeichen des Kritischen Rationalismus dann als widerlegt gelten, wenn es den davon direkt berührten unwiderlegten Hypothesen einer allgemein akzeptierten Schlüsseltheorie in maßgeblicher Hinsicht widerspricht. Allerdings bestehen die einzigen Theorien, denen eine allgemeine Akzeptanz unterstellt werden kann, in *naturwissenschaftlichen* Theorien, deren Funktion als wesentliches ontologisches Korrektiv bereits für den frühen Wittgenstein (1921) konstituierend ist.²⁶⁶² Es wäre indes verfehlt, daraus eine allgemeine Verzichtbarkeit von Metaphysik herzuleiten, an deren Stelle mit Quine (1981) ein expliziter *Naturalismus* treten würde. Auf dessen Kritik kommen wir in Pkt. 5.1 im Einzelnen zurück, doch sei hier bereits festgestellt: Ein Naturalismus ist weder *per se* als ontologisches Korrektiv noch als Ontologieersatz geeignet.

²⁶⁶⁰ Vgl. Popper/Eccles (1977: 7).

²⁶⁶¹ Vgl. hierzu auch Ogrodnik (2011).

²⁶⁶² Dieser Umstand ist indessen keineswegs notwendig gegeben; seine Ursache ist vielmehr in einer zuweilen höchst fragwürdigen Forschungspraxis zu suchen, die Theorie nicht sauber von Ideologie trennt. In diesem Sinne besteht kein ontologisches, sondern ein behebbares *methodologisches* Defizit.

Ad (iii) Alle Kategoriensysteme, ob in der Philosophie oder in der Informatik, sind immer Metaphysiksysteme resp. im Fall der *Top-level Ontologie* metaphysisch fundierte Systeme. Das gilt selbst im Falle von Kants (1781) Denk-Kategorien, weil auch solche im Kontext der Epistemologie nicht ohne metaphysische Fundamentalannahmen umhinkommen: Wie bereits N. Hartmann (1921) in seiner *Metaphysik der Erkenntnis* betont, ist bei einer Annäherung an epistemologische Fragen zu beachten, dass alle Erkenntnistheorie immer notwendig die Voraussetzung metaphysischer Annahmen involviert. Ob nun explizit oder implizit, Metaphysik ist immer im Spiel, unabhängig davon, ob ein metaphysischer Realismus oder ein metaphysischer Idealismus vertreten wird, oder damit zusammenhängend ein Realismus oder Konstruktivismus. Insofern geht es nicht nur bei Aristoteles' ([Met.]) *Metaphysik*, sondern auch bereits bei Aristoteles' ([Cat.]) *Kategorienlehre* um Metaphysik. Denn ontologische Kategorien mögen zwar im Sinne Wolffs (1730) allein der *metaphysica generalis* entsprechen, sind aber als ganzes Kategoriensystem notwendig spekulativ wie deduktiv und damit metaphysisch. Tatsächlich sind sie gerade nicht im Sinne der oben erwähnten, seit langem *ad acta* gelegten induktiven Metaphysik verstehbar, und lassen sich demnach entgegen Varzi (2011) auch nicht von der Metaphysik separieren. Indem alle Kategoriensysteme entweder Metaphysiksysteme oder metaphysisch fundierte Systeme darstellen, sind sie auch in die oben im Anschluss an Bunge (1971, 1973), Capek (1972) bzw. Laszlo (1976) unterschiedenen *vier Klassen von Metaphysiken* einordbar, die zur Ordnung jeder Metaphysikdiskussion heranzuziehen sind. Dann wird schnell deutlich, dass es sich bei den meisten der in Philosophie wie in der Informatik verwendeten Kategoriensysteme gerade nicht um solche handelt, die im Zusammenhang mit einer *wissenschaftlichen Metaphysik* stehen. Denn sie entsprechen nicht den allgemein akzeptierten Anforderungen wissenschaftlicher Metaphysiksysteme, wie sie oben mit Bunes (1971) sechs Punkten dargelegt wurden. Sie stehen nicht im prozeduralen Zusammenhang des *Ratio-Empirismus* von Klasse-3-, geschweige denn Klasse-4-Metaphysiken.

Vor allem ist die Mehrzahl der Kategoriensysteme nicht auf ein stetiges »interplay between science and metaphysics« im Whiteheadschen (1933: 164) Sinne angelegt. Die meisten Kategoriensysteme stehen nicht im Zeichen des *Ratio-Empirismus*, zumindest nicht in dem Sinne, dass eine aktive wie systematische Auseinandersetzung mit dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft zur Sicherstellung dauerhafter Richtigkeit der "*Universalsynthese*" gesucht wird. Das ist mit Sowa (2000) selbst bei jenem TLO-Kategoriensystem nicht systematisch berücksichtigt, das unmittelbar auf der Whiteheadschen Metaphysik aufbaut, die als Klasse-4-Metaphysik strikt diesem Wechselspiel verpflichtet ist. Daraus ist zu folgern, dass in keiner Weise gewährleistet ist, dass solche Kategoriensysteme den Belangen *universaler Ontologie* tatsächlich dauerhaft entsprechen. Das ist insofern nicht unproblematisch, als solche TLO-Systeme gerade auch auf die Wissensrepräsentation *techno-wissenschaftlicher* Sachverhalte abzielen. Tatsächlich muss dies mit Verweis auf die in Pkt. 3.2.3 festgestellte exorbitante Bedeutung präzisen, objektiven wissen-

schaftlichen Wissens, das es gerade auch in seiner Funktion als Korrektiv in einer integrierten Wissensontologie besitzt, überaus problematisch erscheinen. Denn präzises, objektives wissenschaftliches Wissen kann nur dann eine solche Korrektivfunktion ausüben, wenn es sachgerecht, d.h. wissenschaftsadäquat repräsentiert ist. Dabei spielen die fundamentalen Kategorien wie auch die ganze Systematik des kategorialen Repräsentationssystems eine primäre, alles entscheidende Rolle. Vor diesem Hintergrund wird klar: die *Kritik der Top-level Ontologien* der Informatik hat offenbar nach genau den gleichen Prinzipien zu erfolgen wie die *Kritik wissenschaftlicher Metaphysik* der Philosophie. Wenn Little/Laskey/Janssen (2007) konstatieren: »an upper ontology provides a type of *assumed god's eye view of reality, independent of human observations*«,²⁶⁶³ ist dies nicht nur deutlich zu relativieren, sondern mit Verweis auf den *Ratio-Empirismus* letztlich falsch. Das gilt zumal diese Auffassung leicht mit dem alten, gerade durch Kant kritisierten metaphysischen Standpunkt der Klasse-1- und Klasse-2-Metaphysiken verwechselt werden kann. Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass bei den TLO-Ansätzen darüber hinaus in nachgeordneter Weise eine technologische Kritik etwa der maschinenlesbaren Umsetzung, der Diffusion usf. zu vollziehen ist.

Ad (iv) Kategoriensysteme, die im Zeichen eines *Neo-Aristotelismus* stehen, entsprechen in ihrem Kern einer über zweitausend Jahre alten Denklogik. Das mag unter dem Gesichtspunkt der Bewährung als Vorteil erscheinen, muss aber mit Blick auf viele wissenschaftlich relevante Detailfragen letztlich kritisch erscheinen. Denn dieser Kern steht im Zeichen des *Ratio-Empirismus* – genauso wie später bei Leibnizens prozessualisierten Substanzen – zwangsläufig jenseits sämtlicher Erkenntnis, die im Zuge wissenschaftlicher Schlüsseltheorien wie der Evolutions-, Relativitäts- und Quantentheorie oder der Theorie dissipativer Strukturen bzw. der Nichtgleichgewichtsthermodynamik gewonnen werden konnten. Ungeachtet des großen Gespürs für diese Entwicklungen, das Aristoteles wie später Leibniz als letztem Universalgelehrten zuzusprechen ist, bauen alle in dieser Tradition stehenden Metaphysik- bzw. TLO-Systeme auf einem Fundament auf, das mit Verweis auf Pkt. 6.1.1 in seiner Substanzzentrierung weder den Belangen moderner Wissenschaft noch jenen der Technologie entspricht. Mit dem *Ratio-Empirismus* von Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken steht die Relevanz wissenschaftlicher Schlüsseltheorien für den metaphysischen Diskurs außer Frage (et v.v.). Mit dem *Ratio-Empirismus* setzt sich die wissenschaftliche Metaphysik erfahrungswissenschaftlicher Kritik aus und ist somit letztlich fallibel. Dass diese enge Interdependenz tatsächlich besteht, zeigen die zahlreichen Schlussfolgerungen insbesondere von Physikern wie Schrödinger, Heisenberg bzw. Weizsäcker oder von Physikochemikern wie Prigogine, die allesamt unmittelbare metaphysische Relevanz besitzen.²⁶⁶⁴ Wissenschaftlich metaphysische Theorien müssen sich im

²⁶⁶³ Vgl. Little/Laskey/Janssen (2007: 34), Hvh. des Verf.

²⁶⁶⁴ C.F. von Weizsäcker (1958: 201) stellt entsprechend fest, dass es nicht nur »ein empirisches Faktum« ist, »daß fast alle führenden theoretischen Physiker unserer Zeit philosophieren«, sondern auch, »daß die moderne Physik ohne Philosophie nicht adäquat verstanden werden kann«.

Sinne des Whiteheadschen "Interplay" ständig an anerkannten Schlüsseltheorien bewähren; sie können also nicht im fundamentalen Widerspruch zur Evolutions-, Quanten- oder Relativitätstheorie stehen, genauso wenig wie zur Nichtgleichgewichtsthermodynamik. Die Physik der Cyber-Physik wird mit dem nachfolgenden Pkt. 4.2 entsprechend grundsätzlich durch die "*New Physics*" gestellt.

Vor diesem Hintergrund wäre es inakzeptabel, die *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, die mit dem *U-PLM-Referenzszenario* produzierenden PLM-relevanten Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der chemischen Prozessindustrie oder der Biotechnologie entsprechen muss, auf *Top-level Kategorien* gründen zu lassen, die nicht dezidiert den Anforderungen *techno-wissenschaftlicher Metaphysik* entsprechen. Also auf TLO-Kategorien, die nicht über einen *Ratio-Empirismus* abgesichert sind, mit dem regelmäßig zu prüfen ist, inwiefern alle fundamentalen Kategorien wie sämtliche meta-ontologischen Aspekte nicht im Widerspruch zum gegenwärtigen Stand der Wissenschaft und Technologien stehen. Mehr noch: mit Verweis auf die sicherheitskritischen Prozesse solcher Industrien und der besonderen Bedeutung wissenschaftlicher Ontologien sind solche Kategoriensysteme wie alle darauf bezugnehmenden *Top-level Ontologien* strikt abzulehnen, wenn sie den systematischen Anforderungen techno-wissenschaftlicher Metaphysik resp. des wissenschaftsorientierten Ratio-Empirismus nicht entsprechen. Indem weder neo-aristotelische TLO-Kategoriensysteme noch solche, die als linguistische Top-level Ontologien ihre Kategoriensysteme im Zeichen von *Common Sense Knowledge* begründen, diesen Anforderungen entsprechen, sind daraus entsprechende Konsequenzen zu ziehen. Es bedarf also einer CPSS-adäquaten TLO-Konzeption.

Ad (v) Wird der *Ratio-Empirismus* konsequent ausgelegt, muss es auch eine *rein empiristische "Universalsynthese"* geben. Damit stellt sich die Frage, worin diese "*Universalsynthese*" konkret besteht: Diese besitzt dabei nicht nur eine ontologische, sondern auch eine epistemologische wie methodologische Dimension, zu denen in dieser Reihenfolge Stellung zu beziehen ist. Gewiss kann es bei einer *empiristischen "Universalsynthese"* nicht unmittelbar um *disziplinär-materiale Inhalte* gehen, weil diese nicht nur zwischen den Disziplinen grundsätzlich differieren bzw. sich zumeist in dieser Form in anderen Disziplinen gar nicht finden. Vielmehr ändern sich diese im Zuge neuer Entdeckungen in den einzelnen Disziplinen beständig. Entsprechend ist eine *empiristische "Universalsynthese"* im Sinne der erwähnten induktiven Metaphysik in keiner Weise erzielbar. Bezogen auf die Inhalte wird somit deutlich, dass mit Pkt. 5.1 auch der Quinesche *Naturalismus* i.e.S. keine Option zur Realisierung einer "*Universalsynthese*" darstellen kann. Jenseits der weiter unten aufgegriffenen strukturwissenschaftlichen Aspekte, die insbesondere den methodologischen Naturalismus auszeichnen, repräsentiert auch der *Naturalismus* i.e.S. disziplinär-inhaltliche Gesichtspunkte. Tatsächlich laufen diese dem eigentlich entscheidenden Transdisziplinaritätsmoment wie dem Aspekt universaler Ontologie zuwider. Natürlich ist die *empiristische "Universalsynthese"* im Zeichen des Whiteheadschen (1933: 164) »interplay

between science and metaphysics« anders zu verstehen, nämlich in der Weise, dass der rational-spekulative kategoriale Entwurf allgemeinsten Theorie eine auf sämtliche Disziplinen in gleichberechtigter Weise bezogene universale empirische Orientierung einfordert.

Bei der "*Universalsynthese*" kann es entsprechend nicht um Konkreta, sondern nur um Abstrakta gehen. Auf dieser Ebene wird deutlich, dass sich sehr wohl universal gültige Sachverhalte finden, die sich in zwei unmittelbar zusammenhängende Gruppen einteilen lassen: (i) in eine *Gruppe der Strukturaspekte*, zu deren *universalen Kategorien* in loser Aufzählung unter anderem folgende gehören: Entität – Objekt – ewige Objekte – Objektlebenszyklen – Relation – Teil/Ganzes – Raum/Zeit – Struktur – Form – Ordnung – Stabilität – Wandel – Kritizität – Chaos. (ii) Ferner gibt es eine damit unmittelbar verkoppelte zweite *Gruppe der Komplexitätsaspekte*, zu deren – mit den erstgenannten vielfach zusammenlaufenden – *universalen Kategorien* wiederum in loser Aufzählung unter anderem folgende gehören: Kreativität – Aktivität – Selbstorganisation – Lebenszyklus – System/Umwelt – Randbedingungen – Interaktion – Komplexität – Ereignis – prozessuales Ereignis – Prozess – Indeterminismus – Kontingenz – Zeitpfeil/Irreversibilität – Historizität/Pfadabhängigkeit – Emergenz – Neuerung – Evolution – Selektion – Adaption – Vergehen – Trajektorie. Mit (i) und (ii) steht damit außer Frage, dass eine solche an Abstrakta orientierte *empiristische "Universalsynthese"* allein auf Basis von Forschungsprogrammen bzw. Wissenschaftsdisziplinen entwickelbar ist, die den *empirischen* Wissenschaften wie den Technologien selbst sachlogisch übergeordnet sind.

Das sind mit Verweis auf (i) die formalwissenschaftlich orientierten *Strukturwissenschaften*,²⁶⁶⁵ deren "Urform" mit B.-O. Küppers (2008: 315) in der *Mathematik* besteht. Das gilt vor allem einschließlich der mathematischen Logik, indem die Strukturwissenschaften im Zeichen von Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* lange vor dem eigentlichen Bourbaki-Programm begründeten *ontologierelevanten mathematischen Strukturalismus*,^{2666, 2667, 2668} aber auch des aus diesem hervorgegangenen *wissenschaftstheoretischen*

²⁶⁶⁵ Vgl. hierzu etwa Hedrich (1990, 1994) sowie Küppers (2000); von *Strukturwissenschaft* wird indessen schon bei A. Müller (1922) gesprochen. Strukturwissenschaften studieren mit C.F. von Weizsäcker (1974: 22) »Strukturen *in abstracto*, unabhängig davon, welche Dinge diese Strukturen haben, ja ob es überhaupt solche Dinge gibt«. Dabei klassifiziert er selbst die Physik als Strukturwissenschaft, *ibid.*, S. 24, wobei er konkret in der *Quantenmechanik* eine *fundamentale strukturwissenschaftliche Theorie* erblickt, *ibid.*, S. 152 ff., 467.

²⁶⁶⁶ Letztlich ist der Ursprung des *mathematischen Strukturalismus* in der in Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* dargelegten *Relationstheorie* zu sehen. Wesentlich für Genese der Strukturwissenschaften ist Russell (1927a), der insgesamt von großem Einfluss auf Carnap war, sowie Carnap (1928a) selbst, der die Strukturwissenschaft im Zeichen der *Mathesis universalis* resp. *Scientia generalis* bei Leibniz deutet. Dabei baut Carnaps (1929) Relationstheorie auf Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* auf, wobei eine Relation durch ihre *strukturellen Eigenschaften* charakterisiert ist, vgl. Carnap (1929: 54). Für Carnap haben die Begriffe der Struktur und der strukturellen Eigenschaften »eine große Bedeutung in logischer, erkenntnistheoretischer und allgemein-wissenschaftlicher Hinsicht«, *ibid.*, S. 55. Die Strukturwissenschaft steht bei Carnap (1928a) wie schon bei Leibniz ganz im Zeichen einer über die mathematische Logik verfolgten *Einheitswissenschaft*, mit dem entscheidenden Unterschied, dass diese bei Carnap nicht wie bei Leibniz auf der Metaphysik, sondern – in letztlich inkonsistenter naturalistischer Weise – auf dem Begriffssystem der Physik gründen soll.

Strukturalismus stehen.^{2669, 2670, 2671} Ferner gehört hierzu das *universale Systemparadigma*,²⁶⁷² das seinerseits als *logico-mathematische Theorie* verstanden sein will,²⁶⁷³ sowie das bereits

²⁶⁶⁷ Diese *Ontologierelevanz des mathematischen Strukturalismus* besteht insofern, als dieser die Mathematik nicht mehr auf Basis einzelner Typen von Objekten oder Klassen von Gegenständen im tradierten Sinne sieht, sondern als *Wissenschaft von den Strukturen*: »mathematics is the science of structure«, vgl. Shapiro (2000: 257). Mit Resnik (1997) und Shapiro (2000: 276 ff.) ist die Mathematik entsprechend als *Science of Patterns* aufzufassen, und auch dieser wesentliche Gedanke findet sich bereits bei Whitehead (1941b: 678): »Mathematics is the most powerful technique for the understanding of pattern, and for the analysis of the relationships of patterns«. In diesem Sinne ist auch Whiteheads (1929a) *Prozessmetaphysik* zu verstehen, weil auch diese im Sinne *mathematischer Strukturen* zu verstehen ist.

²⁶⁶⁸ Für das *Bourbaki-Programm* sind folgende Ausführungen Bourbakis (1950: 231) konstituierend: »[M]athematics appears [...] as a storehouse of abstract forms – the mathematical structures; and it so happens – without our knowing why – that certain aspects of empirical reality fit themselves into these forms, as if through a kind of preadaptation«; vgl. zum *mathematischen Strukturalismus* ferner Resnik (1997), Reck/Price (2000), Shapiro (2000) sowie Carter (2008).

²⁶⁶⁹ Vgl. hierzu speziell Balzer/Moulines/Sneed (1987); vgl. ferner zum *wissenschaftstheoretischen Strukturalismus* Suppes (1965, 2002), Sneed (1971, 1983), Suppe (1974), Stegmüller (1979a), Stegmüller/Balzer et al. (1982), Zelewski (1993), Diederich (1996), Moulines (1996, 2002b) sowie Balzer/Moulines (2000); heute findet das *strukturalistische Theorienkonzept* in praktisch allen Disziplinen Anwendung, vgl. hierzu Diederich et al. (1989, 1994). Der *wissenschaftstheoretische Strukturalismus* wird – in Abgrenzung zum tradierten, auf Sätze resp. Aussagen fixierten „*statement view*“ – zuweilen auch als „*non-statement view*“, also als *Nicht-Aussagenkonzept* bezeichnet, aber dieser Begriff ist mit Stegmüller (1979a: 1) mehrdeutig, vgl. auch Balzer/Moulines (2000: 6) sowie Moulines (2002b: 5).

²⁶⁷⁰ Dieser versteht sich explizit als Erweiterung bzw. Analogie zum Bourbaki-Programm: »The structuralist approach should be looked at as the *striving for an extension of the Bourbaki programme to science* [...]«, vgl. Stegmüller (1979a: 1), Hvh. im Orig.

²⁶⁷¹ Das *strukturalistische Theorienkonzept* beschreibt wissenschaftliche Theorien nicht als Satzmengen, sondern als in bestimmter Weise strukturiert, vgl. Diederich (1996) sowie Balzer/Moulines (2000: 6), nämlich als *komplexe Strukturen*, die ihrerseits aus einfacheren Strukturen bestehen, vgl. Moulines (2002b: 5). Theorien sind also nicht mehr als Systeme von Sätzen aufzufassen, sondern vielmehr als Gebilde, deren zentrale Bestandteile in mathematischen Strukturen bestehen, vgl. Stegmüller (1979b: 752); zwar bezieht sich Stegmüller hier – wie auch Sneed (1971), auf den er an dieser Stelle referenziert – explizit auf die *mathematische Physik*; allerdings wird in vielen Disziplinen mit durch Funktionen repräsentierten quantitativen Begriffen gearbeitet. So hat beispielsweise Zelewski (1993) das strukturalistische Theorienkonzept auf die ökonomische Produktionstheorie angewandt; vgl. für die ökonomische Theorie insgesamt Stegmüller et al. (1982). Im Strukturalismus werden *Strukturen* über mengentheoretische Prädikate beschrieben, vgl. Balzer/Moulines (2000: 6), vgl. dazu auch Balzer/Moulines/Sneed (1987: 14 ff.); er geht damit insofern auf Ideen von P. Suppes zurück, als Theorien durch mengentheoretische Prädikate axiomatisiert werden, wie es Suppes (1957: Ch. 12) ursprünglich dargelegt hatte, vgl. hierzu auch Suppes (1965); vgl. ergänzend Suppes (2002: 30 ff.). Der Strukturalismus sieht es als seine Aufgabe, »Klarheit über den inneren Aufbau von Theorien, über ihre Anwendungen sowie gegebenenfalls über die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen zu gewinnen«, vgl. Stegmüller (1986: 19). Im Zuge der rationalen Rekonstruktion von Theorien gelangt die mathematische Logik in zentraler Weise zur Anwendung, doch besteht hier insofern ein Dilemma, als diese Rekonstruktion auf formalsprachlichem Wege kaum möglich ist. Als Ausweg aus diesem Dilemma schlug Suppes vor, sich nicht *metamathematischer*, sondern *mathematischer* Methoden zu bedienen, *ibid.* S. 20. Metamathematische Rekonstruktionen sind stets im Symbolismus formaler Sprachen abgefasst, während nach Suppes mathematische Methoden auf eine – wie Stegmüller (1986: 21) es nennt – *informelle Formalisierung* hinauslaufen sollen; vgl. zur *informellen mengentheoretischen Axiomatisierung* resp. *informellen Axiomatisierung durch Definition eines mengentheoretischen Prädikats* Stegmüller (1973: 39 ff.). Entsprechend ist damit gemeint, dass eine Formalisierung nicht auf ein formalsprachliches Vorgehen zielt, sondern die logischen Ausdrücke der mathematischen Logik vielmehr »in ihrer üblichen umgangssprachlichen Bedeutung zu verstehen« sind, vgl. Stegmüller (1986: 21). Junktoren und Quantoren sind im Strukturalismus daher »keine Zeichen einer formalen Sprache, sondern bloße Abkürzungen«, *ibid.* Während die Verfechter des strukturalistischen Theorienkonzepts substanzielle Verbindungen zum mathematischen Strukturalismus sehen, werden diese zum Strukturalismus als sozial- und geisteswissenschaftlicher Forschungsrichtung allenfalls als entfernt gegeben erachtet, vgl. Moulines (1996: 1). Diese Sichtweise erscheint prinzipiell verfehlt: zum einen muss hinter allen strukturalistischen Bewegungen die mathematische Logik gesehen werden, zum anderen ist auf sie sämtlich der *prozessmetaphysische Logizismus* Whiteheads (1929a) anwendbar: Für den

in Pkt. 3.2.2 bzw. Pkt. 3.4 erwähnte *universale cyber-physische Evolutionsparadigma*,²⁶⁷⁴ das in der Informatik von genetischen Algorithmen bis zur Evolutionären Robotik reicht. Demgegenüber ist dies mit Verweis auf (ii) die ebenso formalwissenschaftlich orientierte *Komplexitätsforschung* resp. die *Theorie komplexer Systeme*. Indem mit Blick auf ihre Ordnungszustände *Struktur* zwingend *prozessual* verstanden werden muss, und für sie gerade Komplexitätsmomente entscheidend sind, handelt es sich nicht nur immer um *prozessuale Strukturwissenschaft*, sondern vielmehr fallen die Strukturwissenschaften letztlich in ihrem Kern mit der *Komplexitätsforschung* zusammen.²⁶⁷⁵ Wenn im Folgenden vor allem von dieser bzw. ihrer *Theorie komplexer Systeme* gesprochen wird, sind damit entsprechend immer auch die Strukturwissenschaften gemeint, auf die wir in Pkt. 6.1.2 im Rahmen der Debatte um *Form vs. Materie* nochmals gesondert zurückkommen.

Mit diesen Überlegungen steht insgesamt außer Frage, dass die *empiristische "Universalsynthese"* in Wissenschaft wie in Technologie allein in der *Komplexitätsforschung* bestehen kann. Allerdings ist dabei mit Verweis auf Pkt. 4.3 festzustellen, dass es höchst heterogene *Theorien komplexer Systeme* gibt, und dass nicht alle von ihnen für diese *"Universalsynthese"* unmittelbar in Frage kommen. Denn diese muss nach Maßgabe des Ratio-Empirismus insgesamt mit dem rationalistischen Teil techno-wissenschaftlicher Metaphysik korrespondieren. Hier ist die oben gemachte Feststellung elementar, dass eine tatsächliche Einheit aller Wissenschaften, aller Technologien und aller Praxis nicht etwa auf naturalistischer, sondern allein auf *digitalistischer* Grundlage möglich wird. Das heißt, in der techno-wissenschaftlichen Metaphysik ist Eislers (1929) *empiristische "Universalsynthese"* zwingend in den Kontext von Steinharts (1998) *Digital Metaphysics* zu stellen, damit sich der *Ratio-Empirismus* auch insgesamt universal darstellen kann. In diesem Sinne weist die *Theorie komplexer Systeme* eine *Kerntheorie* auf, und diese besteht in der *Automatentheorie*. Somit ist die Automatentheorie nicht nur mit Shannon/McCarthys (1956) *Automata Studies* Kerntheorie der Informatik, sondern genauso Kerntheorie der Komplexitätsforschung. Diese Feststellung ist nicht nur in metaphysischer, sondern auch in ontologischer Hinsicht von größter Bewandnis, indem sie auf die formale Repräsentationsfrage des Leibniz-Whiteheadschen Struktur- bzw. Automatenuniversums zurückweist. Natürlich resultieren daraus sowohl für die *TLO-Kategorien* als auch für die *Meta-Ontologie* umfassendste Implikationen, die jedoch im Zuge der bisherigen TLO-Forschung nicht adressiert

wissenschaftstheoretischen Strukturalismus bilden Theorien abstrakte Objekte; *Theoriennetze* evolvieren und die resultierenden Entitäten werden als *Theorienevolution* bezeichnet, vgl. Moulines (1996: 3, 11).

²⁶⁷² Vgl. Bertalanffy (1949a, 1949b, 1950a, 1950b, 1962, 1968, 1972a) sowie Bertalanffy et al. (1977).

²⁶⁷³ Vgl. Bertalanffy (1968: 259): »'General System Theory' [...] is a logico-mathematical field whose task is the formulation and derivation of those general principles that are applicable to 'systems' in general«.

²⁶⁷⁴ Vgl. hierzu Fn. 1609; vgl. darüber hinaus Vollmer (1992: 190): »Unser heutiges Weltbild ist durchweg evolutionär. Alle realen Systeme unterliegen der Evolution [...]. In dieser Perspektive ist das faktische Auftreten neuer Systeme mit neuen Eigenschaften selbstverständlich, evident; zu dieser Sicht gibt es überhaupt keine ernsthafte Alternative«.

²⁶⁷⁵ B.-O. Küppers (1991: 95) bezeichnet »den neuen Typ von Strukturwissenschaft« direkt »als Komplexitätstheorie«, womit die *Theorie komplexer Systeme* gemeint ist; vgl. zu dieser Kongruenz auch Hedrich (1990, 1991, 1994).

werden. Die Notwendigkeit einer *digitalistischen* Grundlegung ist dann unübersehbar, wenn außer Frage steht, dass jede Einheit der Wissenschaften nicht zuletzt in empiristischer Hinsicht auch Simons (1969) *Sciences of the Artificial* mit zu berücksichtigen hat. Mit der in Pkt. 4.6 behandelten Ontologie resp. *Metaphysik der Artefakte* wird deutlich, dass sich das *Komplexitätsparadigma als Universalsynthese* gerade auch auf technologische Systeme erstreckt. Das gilt nicht zuletzt für die CPS/MAS-Aspekte der Informatik.

Dass mit Pkt. 4.3 in der *Komplexitätsforschung* der einzig geeignete Mittler zur techno-wissenschaftlichen Metaphysik gesehen werden muss, wird jedoch nicht nur mit den elementaren Struktur- resp. Komplexitätsaspekten der oben genannten universalen Kategorien ersichtlich, die sich einheitlich für alle Wissenschaft und Technologie voraussetzen lassen. Wesentlich ist vor allem, dass dieser Mittler nur dann *empiristische "Universalsynthese"* sein kann, wenn er selbst nicht im zwingenden Verbund zur Metaphysik steht. Mit anderen Worten kann dieser Mittler nur dann das empirische Moment als Korrektiv zur Metaphysik darstellen, wenn es selbst nicht Metaphysik ist. Insofern wird deutlich, dass die *empiristische "Universalsynthese"* auf eine *methodologische Universalsynthese* hinauslaufen muss. In eben diesem Sinne lässt sich an die *Theorie komplexer Systeme* anschließen, die mit Mainzer (2007a) als »mathematical, empirical, testable, and heuristically economical methodology« zu definieren ist.²⁶⁷⁶ Genau in diesem Verständnis lässt sie sich im Rahmen des *Ratio-Empirismus* für Zwecke der *allgemeinsten Theorie* heranziehen. Mit Blick auf die Ausführungen in Pkt. 3.2.2, Pkt. 3.2.3 sowie Pkt. 3.2.4 muss diese *"Universalsynthese"* dabei sowohl für CM- wie AI-Zwecke nutzbar sein und vor allem auch dem integrierten postklassischen CM- und AI-Verständnis entsprechen. Dann erst wird die eigentliche Dimension ersichtlich, die die Komplexitätsforschung als *transdisziplinäres Forschungsprogramm* in sich birgt, wie es bereits durch Mainzer (1993) dargelegt wird.

Die komplexitätsorientierte *empiristische "Universalsynthese"* wird im Zuge der *allgemeinsten Theorie* entsprechend komplettiert durch eine *rationalistische "Universalsynthese"*, die ebenfalls komplexitätsorientiert ist. Somit besteht in der Komplexitätsperspektive die *Universalsynthese* für den *Ratio-Empirismus* insgesamt. Denn in der Tat ist alle wissenschaftliche Metaphysik komplexitätsorientiert. Das zeigen Whiteheads (1929a) und Bunges (1977a) Ansätze nur allzu offensichtlich, wenn sie im Zeichen systemischer Ontologie, Emergenz, Selbstorganisation und vor allem der Komplexität stehen. Dabei ist im Ratio-Empirismus die Richtung der Fundierung insofern unerheblich, als es sich im Whiteheadschen Sinne um ein Wechselspiel handelt, auch wenn mit Poser (2005) der eigentliche Ursprung der Komplexitätsforschung in der Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) zu verorten ist. Whiteheads Feststellung: »The complexity of nature is inexhaustible«,²⁶⁷⁷ die mit Rescher (1998) für kaum einen anderen Metaphysikentwurf wesentlich ist,²⁶⁷⁸ macht

²⁶⁷⁶ Vgl. Mainzer (2007a: 434), ohne Hvh. des Orig.

²⁶⁷⁷ Vgl. Whitehead (1929a: 106).

²⁶⁷⁸ Vgl. dazu im Einzelnen Rescher (1998: 7): »While philosophers of science, in specific, have been unable to avoid the conception entirely, the fact remains that the idea of complexity is effectively absent from

nicht nur einen Kern der Whiteheadschen Kosmologie aus. Vielmehr markiert sie das Systemische des Whiteheadschen Prinzips relationaler Ontologie,²⁶⁷⁹ das seine Kosmologie nicht nur als prozessuale Systemontologie,²⁶⁸⁰ sondern vielmehr als *Ontologie komplexer Systeme* charakterisiert. In jedem Fall gilt mit Whyte (1957b) für die Physik wie für alle übrigen Wissenschaften, dass sie auf Basis komplexer Systeme zu *Wissenschaften von den Ordnungsstrukturen* avancieren.²⁶⁸¹ Umgekehrt fordert die Komplexitätsforschung, die Realität als Prozess zu verstehen: »[B]y coming up with a workable (i.e., scientific) theory of complexity, we can hope to be able to internalize the experience of change by describing our collective reality as a process«,²⁶⁸² womit die Prozessmetaphysik gerade auch für *Scientific Ontologies* grundlegend wird. Das ist deshalb zu fordern, indem mit Hawking (2000: 29A) gilt: »the next century will be the century of complexity«. ²⁶⁸³ Damit stellt sich gerade vor dem Hintergrund des Whiteheadschen Werks für die Komplexitätsforschung die Frage, um welche Art von *Komplexität* es tatsächlich geht, wie sie durch den Physiknobelpreisträger und Komplexitätsforscher P.W. Anderson (1991: 9) explizit gestellt wird: »[I]t is a

most metaphysical systems – save for a few honorable exceptions such as those of Leibniz, Peirce, and Whitehead. The very term is missing from the standard philosophical dictionaries and encyclopedias. Nevertheless, it is clear that the world’s complexity has important implications and ramifications throughout the entire realm of our concerns – and actually not just in philosophy and in science, but also in everyday life. It impacts profoundly on our understanding of the world – as regards both our knowledge of its doings and the management of our affairs within it. The complexity of the things and situations we confront throughout our experience is one of reality’s most significant and portentous aspects, affording both opportunities and prospects of frustration for us«. Vgl. hierzu ferner Bunge (1962, 1963), H.A. Simon (1962) sowie Caws (1963).

²⁶⁷⁹ Vgl. dazu bereits Whitehead (1922b: 219): »[N]ature as a system is presupposed in the crimsonness of the cloud. But a system means systematic relations between the items of a system. Accordingly, you cannot know that nature is a system unless you know what these systematic relations are«.

²⁶⁸⁰ Diese Position wird etwa auch durch Apostel (1963: 87) vertreten: »The universe taken as cosmos is a system; cosmology is the study of the system-form of the whole«.

²⁶⁸¹ Vgl. Whyte (1957b: 351): »Physical theory has until now placed the primary emphasis on simple systems [...]. But research is increasingly concerned with complex systems [...], and here its aim is to discover the state of order which accounts for the observed phenomena. So in a generation or so physics may have to be interpreted as ‘the study of order’«. Haken (1988a: vii) und andere Komplexitätsforscher universalisieren diese Perspektive, indem sie feststellen: »Complex systems are ubiquitous, and practically all branches of science ranging from physics through chemistry and biology to economics and sociology have to deal with them«. Haken (1981b, 1984c, 1998) sieht dabei den Selbstorganisationsmechanismus aller komplexen Systeme als durch universale Prinzipien gelenkt; Haken (1998: 58) spricht gar von »general laws«. D.h. es ist prinzipiell irrelevant, auf welche ontische Sphäre sich diese beziehen: »[W]e shall ask whether there are general principles which govern self-organization irrespective of the nature of the individual subsystems which may be electrons, molecules, photons, biological cells, or animals. Or [...] synergetics can be considered as a search for universal mathematical models (of self-organization)«, vgl. Haken (1984c: 2). Mainzer (1992a: 231; 1992b: 275) konstatiert ähnlich: »Im Paradigma der Selbstorganisation« resp. in »einer *allgemeinen Systemtheorie komplexer dynamischer Systeme* werden die klassischen Grenzen zwischen belebter und unbelebter Natur relativiert und in analogen Modellen untersucht«. Mit Hawkins/Gell-Mann (1992: xv) erfordern sie damit einer neuen Methodologie: »Complexity is the quintessential interdisciplinary subject. Traditional disciplines have been very successful in discovering many of the laws of nature, including fundamental laws, by isolating and studying relatively simple systems or portions of systems. But there is a growing conviction in many areas that this approach is not adequate by itself, and that further understanding of the functioning of the real world requires a new methodology«.

²⁶⁸² Vgl. Casti (1992: 11).

²⁶⁸³ Hawking (2000) bezieht sich damit speziell auf eine endgültig vereinheitlichte Theorie der physikalischen Wechselwirkungen und damit auf die Komplexität im Universum.

matter of some urgency to decide whether ‘complexity’ is a part of physics – or even vice versa«. Sie lässt sich in doppelter Weise beantworten: einmal, so dass sie mit der Position Bunges konform geht und einmal, dass sie mit der Position Whiteheads korrespondiert. Die Relevanz besteht darin, dass beide Metaphysiksysteme von verschiedener Seite zur metaphysischen Begründung der Wissenschaften ins Spiel gebracht werden.²⁶⁸⁴ Im ersten Sinne gilt mit dem Physiker Atmanspacher (1994: 178): »Complexity is a concept that has its origin in physics and primarily relates to properties of the material world«. Die Richtigkeit dieser Aussage bezweifeln nicht nur Biologen wie Riedl (2000), wenn sie genau umgekehrt herausstreichen, dass die Physik sich als exakte Wissenschaft grundsätzlich von der Biologie lange Zeit gerade dadurch abhob, dass nur für »Biologen [...] Komplexität ein gewohnter Gegenstand [war]«. ²⁶⁸⁵ Vielmehr widersprechen auch andere Naturwissenschaftler implizit dieser Auffassung Atmanspachers, etwa wenn Prigogine (1987: 98) konstatiert: »Complexity is no longer limited to biology or human sciences: It is invading the physical sciences and appears as deeply rooted in the laws of nature«. ^{2686, 2687} In diesem alternativen zweiten Sinne stimmt auch C.F. von Weizsäcker (1974) implizit mit Whitehead darin überein, wonach Komplexität im Gegensatz zur Bungeschen Position im Zeichen der Strukturwissenschaften auszulegen ist, indem sie nur als solche universal zu verstehen ist. Dann aber macht Komplexität primär nicht am Grundstoff der Materie fest, sondern diese ist vielmehr anders, nämlich nicht naturalistisch, sondern digitalistisch zu fassen. Tatsächlich wird mit Pkt. 4.2 deutlich, dass der Komplexitätsaspekt erst im Zuge ihrer dritten Revolution echten Eingang in die Physik gefunden hat. Erst auf dieser Basis, die fundamental auf Whitehead und Russell zurückgeht, lässt sich die Physik sachgerecht als Disziplin komplexer Systeme fassen. Dazu ist mit Russell (1927a) auch die *Physik als Strukturwissenschaft* auszulegen, was auch der Sicht Carnaps (1928a) oder Eddingtons (1939) entspricht. Dabei ist mit Russell (1927a) nicht nur *Materie* als "system of events" zu erachten, sondern sie läuft in diesem Zeichen mit Whitehead (1919, 1929a) sowie C.F. von Weizsäcker (1974) auf einen anderen "Urstoff" hinaus, nämlich auf *Information*, was mit Blick auf die Frage des "general world view" der Informatik wesentlich ist. Denn anders sind ihre Cyber-physischen Systeme (CPS) nicht als echte *Systeme* zu fassen, die auf dem einheitlichen Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit beruhen. Dass Komplexität in der relationalen Form prozessualer Strukturen tatsächlich im Sinne des *Information Processing* zu denken ist, entspricht auch der Sichtweise Pagels' (1988: 68), wenn dieser herausstreicht: »The notion of complexity has its natural home in the world of computation«. Das *Internet of Everything* (IoX) verkörpert als *Real World Internet* somit *cyber-physisches "Reality*

²⁶⁸⁴ Während Christiaens (2001) die Bungesche Metaphysik präferiert, favorisieren Wartofsky (1967) sowie Riffert (2004) in dieser Sache Whitehead.

²⁶⁸⁵ Vgl. Riedl (2000: 1); vgl. hierzu auch B.-O. Küppers (1992: 243 ff.).

²⁶⁸⁶ Vgl. identisch Prigogine (1985a: 12); vgl. hierzu auch Haken (1982), Prigogine (1985c), Pullman (1996) und Bennett (2003).

²⁶⁸⁷ Vgl. exemplarisch als Anwendung R.E. Goldstein (1997).

Computing", womit Domänen wie die "*complex systems biology*" mit Simeonov et al. (2011) entsprechend zur *Biocomputation* avancieren:

»Everything that happens in (living) Nature is based on entropically driven interactions and self-assembly reactions. Their common characteristics are events. Interactions are continuous and everywhere; they are ubiquitous. An important aspect of interactions is their organization on a multiplicity of scales/viewpoints within the same context/location with different complexity levels and rhythms.«²⁶⁸⁸

Dass in der Ontologiefrage tatsächlich alles mit allem zusammenhängt, wird daran deutlich, dass es hier nicht nur um Cyber-physische Systeme (CPS) geht, die sich sowohl in der wissenschaftlichen wie technologischen Sphäre bewegen, sondern genauso die infrastrukturellen SEA-Aspekte ins Spiel gelangen. Denn Simeonov et al. (2011) verweisen explizit auf ereignisgesteuerte Architekturen – und auf das in Pkt. 6.2.1 behandelte *Complex Event Processing* (CEP). Auf dieser Grundlage lassen sich im neuen Paradigma der Informatik, das im Sinne des Leibnizprogramms mit seiner Einheit von *Scientia generalis*, *Mathesis universalis* und *Metaphysica* ihr ureigentliches Paradigma verkörpert, alle notwendigen Bausteine koppeln.²⁶⁸⁹ Das Erfordernis zu dieser Kopplung ist mit dem U-PLM-Referenzszenario der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* gegeben, wenn im Zuge der *Smart Enterprise Integration* (SEI) bei komplexen Produktentwicklungs- und –realisationsprozessen gleichzeitig dem Innovations- wie dem Präzisionsgedanken zu entsprechen ist. Tatsächlich werden mit der Komplexitätsforschung als Mittler die wissenschaftlichen Belange der *Semantic E-Sciences* durch die Informatik ebenso absorbierbar wie in technologischer resp. praktischer Hinsicht etwa jene Cyber-physischer Systeme. Auf Basis der Komplexitätsforschung lässt sich der Wissenschafts- und Technologiekomplex mit dem Metaphysikkomplex sowie dem über die *Top-level Ontologie* eröffneten Ontologiekomplex zur Wissensrepräsentation vereinheitlichen. Somit lässt sich mit dem neuen Paradigma der Informatik an ihr Leibniz-Whiteheadsches Ursprungsparadigma anschließen, indem sich folgende Zuordnungen zum universalen Leibnizprogramm vornehmen lassen:²⁶⁹⁰

²⁶⁸⁸ Simeonov et al. (2011: 193).

²⁶⁸⁹ Obschon sich diese Bausteine bereits bei Descartes finden, wird es erst bei Leibniz möglich, diese in universaler Weise zu koppeln. Das gilt auch dann, wenn die *Mathesis universalis* bereits bei Descartes nicht nur ontologisch, sondern zumindest implizit auch epistemologisch gedacht wird, vgl. Jamart (1996: 23). Denn der Gedanke der *Mathesis universalis* wird im Sinne einer *universalen formalen Logik* erst durch Leibniz begründet, vgl. Mittelstraß (1979); vgl. zur *Mathesis universalis* Leibnizens auch Marciszewski (1984: 525 ff.). Dabei wird die Logik, die durch Descartes noch als unfruchtbar erachtet wird, durch Leibniz rehabilitiert und zum bestimmenden Moment des Neuaufbaus der *Mathesis universalis* als *Scientia generalis* gemacht, vgl. Poser (1979: 310). Leibnizens Idee der *Mathesis universalis* zielt auf die Entwicklung einer Methode, die es ermöglicht, alle Fragen mit mathematischer Gewissheit beantworten zu können, ganz gleich ob diese physikalischer, metaphysischer oder sonstiger wissenschaftlicher Provenienz sind, vgl. Westerhoff (1999: 450). Leibniz kann somit die ursprüngliche Idee der symbolischen Mathematik zugeschrieben werden, vgl. Mahnke (1927). Darin besteht ein ganz elementarer Unterschied in der *Mathesis universalis* von Descartes und Leibniz, denn mit der auf den Ausdehnungsaspekt abstellenden Geometrie kann Descartes seinen Dualismus selbst nicht überwinden.

²⁶⁹⁰ Vgl. hierzu Leibniz (1683a: 511; 1686: 675; 1683b: 513 f.; 1683c: 527): »Logica est Scientia generalis. Mathesis [universalis] est Scientia rerum imaginabilium. Metaphysica est Scientia rerum intellectualium«; »Metaphysica, seu scientia causarum et effectuum«; »Mathesis Universalis tradere debet Methodum aliquid exacte determinandi per ea quae sub imaginationem cadunt, sive ut ita dicam Logicam imaginationis. Itaque hic excluduntur Metaphysica circa res pure intelligibiles, cogitationem, actionem«; »Scientia Generalis nihil aliud est quam Scientia de Cogitabili in universum quatenus tale est, quae non

Metaphysica – techno-wissenschaftliche Metaphysik / systemische Meta-Ontologie

Mathesis universalis – Theorie komplexer Systeme / mathematische Logik

Scientia generalis – TLO-fixierte AI- bzw. OE-Systematik / KR-Transdisziplinarität

Mit den erforderlichen semantischen Systemintegrationen bei kritischen Prozessen komplexer Systeme kommt die Informatik weder um die oben beschriebene Vereinheitlichung noch damit verbunden um den Rückgriff auf das Leibnizprogramm und seine Modernisierung durch das IMKO *OCF* umhin. Analoges gilt für die Erfordernisse Dritter, namentlich aller Wissenschafts-, Technologie- und Praxisdisziplinen mitsamt des höchst umfassenden Spektrums divergierender ontologischer AI-Belange. Auf einen Nenner gebracht lässt sich anders weder die transdisziplinär-semantische *Einheit des Wissens* noch eine ontologiegestützte Systemintegration in stabiler Weise realisieren, womit mit *CYPO FOX* anzuschließen ist.

Wie angedeutet, besitzt die "*Universalsynthese*" auch eine *epistemologische* Dimension. Auch in dieser Hinsicht besteht in der Komplexitätsforschung der adäquate Mittler zur techno-wissenschaftlichen Metaphysik, indem hinter der *Theorie komplexer Systeme* mit Mainzer (1993: 18) letztlich »die alte philosophische Frage nach der Einheit unseres Erkennens und Wissens« steht.²⁶⁹¹ Sie begründet das für die Ontologie elementare *Transdisziplinaritätsmoment*, das eine tatsächlich *universale Ontologie* einfordert, an der alle bisherigen TLO-Entwürfe scheitern. Die Komplexitätsforschung besitzt also offenbar selbst eine wesentliche *epistemologische* Dimension, die im Leibnizschen Sinne nichts als der Einheit, genauer seiner *Vielheit in der Einheit*, verpflichtet ist.²⁶⁹² Wesentlich für die Komplexitätsforschung ist somit die *Einheit der Erkenntnis*,²⁶⁹³ die jedoch mit Mainzer (1993: 18) nur dann tatsächlich erreicht ist, wenn es auch eine *Einheit des Wissens* gibt. Insofern besitzt die KR-Disziplin durchaus direkte Relevanz für die Komplexitätsforschung, wobei eine *transdisziplinäre Einheit allen Wissens* allein über die *Top-level Ontologie* und damit schließlich wieder über die techno-wissenschaftliche Metaphysik führen kann. Mit Blick auf die *methodologische* Dimension gilt die Leibnizsche Idee der *Einheit der Wissenschaften* genauso selbstverständlich für die Komplexitätsforschung, indem sie die *Mathesis universalis* verkörpert; mit der Automatentheorie als ihrer Kerntheorie schließt dies die mathematische Logik wesentlich mit ein.

Wenn das neue wie das ursprüngliche "Einheitsparadigma" im Zeichen der Komplexität steht, und in der Komplexitätsforschung der Mittler techno-wissenschaftlicher Metaphysik zu erachten ist, muss selbstredend insbesondere die *Top-level Ontologie* in ihrer Eigenschaft als fundamentale Referenzebene wie in ihrer Repräsentation von McCarthys (1995) "*general world view*" diesem Komplexitätsparadigma dezidiert entsprechen. Das impliziert

tantum complectitur Logicam hactenus receptam, sed et artem inveniendi, et Methodum seu modum disponendi, et Synthesin atque Analysisin [...]«.

²⁶⁹¹ Vgl. hierzu auch B.-O. Küppers (1991).

²⁶⁹² Vgl. hierzu auch S.D. Mitchell (2008), wonach die Komplexitätsforschung auf eine *neuen Erkenntnismethode*, nämlich auf einen *integrativen Pluralismus* hinauslaufe.

²⁶⁹³ Vgl. hierzu auch Mainzer (1990), insbes. S. 21 ff.

nicht bloß eine *komplexitätsaffine* Top-level Ontologie; vielmehr muss es sich bei jeder sachgerecht konzipierten *Top-level Ontologie* konsequent um einen Ansatz handeln, der tatsächlich systematisch auf *komplexe Systeme* im Sinne der Komplexitätsforschung abstellt. Das ist allerdings bei keinem einzigen der konkurrierenden TLO-Theorieanwörter der Fall. Insofern wird ein TLO-Neuentwurf erforderlich, der als metaphysisch fundierter TLO-Ansatz nicht nur konsequent auf dem Ratio-Empirismus aufbaut, sondern sich dabei um die für die techno-wissenschaftliche Metaphysik relevanten Kerntheorien als Mittler zentriert. Dabei handelt es sich um die Automatentheorie und darauf aufbauend um *Complex Adaptive Systems* (CAS). Dabei sollte ein solcher TLO-Neuentwurf mit Pkt. 3.5 auf CYPO FOX als integrierter Ontologiekonzeption aufbauen, indem sich die metaphysischen Kategorien komplexer Systeme allein bei Whitehead finden.

Indem die Automatentheorie bzw. CAS als Kerntheorie der Informatik resp. Komplexitätsforschung sich simultan in allen vier CYPO-Welten nutzen lässt, wird McCarthys (1995) "*general world view*" in seinem Automaten Sinne als *World Automata* konstituiert, d.h. als komplexe adaptive Systeme, die zwar disparaten metaphysischen Welttypen entsprechen, sich jedoch einheitlich im Sinne der Automatentheorie bzw. darauf aufsetzender Ansätze der Komplexitätsforschung adressieren lassen. Die Vorteilhaftigkeit einer solch integrativen Sichtweise zeigt sich dabei nicht zuletzt bei MAS-basierten Cyber-physischen Systemen (CPS). Sie zeigt sich aber auch generell, als sich diese integrierte Ontologiekonzeption auf sämtliche ontologische Zwecke der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Besonderen wie der Informatik im Allgemeinen anwenden lässt. Im Sinne der durch Smith/Ceusters (2010) ins Spiel gebrachten Idee der *Einheits-TLO* sollte die ontologische Weiterentwicklung der Informatik darauf hinauslaufen, dass es nur *eine* Top-level Ontologie gibt, die grundsätzlich allen Belangen der Informatik, d.h. in praktischer, technologischer wie wissenschaftlicher Hinsicht gerecht wird. Die Wahl der adäquaten Metaphysik der Informatik wie damit zusammenhängend jene der sachgerechten TLO-Konzeption setzen mit diesen Ausführungen überaus umfassende Reflexionen voraus. Damit ist gleichzeitig evident, dass der ontologische Standard der Informatik kaum bloßen Diffusionsprozessen überlassen werden kann. Denn die Konsequenz besteht dann in Quasi-Standards, die durch naive Ontologiekonzeptionen wie jenem Grubers (1993, 1995).

4.2 Whiteheads cyber-physische Prozessmetaphysik als Klasse-4-Metaphysik

»We choose Whitehead's philosophy because, whatever may be the eventual judgement of history upon its acceptability as a philosophical basis for natural science, it is, beyond all doubt, a serious attempt to answer the right questions in the right kind of way.«

— Geoffrey T. Kneebone (1963: 342)

Whiteheads Prozessmetaphysik lässt sich allein dann richtig verstehen, wenn man sie als Synthese betrachtet, was die Metaphysik in ihrer Universalität an sich auch immer ist. Allerdings geht es Whitehead im Grunde um eine Totalsynthese, was gewiss nicht alle Metaphysik für sich reklamieren kann. Prigogine/Stengers (1981: 101) bescheinigen Whitehead zu Recht eine »ungewöhnliche Entschlossenheit, eine alles umfassende Konsistenz zu erreichen, [die] wahrhaft fasziniert«. Es geht bei Whitehead allerdings nicht allein um eine kosmologische Synthese oder eine Weltensynthese, sondern in ihrem Ratio-Empirismus vor allem auch um eine wissenschaftliche Synthese, die die späteren *Sciences of the Artificial* H.A. Simons (1969) mit umschließt. Es handelt sich dabei zugleich um die Synthese aller Erfahrungs- und aller Formalwissenschaften. Insofern geht es bei Whitehead vor allem auch um eine cyber-physische Synthese, sowie um eine Synthese von Wissenschaft, Technologie und Praxis. Damit nicht genug: Whitehead vollzieht letztlich auch die Synthese aller Philosophie und bringt sie im Zeichen seines strukturalistischen Ratio-Empirismus auf eine einheitliche Basis. Tatsächlich finden sich in Whiteheads Kosmologie zentrale Gedanken im Grunde aller namhaften Philosophen zu einem großen Ganzen vereint. Bereits mit diesen Synthesen ist das Whiteheadsche Werk in seiner Genialität unerreicht – und im Grunde vollständig verkannt. Die wenigsten Philosophen haben dieses Werk, seine eigentliche Bewandnis und Relevanz tatsächlich verstanden. Vielmehr ist Whiteheads Kosmologie regelmäßig fehlinterpretiert worden; nicht umsonst sieht G.R. Lucas (1989) die Notwendigkeit, Whitehead zu rehabilitieren – womit er nicht allein steht. Tatsächlich ist dies unabdingbar, und es ist bezeichnend, wenn zu konstatieren ist, dass diese Rehabilitation gerade jene Metaphysik betrifft, die einzig und allein tatsächlich *metaphysisch* ist. Denn sie ist techno-wissenschaftliche Metaphysik, die zugleich Digitalmetaphysik ist, und als höchste aller Metaphysikklassen, nämlich als *Klasse-4-Metaphysik* verkörpert sie eine *cyber-physische* Prozessmetaphysik. Darin ist sie unerreicht und besitzt damit für die Informatik exklusiven Status. Denn nur sie eröffnet die strukturalistische Totalität aller Welten, nämlich die aktuelle Welt, den Kosmos genauso wie alle möglichen Welten:

»[E]verything of which we are conscious, as enjoyed, perceived, willed, or thought, shall have the character of a particular instance of the general scheme. [...] This general principle will be termed the 'ontological principle.' It is the principle that everything is positively somewhere in actuality, and in potency everywhere. [...] Everything in the actual world is referable to some actual entity.«²⁶⁹⁴

Wie insbesondere in Pkt. 3.5 dargelegt, ist die Ontologie der Informatik als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu verstehen und dabei ist sie in ihrem disziplinären Ursprung, nämlich bei Leibniz, bereits als solche angelegt. Mit Pkt. 1.1 muss es dabei um die Einheit des gesamten Leibnizprogramms gehen, indem Leibnizens *Automatenuniversum*

²⁶⁹⁴ Whitehead (1929a: 3, 40, 244).

allein in der Geschlossenheit seiner transdisziplinären *Scientia generalis*, seiner logico-mathematischen *Mathesis universalis* und vor allem seiner prozessualen, auf perzeptive Automaten bezogenen *Metaphysica* richtig verstanden ist. In der Tat besitzt die Automatentheorie als Schlüsseltheorie der Informatik ihren letztlichen Ursprung in Leibnizens *Automatenuniversum*, worin im Zeichen möglicher Welten zugleich die Basis aller Digitalmetaphysik besteht. Zweifellos ist die gesamte Informatik, von ihrer logico-mathematischen Grundlegung über ihr Transdisziplinaritätsmoment bis zur kognitiven Robotik in den jeweiligen Grundzügen bei Leibniz vorausgedacht, womit er die Disziplin in jeder inhaltlichen Hinsicht begründet. Insofern muss auch die Ontologiedebatte zunächst bei Leibniz festmachen, indem alle Ausführungen Leibnizens gerade unter ontologischen Gesichtspunkten elementar sind, wie es in Pkt. 3.4 mit dem IMKO *OCF* deutlich geworden ist. Entscheidend ist jedoch die Leibniz-Whitehead-Verbindung, indem es Whitehead ist, der Leibnizens Werk in allen relevanten Bereichen im Zeichen des Wissenschaftsfortschritts aktualisiert. Diese Aktualisierung ist für die Informatik insofern unabdingbar vorauszusetzen, indem moderne Cyber-physische Systeme (CPS) auf den metaphysischen Grundlagen Whiteheads stehen. Das liegt wiederum daran, dass viele für die Cyber-Physik unmittelbar relevante Entwicklungen in die Zeit nach Leibniz fallen. Whiteheads Aktualisierung und Synthese betrifft in *philosophischer* Hinsicht etwa Kant, Schelling, Hegel oder die Britischen Emergentisten, in *logischer* Hinsicht insbesondere Boole und Frege, sowie in *wissenschaftlicher* Hinsicht alle gängigen Schlüsseltheorien. Wenn auch die Ontologiedebatte der Informatik zunächst bei Leibniz festmachen muss, hat sie sich jedoch letztlich auf Whitehead zu beziehen, indem die digitalmetaphysische Grundlegung der Informatik in allen konkreten Belangen genau hier zu suchen ist.

Ein allgemeines Ontologieverständnis, eine integrierte Ontologiekonzeption, eine tatsächlich universale Top-level Ontologie wie schließlich die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* insgesamt lässt sich nicht begründen, ohne die metaphysische Basis der Informatik verstanden zu haben. Gilt es McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" zu beantworten, muss Klarheit bezüglich dem Wesenskern des Whiteheadschen Werks bestehen. Indessen verlangt das Verständnis dieses Werks einiges ab, indem es bei ihm um alle oben genannten Synthesen gleichzeitig geht. Die Totalsynthese dieser Metaphysik erfordert somit das Verständnis der einzelnen Synthesen gerade auch zueinander. Um dieses Verständnis zu entwickeln, gehen wir im Folgenden in fünf Schritten vor: wir beginnen (i) bei der Synthese von Wissenschaft, Technologie und Technopraxis, indem diese für Whiteheads *Ratio-Empirismus* elementar ist. Ausgehend von der modernen Physik wenden wir uns dem ganzen Spektrum relevanter Disziplinen zu; (ii) darauf aufbauend kommen wir zur notwendigen Rehabilitierung Whiteheads, da sich diese bereits in dieser techno-wissenschaftlichen Hinsicht abzeichnet. Dieses Erfordernis wird (iii) durch das strukturalistische Moment dieser Metaphysik unterstrichen, das zugleich für ihre cyber-physische Synthese konstituierend ist; entscheidend ist dabei vor allem die *Information* als logico-ma-

thematischer "Grundstoff" und damit die Frage des Informationsbegriffs als solchen. Erst auf dieser Basis lässt sich sinnvoll (iv) auf einige wesentliche Charakteristika der Whiteheadschen Prozessmetaphysik eingehen: Neben den emergentischen *Event Streams*, in dem das perzipierende, kognitive *Subjekt-Superjekt* als universaler Agentenklasse steht, ist hier vor allem auf die Verbindung abzustellen, die zwischen Whiteheads *Principia Mathematica* und seiner Prozessmetaphysik besteht, d.h. auf den Umstand, dass ihr im Zeichen eines *metaphysischen Logizismus* bzw. des *Logischen Atomismus* die mathematische Logik inhärent ist. Vor diesem Hintergrund ist dann (v) abschließend ihre Synthese der verschiedensten Philosophien zu beleuchten, indem die einzelnen charakteristischen Momente des Metaphysiksystems Whiteheads gewiss nicht im leeren Raum entstanden sind, sondern ihren eigentlichen gedanklichen Ursprung vielmehr in der kritischen Auseinandersetzung mit den unterschiedlichsten Philosophen besitzen. All diese Momente fügt Whitehead, der von der mathematischen Physik bzw. formalen Logik zur Metaphysik gekommen ist, zu einem *universalen perzeptiv-ereigniszentrischen, prozessual-systemischen, logico-mathematischen Strukturalismus* zusammen. In diesen ist die *Metaphysik der Informatik* zu sehen, die etwa für die Theorie zellulärer Automaten konstituierend ist.

Im Grunde lässt sich sagen, dass sich die ganze Ontologiedebatte der Informatik an der Whiteheadschen Metaphysik entscheidet. Mehr noch: Ohne ihr grundlegendes Verständnis lässt sich die Ontologiefrage der Informatik weder sinnvoll diskutieren noch überhaupt entscheiden. Das aus dem einfachen Grunde, als die Whiteheadschen Positionen jeweils die Kontraposition zu den heute gängigen bzw. populären Ontologieverständnissen der Disziplin bilden. Indem es bei der Ontologiedebatte um Grundsatzfragen geht, lässt sich eine Position kaum favorisieren, ohne die jeweilige Kontraposition zu beachten. Das gilt umso mehr, als diese Kontraposition bereits selbst in der Informatik vertreten wird. Somit kommt die Disziplin aus nicht weniger als fünf entscheidenden Gründen nicht umhin, eine intensive Auseinandersetzung mit der Whiteheadschen Prozessmetaphysik zu beginnen, die im Folgenden eröffnet wird:

- (a) Die Whiteheadsche Position wird in der TLO-Debatte direkt in Form des TLO-Ansatzes Sowas (2000) sowie via Hayes (1985a, 1985b) auch indirekt durch Russell/Norvig (2010) vertreten. Zudem wird auch jenseits der TLO-Debatte in der Informatik für die Whiteheadsche Ontologie votiert,²⁶⁹⁵ bzw. findet sie bereits Anwendung.²⁶⁹⁶ Zudem ist Whitehead, der selbst in der Leibnizschen Tradition steht, als prägend für seine direkten und indirekten Schü-

²⁶⁹⁵ Vgl. Sowa (2000), Stell/West (2004), Palomäki/Keto (2006, 2009), Palomäki (2008) sowie Dawson (2011). Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass in der Ontologieforschung bzgl. der *Mereotopologie* der Rekurs auf Whitehead gar nicht untypisch ist, indem er sich etwa bei B. Smith (1993) genauso findet wie etwa bei Eschenbach (1994, 2001) oder Hahmann/Grüniger (2012). Allerdings sollte es das Ziel der Informatik sein, diesen Rekurs systematisch zu vollziehen, nämlich im Sinne einer integrierten Ontologiekonzeption, wie es mit CYPO FOX verfolgt wird.

²⁶⁹⁶ Bei Henry/Geertsen (1986) bzw. Henry (1993) wird sie etwa als direkte Referenzbasis für die Evaluierung von *Programmstrukturen* herangezogen.

ler zu erachten, etwa für Russell, Quine, Davidson oder D.K. Lewis, während Russell wiederum in engem Zusammenhang zu Wittgenstein oder Carnap zu sehen ist. Mit anderen Worten lässt sich die Ontologie in ihren jeweiligen Positionen und Gegenpositionen letztlich kaum verstehen ohne Whitehead verstanden zu haben. Whitehead ist zwar vielen Informatikern unbekannt, aber in der Ontologiesache ist er gewiss kein Unbekannter.

- (b) Die Informatik wird mit dem *cyber-physischen "Reality Computing"* auf Dauer nicht umhinkommen, die Ontologie auch als *Scientific Ontology* zu verstehen. Mit Verweis auf Popper (1972a) ist sie dann jedoch immer als primär zu setzen. Dabei deuten die modernen Wissenschaften darauf hin, dass die strukturalistische Position Whiteheads, nicht die materialistische Bunge (als BWW-Basis) mit den modernen Wissenschaften korrespondiert. Nicht umsonst geben auch Philosophen wie Riffert (2004) in genau dieser Sache Whitehead explizit den Vorzug gegenüber Bunge. Das gilt nicht zuletzt auch für die Informatik als Strukturwissenschaft. Cyber-physische Systeme (CPS) sind *qua ihres kausalen Systemgedankens* auf Basis der Bungeschen Metaphysik gar nicht zu begründen.
- (c) Whitehead lehnt den Zugang zur Ontologie auf sprachphilosophischer bzw. linguistischer Basis des *Subjekt-Prädikat-Objekt* Schemas ab. Vielmehr ist mit Pkt. 6.2.2 in Whitehead der Ursprung der *revisionären Metaphysik* bzw. des Ratio-Empirismus zu sehen, worin die elementare Gegenposition zur deskriptiven Metaphysik besteht. Wenn der Informatik an seriöser Ontologie gelegen ist, kann sie nicht einfach deskriptive Metaphysik betreiben und dabei die Positionen der revisionären Metaphysik negieren. Mit dem zentralen Stellenwert der Ontologie muss die Informatik vielmehr aktiv die Auseinandersetzung mit dem Widerstreit *revisionäre vs. deskriptive Metaphysik* suchen. Das gilt nicht zuletzt auch deshalb, weil damit letztlich auch alle anderen im sechsten Teil behandelte meta-ontologischen Dispositionen unmittelbar zusammenhängen.
- (d) In Whiteheads exklusivistischen 4D-Perdurantismus besteht darüber hinaus die unmittelbare Gegenposition zu allen führenden TLO-Ansätzen mit ihrem Endurantismus und ihrem Substanz- bzw. Trägergedanken. Wenn die Ontologiedebatte sachgerecht geführt wird, muss die Auseinandersetzung mit Whitehead in der notwendigen Tiefe geführt werden. Das entspricht jedoch nicht der gegenwärtigen Situation; vielmehr existiert bis heute in der Informatik keine einzige kritische Auseinandersetzung mit Whitehead. Guarino (2001: 125) hält zwar Sowas (2000) Synthese der Ontologien von Peirce und Whitehead für problematisch, stellt sich jedoch nicht in der notwendigen Tiefe den Positionen Whiteheads, obschon diese genau gegenteilig zu seinen

eigenen sind. Analoges gilt auch für die Positionen B. Smithens, während P.M. Simons als weiterer Mays-Schüler von Rang unabhängig von dessen Whitehead-Affinität den Wechsel vom Paradigma der Substanzontologie zu den Whitehead-Positionen bereits vollzogen hat.

- (e) Die Informatik hat genau *eine* Metaphysik; denn sie besitzt auch genau *ein* Fundament, das freizulegen ist. Dieses hängt unmittelbar mit *universalem*, d.h. cyber-physischem *Information Processing* zusammen. Dann ist evident, dass dieses Fundament in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik besteht. Insofern die Ontologie der Informatik auf Grundlage von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* allein *integrierte metaphysische Wissensontologie* sein kann, lässt sich Ontologie auch nicht von der Metaphysik separieren. Insofern muss es sehr verwundern, dass bisher kein einziger Ontologe der Informatik die kritische Auseinandersetzung mit Whitehead sucht – insbesondere dann, wenn er dazu völlig konträre Positionen vertritt. Dass die *Metaphysik der Informatik* in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik besteht, ist nicht irgendeine These; vielmehr bauen die zentralen Ausgangstheorien implizit wie explizit unmittelbar auf Whiteheads *zellulären Organismen, 4D-Ereignissen* bzw. der Prozessmetaphysik an sich auf. Die fundamentale Perspektive, die für die Entwicklung der Systemtheorie, der Automatentheorie sowie speziell der Theorie zellulärer Automaten ausschlaggebend ist, besteht mit den Positionen von McCulloch/Pitts, J. von Neumann oder Ulam explizit in Whiteheads *"general world view"*.

Ad (i) beginnen wir bei der Synthese von Wissenschaft, Technologie und Technopraxis, indem diese für Whiteheads *Ratio-Empirismus* elementar ist. Dabei ist zunächst zu klären, warum überhaupt die Wissenschaften für die Metaphysik bzw. die Metaphysik für die Wissenschaften unverzichtbar sind. Denn nichts anderes besagt das Whiteheadsche (1933: 164) »interplay between science and metaphysics«. Wesentlich ist dabei, dass es Whitehead nicht um eine einseitige Beziehung, sondern vielmehr um ein echtes Wechselspiel geht, das entsprechend zirkulär auszugestalten ist. Für Whitehead (1929a) ist im Zeichen Kants das metaphysische Wissen immer unvollständig und bedarf daher einer stetigen Aktualisierung durch die Erfahrungswissenschaften,²⁶⁹⁷ wie es auch Einstein (1934) fordert. Umgekehrt sollen metaphysische Systeme im Zeichen einer *Universalsynthese* bzw. im Sinne von Bunges (1971, 1973) *allgemeinster Theorie* Impulse für die Wissenschaften geben.²⁶⁹⁸ Bspw. versteht Whitehead (1929a) mit seinem *Subjekt-Superjekt* das unter anderem für die Quantentheorie relevante metaphysische Problem der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* sowie des *Cartesischen Dualismus* zu lösen, mit der Konsequenz, dass Quantenphysiker neben den grundsätzlichen Prozessgesichtspunkten deshalb und aus einer Reihe anderer

²⁶⁹⁷ Das, was Whitehead (1929a, 1933) als *Metaphysik* bezeichnet, ist in diesem Zusammenhang *Ontologie* bzw. *Erste Philosophie* im klassischen Sinne der *metaphysica generalis* Wolffs (1730).

²⁶⁹⁸ Vgl. hierzu ergänzend Eastman/Riffert (2009).

Gründe zunehmend auf Whiteheads Prozessmetaphysik rekurren.^{2699, 2700, 2701} Analoges gilt in Bezug auf Whiteheads Antimaterialismus oder auf seine damit verbundene Priorisierung der logisch-prozessualen Form gegenüber der Materie. Am anschaulichsten wird das zirkuläre Gefüge von techno-wissenschaftlicher Metaphysik und allen techno-wissenschaftlichen Disziplinen einschließlich H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* jedoch anhand der Ontologie der Informatik. Denn diese erfordert umfassendste metaphysische Voraussetzungen, die indessen im cyber-physischen Sinne allein eine Metaphysik bieten kann, die zugleich antimaterialistische Digitalmetaphysik ist.

Es steht außer Frage, dass die Informatik nicht an einem Physikmodell vorbeikommt, indem nicht nur all ihre Grundlagen im Zeichen der Signalverarbeitung physikalisch sind, sondern dieses auch im Zeichen von *cyber-physischen "Reality Machines"*, in der KR-Hinsicht von *Scientific Ontologies* oder etwa bei den physikalischen Annahmen von *Engineering Ontologies* von grundsätzlicher Relevanz ist. Insofern könnte für die Informatik eine Alternative zur Metaphysik allein im Positivismus bzw. Empirismus bestehen. Darin besteht bekanntlich auch die Idee von Metaphysikkritikern wie Carnap oder Quine. Dass dies jedoch letztlich keine Alternative für die Informatik darstellen kann, sei kurz gezeigt: Das Problem des Positivismus besteht darin, dass er als solcher immer nur eine *physische*, aber keine *cyber-physische* Bezugsbasis besitzen kann. Es ist zwar möglich, diese physische Bezugsbasis in einem *mathematischen Strukturalismus* münden zu lassen, wie es bei Carnap (1928a) bzw. Quine (1992b) angedacht ist. Doch reicht das nicht. Denn eine *cyber-physische* Bezugsbasis ist erst dann erreicht, wenn die Realitätsfrage geklärt ist, womit eine ganze Reihe meta-ontologischer Dispositionen zusammenhängen. Wie in Pkt. 6.2.6 gezeigt, wird der metaphysische Realismus spätestens dann unausweichlich, wenn das Physikmodell im Zeichen des Fallibilismus an der Realität scheitern können muss. Auch ist zu bedenken, dass ein *Causal Criterion of Reality* (CCR) zwar sowohl metaphysisch als auch – etwa bei D.M. Armstrong – rein methodologisch verstanden werden kann.²⁷⁰² Bei *Cyber-physischen Systemen* (CPS) stellt sich jedoch das Problem, dass diese unter dem Gesichtspunkt des Positivismus, Naturalismus und vor allem des Materialismus nur sehr eingeschränkt als "real" erachtet werden können: während der Materialismus nur das Materielle als "real" gelten lassen kann, müsste der CCR-Aspekt für den Positivismus bzw. Natura-

²⁶⁹⁹ Vgl. hierzu die zahlreichen Beiträge in Eastman/Keeton (2004); vgl. auch Burgers (1963), Finkelstein (1973, 1974), Folse (1974, 1981), Riggan (1982), Malin (1997, 2009), Epperson (2005, 2009), Kallfelz (2009) sowie Klose (2009). Vgl. hierzu ergänzend Prigogine (1995a) und Petrosky/Ordonez/Prigogine (2003) sowie speziell in Bezug auf das mit dieser Theorie verbundene *Messproblem* Prigogine (1973c) sowie P.W. Anderson (1997).

²⁷⁰⁰ Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik ist im Sinne des Whiteheadschen (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« maßgeblich durch die *Relativitätstheorie* beeinflusst, vgl. hierzu die Beiträge Whiteheads (1922a, 1922b, 1922c); daneben auch durch die *Quantentheorie*, vgl. hierzu etwa bereits den frühen Beitrag Whiteheads (1925: 129 ff.).

²⁷⁰¹ Für diese Verbindung ist unter anderem der *Komplexitätsaspekt* entscheidend, indem dieser für die Quantenmechanik prägend ist, vgl. zu diesem Aspekt etwa 't Hooft (1997) sowie Gell-Mann (1997); vgl. ergänzend Yurtsever (2000).

²⁷⁰² Vgl. dazu Kistler (2002).

lismus zumindest messbar sein. Wenn jedoch der Kausalitätsgesichtspunkt wie im *Internet of Things* (IoT) regelmäßig latent vorhanden ist, indem Relationen *ad hoc* aktivierbar sind, führt auch dieser Messgesichtspunkt zu Problemen.

Der Vollzug des Physikmodells auf Basis des Positivismus, Naturalismus und Materialismus wird jedoch noch in ganz anderer Hinsicht zum Problem, das für die Ontologie der Informatik etwa im Zeichen ihrer AL-Forschung von ebenso elementarer Relevanz ist. Das betrifft Schrödingers (1944) berühmte Frage "*What is Life?*": Natürlich kommt auch die Informatik in keiner Weise an dieser Frage vorbei, denn ihre Ontologie ist nicht allein *Knowledge Ontology*, sondern zunächst einmal metaphysische Ontologie. Sie ist nicht allein für den KR/AI-Aspekt maßgeblich, sondern genauso etwa für ihren AL-Aspekt. So hat J. von Neumann (1966) die Frage Schrödingers (1944) im Zuge der Automatentheorie dahingehend beantwortet, dass alles Leben als *Prozess* zu verstehen ist. Ungeachtet dessen, dass diese Antwort richtig ist, steht allerdings außer Frage, dass sie weder in ontologischer noch in techno-wissenschaftlicher Hinsicht genügen kann. Vor allem ist gerade im Zeichen der Automatentheorie zu ergänzen, dass man diese Frage gar nicht rein naturalistisch beantworten kann. Vielmehr ist mit dem Vordringen von Automaten als *cyber-physische "Reality Machines"* bis hin zur Superintelligenz-Robotik evident, dass sie allein *metaphysisch* zu beantworten ist. Allerdings auch nicht auf Basis jedweder Metaphysik, sondern allein auf Basis einer *Klasse-4-Metaphysik*; denn die Antwort muss im Zeichen der Automatentheorie eine *cyber-physische* Antwort sein. Über die Ontologie der Informatik lässt sich also kaum sprechen, wenn man nicht auch H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* mit in die Debatte einbezieht, was nicht zuletzt mit Pkt. 4.6 deutlich wird. Hier reicht der Hinweis, dass die AL-Forschung unter diese zu subsumieren ist, wobei diese wiederum auf der AI-Disziplin bzw. auf Basistheorien der Informatik aufsetzt.²⁷⁰³ Nicht zuletzt mit den Übergängen von natürlicher und artifizieller Welt ist die AL-Forschung für Schrödingers (1944) Frage gleichermaßen von Relevanz. Auch wenn H.A. Simon (1995a) selbst eine empirische Position vertritt, ist insgesamt evident, dass die Informatik universale Kategorien und meta-ontologische Dispositionen benötigt, die nicht ohne ihre metaphysische Grundlegung bestimmbar sind. Analoges gilt für die *Theorie komplexer Systeme*, wenn Kauffmans (1969, 1993) auf Booleschen Netzwerken aufsetzendes *NK-Modell*, das ursprünglich im Kontext der Genregulation entwickelt worden ist, zur Beantwortung von Schrödingers (1944) Frage ebenso beitragen kann wie naturwissenschaftliche Theorien, mit denen es konform geht.²⁷⁰⁴

²⁷⁰³ Vgl. hierzu Burks (1997: 3): »Artificial Life is a creative man-machine study that evolved from the logics of cellular automata and other computerizable evolutionary structures«.

²⁷⁰⁴ Kauffmans (1995a: 82; 1997: 116) *NK-Modell* wird nicht nur eine unmittelbare Anschlussfähigkeit für die *Theorie dissipativer Strukturen* attestiert. Vielmehr kann es auch helfen, Evolutionsprinzipien universal zu formulieren, wie es die Informatik als Strukturwissenschaft erfordert. Demnach gilt: »A living thing is a complex net of interactions between thousands or millions of chemical species. [...] Are living things more akin to precisely programmed automata selected by evolution, or to randomly assembled

Der Positivismus bzw. Empirismus ist also für die Informatik allein nicht ausreichend, indem ihre Ontologie zwar als Weltmodell zu verstehen ist, das jedoch unter Transdisziplinaritätsgesichtspunkten zunächst einmal die Klärung des fundamentalen Weltmodells voraussetzt. Darüber hinaus ist festzustellen, dass auch der partiell mit dem Positivismus einhergehende *Physikalismus* auch insofern an sein Ende gelangt ist, als Prigogines (1945) bzw. Whytes (1949) *Physik der Evolutionsprozesse* die traditionellen Grenzen der Physik endgültig sprengt. Das gilt bereits für physische Systeme, jedoch insbesondere für *Cyber-physische Systeme* (CPS), indem diese ein cyber-physisches Evolutionsverständnis erfordern, das auf rein naturwissenschaftlicher Basis nicht zu bewerkstelligen ist. Vielmehr bedarf es dazu einer *organismischen Weltauffassung*, die transdisziplinär ist, und sich damit allein auf Grundlage einer Prozessmetaphysik einlösen lässt.²⁷⁰⁵ Dabei ist diese Transdisziplinarität bereits im Zuge physischer Systeme einzufordern, indem mit der physikalischen Chemie einerseits,²⁷⁰⁶ sowie der Molekularbiologie andererseits Physik, Chemie und Biologie eng zusammenrücken.^{2707, 2708} Demnach ist eine Brücke von der Physik der Selbstorganisation zu einer Physik der Evolutionsprozesse geschlagen.²⁷⁰⁹ Schon bei Whitehead (1925: 103) gilt entsprechend: »Science is taking on a new aspect which is neither purely physical, nor purely biological. It is becoming the study of organisms«. Indessen wird bereits in dieser Sache eine techno-wissenschaftliche Metaphysik benötigt, die zugleich Digitalmetaphysik ist: Mit der *Physik der Evolutionsprozesse* geht es nicht mehr spezifisch um biologische Evolution, sondern um kosmologische Evolution im Ganzen. Quantenphysiker wie Wheeler (1975: 270) überschreiten traditionelle Disziplingrenzen, wenn sie fragen: »[A]re life and mind irrelevant to the structure of the universe – or are they central to it?«. Indessen können die Disziplingrenzen im Kantischen Sinne fokussierter Forschung dann bestehen bleiben, wenn sie im Sinne ihrer metaphysischen Voraussetzungen einheitlich auf die gleiche transdisziplinäre Metaphysik referenzieren, die sämtliche Disziplinen transzendiert. Unter ontologischen, epistemologischen, methodologischen wie speziell unter Komplexitätstheoretischen Gesichtspunkten ist eine andere Wissenschaftspraxis sachgerecht nicht möglich. Dass dies ansonsten im Zuge der Repräsentation von *Scientific Ontologies* problematisch wird, erkennt indirekt auch N. Cartwright (1983: 13), indem sie konstatiert: »Unity of science is a case in point. How unified is our

automata whose characteristic behavior reflects their unordered construction, no matter how evolution selected the surviving forms?«, vgl. Kauffman (1969: 437 f.).

²⁷⁰⁵ Schrödingers (1944) Vorstoß lief letztlich darauf hinaus, die Physik gegenüber der Chemie und Biologie in nichtreduktionistischer Absicht zu öffnen, indem mit dem neuen Fokus auf die *Prozesse des Lebens* der Grundstein für eine *Physik der Evolutionsprozesse* gelegt wird.

²⁷⁰⁶ Vgl. hierzu auch Morowitz (1970) und Schneider/Kay (1994, 1997).

²⁷⁰⁷ Dabei hat sich die Molekularbiologie nicht zuletzt im Anschluss an Schrödingers (1944) *Dubliner Vorlesungen "What is Life?"* herausgebildet, vgl. dazu Wuketits (1991: 100), Eigen (1997: 22) sowie Kauffman (1997: 99).

²⁷⁰⁸ Dieser Weg wurde bereits vor Schrödinger und Prigogine bereitet, etwa durch L. Boltzmann im Rekurs auf Darwin und in seinem Streben nach einer evolutorischen Physik, vgl. hierzu Prigogine (1980a: 156; 1980b: 13; 1997: 2, 19 ff.). Analoges gilt für die Biophysik von Bertalanffy et al., vgl. etwa Bertalanffy (1932: 61 ff.).

²⁷⁰⁹ Vgl. hierzu Ebeling et al. (1990), insbes. S. 12 ff.

knowledge? [...] Our knowledge of nature, nature as we best see it, is highly compartmentalized«.

Tatsächlich lassen sich allgemeine Evolutionsprinzipien im Kern nur dann erforschen, wenn das Wissenschaftsspektrum Zuses (1982) logico-mathematisches *Computing Universe* zulässt und es gerade nicht mit überholten Sichtweisen ausschließt. Denn die *cyber-physischen* Grenzen werden auch in der Wissenschaftspraxis selbst fließend, wie es schon bei Zuse der Fall ist.²⁷¹⁰ Man könnte zwar den Standpunkt vertreten, dass eine *universale Methodologie* ausreichend ist, wie es in der Komplexitätsforschung im Allgemeinen geschieht. Ginge es allein um ein an Darwin angelehntes *Evolutionary Computation*, käme die Informatik auf den ersten Blick ohne Metaphysik aus. Doch darum kann es in der Informatik insgesamt nicht gehen; wegweisend kann für sie nur Castels (2002) *Ontological Computing* sein, und das setzt für Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* die Metaphysik zwingend voraus: Methodologisch lässt sich kein allgemeines Weltmodell begründen; es lässt sich weder eine meta-ontologische Spezifikation vollziehen noch lassen sich jene Kategorien identifizieren, die erforderlich sind, um Wissen realitätsgerecht, nämlich technologie- wie wissenschaftskonform, zu repräsentieren. Wie eingangs des ersten Teils konstatiert, gilt Simons' (2006b: 95) »metaphysics constrains semantics«. Entsprechend benötigt die Informatik mit Gracia (1999) auch die Metaphysik, die erst die Korrespondenz der fundamentalen Weltstrukturen mit den Strukturen des Wissens bzw. der Semantik gewährleisten kann. Es sei nochmals konstatiert: »Metaphysicians want to know [...] how knowledge fits within the most general categories and is related to them«. ²⁷¹¹ Allerdings bleibt dann mit Whitehead (1917: 135) einzuwenden: »But a problem remains. How can mankind agree about science without a preliminary determination of what really is?« Insofern liegt schließlich Poli (2001a) richtig, wenn er für sämtliche Wissenschaften eine ontologische Grundlegung einfordert:

»All the sciences have a basic ontological orientation. They seek to understand the world and our experience of it. Ontology, as an autonomous discipline, studies the links among results arrived at by the various sciences. The trouble is that the pictures provided by the different sciences are categorically different, and no conceptual framework capable of a proper synthesis is available. This means that an adequate ontological framework has still to be elaborated.«²⁷¹²

Die Informatik bedarf mit Blick auf die *erfahrungswissenschaftliche* Wissensrepräsentation primär der klassisch realistischen Ontologie; die verschiedenen wissenschaftlichen

²⁷¹⁰ K. Zuse (1969, 1994a), der als eigentlicher Erfinder des Computers gilt, entwickelt eine *Theorie zellulärer Automaten*, die er auch auf die Kosmologie anwendet. Zuse (1969) nimmt darin an, dass Naturgesetze diskreten Regeln folgen und dass das gesamte Universum als gigantischer Zellularautomat aufzufassen ist. Zuse (1969) sucht über die Kybernetik eine Brücke von der Automatentheorie zur Physik zu schlagen. Bereits Zuse (1967) nimmt Rekurs nicht nur auf die Boolesche Algebra, sondern auch auf die Thermodynamik mit der Bildung, Erhaltung und Auflösung von Ordnung im Kontext des Entropieprinzips. Ähnliche Überlegungen werden später durch Stephen Wolfram ebenfalls im Rekurs auf die Thermodynamik angestrengt. Bei Wolfram wird ein eindimensionales Universum durch einen Zellularautomaten mit nur einer Raum- und einer Zeit-Dimension repräsentiert. Zuse (1993, 1994b) geht insofern über Wolfram weit hinaus, als er das Verhalten zellulärer Automaten auch in dreidimensionaler Hinsicht untersucht.

²⁷¹¹ Vgl. Gracia (1999: 156).

²⁷¹² Poli (2001a: 2).

Disziplinen beginnen zusehends, dieses Erfordernis ihrerseits zu realisieren.²⁷¹³ Somit repräsentiert jede besondere Wissenschaft mit Husserl (2009: 168) auch eine besondere "Ontologie";²⁷¹⁴ es handelt sich dabei jeweils um jene *regionale* Ontologie, die insgesamt den "ganzen Komplex ontologischer Disziplinen" ausmachen.²⁷¹⁵ Dann aber kann es nicht ausreichend sein, wie W. Sellars (1963, 1968) eine *wissenschaftliche Metaphysik* zu favorisieren bzw. im Zeichen von W. Sellars (1981a) eine *Metaphysics of Pure Process* zu vertreten, ohne selbst mit einem wissenschaftskorrespondierenden Kategoriensystem aufwarten zu können. Denn darin besteht mit Gracia (1999) gerade das, worum es in der Metaphysik zuvorderst gehen muss, wobei sich aus seiner Position ebenfalls unmittelbar auf das Erfordernis des in Pkt. 3.4 erörterten IMKO *OCF* schließen lässt. Dabei steht außer Zweifel, dass die Kategorien allein aus einer ratio-empirischen Metaphysik kommen können, d.h. aus der Klasse-3-Metaphysik Bunes oder der Klasse-4-Metaphysik Whiteheads. Es gilt mit Bunge (1967a: 92) erneut: »[W]e have not the choice of making metaphysical commitments or of avoiding them, but of adopting a good or a bad metaphysics«. Allerdings wird mit Pkt. 5.3 deutlich, dass Bunes *Scientific Metaphysics* selbst keine Alternative zur Whiteheadschen Prozessmetaphysik darstellen kann.

Wenn es vor allem Whiteheads Schüler Russell und Quine sind, die die Philosophie des zwanzigsten Jahrhunderts und insbesondere die Analytische Philosophie beeinflusst haben, darf eines nicht übersehen werden: die techno-wissenschaftliche, logico-mathematische wie strukturalistisch-prozessuale 4D-Perspektive, die beide Ontologen genauso wie den frühen Carnap (1928a) ungeachtet ihrer jeweils eigenen Programmatiken prägt, entstammt letztlich Whiteheads mathematischen Strukturalismus, der neben der Relativitäts- und Quantentheorie auch mit weiteren Schlüsseltheorien korrespondiert. In gleicher Weise sollte nicht verkannt werden, dass die Quantentheorie der Information, wie sie durch C.F. von Weizsäcker bzw. Wheeler vertreten wird, letztlich auf Whitehead zurückgeht. Denn es ist dieser, der Atome abstrakt als logico-mathematische Bits konzipiert. Nicht umsonst weist die Quantentheorie der Ur-Alternativen C.F. Weizäckers, die eine atomare Alternativentheorie ist, mit Zoglauer (1995: 492, Fn. 21) »erstaunliche Parallelen zum logischen Atomismus auf«; Lyre (1998: 50) räumt als Weizsäcker-Kenner offen ein, dass dessen Ur-Hypothese vom "logischen Atomismus" ausgeht,²⁷¹⁶ weshalb er sie an anderer Stelle auch als "*informationstheoretischen Atomismus*" bezeichnet.²⁷¹⁷ Wenn der *Logische Atomismus* die eigentliche Basis stellt, und die Ure im Whitehead-Russellschen Sinne als *Informationsatome* aufgefasst werden, hat das die bisher im Allgemeinen übersehene Tatsache zur Konsequenz, dass die eigentliche logico-mathematische Wurzel der Quantenthe-

²⁷¹³ Vgl. exemplarisch für die *Physik* Bright (1958) sowie Collins/Clark (2004), für die *Biologie* Hendrichs (1984) sowie für die *physikalische Chemie* Prigogine (1973b: 589; 1977: 31; 1979a: 262 f.; 1997: 17, 59, 72) sowie Prigogine/Stengers (1981: 101 ff.; 1984: 93 ff.).

²⁷¹⁴ Vgl. Husserl (2009: 168).

²⁷¹⁵ Vgl. Husserl (1913: 19).

²⁷¹⁶ Vgl. hierzu auch Lyre (1998: 190).

²⁷¹⁷ Vgl. Lyre (2000).

orie der Information bei Russell und schließlich bei seinem akademischen Lehrer Whitehead zu verorten ist. Dieser fundamentale Bezug ist für Whitehead-Kenner unstrittig, jedoch bei Wheeler bzw. C.F. von Weizsäcker allenfalls implizit auszumachen.

Explizit gemacht wird er durch einen anderen Ansatz, der genauso wie jener C.F. von Weizsäckers über eine Umdeutung der klassischen Quantentheorie hinausgeht, nämlich Finkelsteins (1973, 1974) Programm der *Quantenprozessualität*. Ist bei Whitehead alles Prozess, gilt für Finkelstein (1996: 477): "All is quantum", womit es um prozessuale Quantenstrukturen geht. Finkelsteins (1996: 475 ff.) Theorie des *Quantum Spacetime Net* gründet genauso fundamental wie explizit auf Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik,^{2718, 2719} indem diese bereits die Synthese von Relativitäts- und Quantentheorie vorwegnimmt, und sie im Zeichen des *Logischen Atomismus* auf eine logico-mathematische Basis bringt. Dass letztlich die ganze moderne Physik auf dem metaphysischen Fundament Whiteheads steht, wird nicht nur mit C.F. von Weizsäcker, Wheeler, Finkelstein oder Zeilinger deutlich, wenn es um die diversen Varianten der Quantentheorie der Information bzw. um ihre informationstheoretische Interpretation geht. Das gilt genauso für die heutige Physik, die "*New Physics*" insgesamt,²⁷²⁰ indem alle Momente ihrer "*third revolution*"

²⁷¹⁸ Vgl. hierzu im Einzelnen Finkelstein (1974, 2004) sowie Finkelstein/Kallfelz (1997).

²⁷¹⁹ Wenn mit Finkelstein (2013: 18 ff.) in der Quantentheorie "*quantum events*" eine zentrale Rolle zukommt, ist eine metaphysische Fundierung selbstverständlich nur dann möglich, wenn es hierzu ein unmittelbar referenzierbares Korrelat gibt, das in diesem Fall in Whiteheads (1929a) Kategorie der "*actual entities*" gegeben ist, vgl. hierzu Malin (1997; 2001: 163 ff.; 2004; 2009) sowie Klose (2009: 162 ff.).

²⁷²⁰ Vgl. zur *Information* als physikalische Größe auch Ebeling et al. (1990: 290 ff.). C.F. von Weizsäcker (1974: 51) sieht die *Information* demgegenüber als dritte Sache gegenüber Materie und Bewusstsein; Eigen (1997: 22) sieht sie damit entsprechend als Brücke zwischen Natur und Geist. Diese Brücke ist in der Quantenphysik deshalb notwendig, weil für sie das beobachtende resp. erkennende Subjekt und damit das Geistige einen integrierten Bestandteil der Natur darstellt. Auch in jüngerer Zeit werden solche Auffassungen durch führende Quantenphysiker wie Zeilinger (2004) vertreten. Diese quantenmechanische Weltansicht impliziert mit Putnam (1975b: 184) eine *physikalische Logik*: »[W]hat is the nature of the world if the proposed interpretation of quantum mechanics is the correct one? The answer is both radical and simple. *Logic is as empirical as geometry*. It makes as much sense to speak of 'physical logic' as of 'physical geometry'«, und diese *physikalische Logik* führt wiederum geradewegs zum *rechenbetonten Universum* ("computational universe") und entsprechend zu einer *rechnerbasierten Physik* resp. *Computerphysik* ("Physics of Computation"), der bereits 1981 am MIT eine erste Konferenz gewidmet wurde, vgl. hierzu Fredkin/Landauer/Toffoli (1982). Wesentliche Beiträge zu dieser Konferenz sind jene von Bennett (1982), Feynman (1982), Finkelstein (1982), Fredkin/Toffoli (1982), Kantor (1982), Minsky (1982), Petri (1982), Toffoli (1982), J.A. Wheeler (1982), Zeigler (1982) und Zuse (1982). Auch auf diesem Gebiet spielt die Automatentheorie eine zentrale Rolle, vgl. etwa Pires et al. (1990). Dieses Feld wird mit dem Stellenwert der *Information* als zentraler physikalischer Größe teilweise auch als *Information mechanics* bezeichnet, vgl. Kantor (1982: 526), und bezieht sich auf die Repräsentation von *Information* in physikalischen Systemen, vgl. hierzu auch Toffoli (1982). In der Computerphysik geht es mit Zuse (1975: 5) um »[d]ie Idee, in der theoretischen Physik mit Ja-Nein-Werten (*Bits*) zu arbeiten«, wie sie auch etwa Heisenberg (1969) oder C.F. von Weizsäcker (1974) teilt, wobei Zuse (1982: 589 f.) physikalische Gesetze auf Grundlage der *Information* als physikalischer Größe erklären will. Der amerikanische Physiknobelpreisträger R. Feynman hat vor diesem Hintergrund die Natur mit einem gigantischen Schachspiel verglichen, das auf den ersten Blick eine große Komplexität aufweist, in dem aber in Wirklichkeit jeder Zug einfachen Regeln folgt: »[T]his complicated array of moving things which constitutes "the world" is something like a great chess game being played by the gods, and we are observers of the game. We do not know what the rules of the game are; all we are allowed to do is to *watch* the playing. Of course, if we watch long enough, we may eventually catch on to a few of the rules. *The rules of the game* are what we mean by *fundamental physics*«, vgl. Feynman et al. (1963: 21), Hvh. im Orig. Eigen/Winkler (1975: 11) konstatieren entsprechend: »Alles Geschehen in unserer Welt gleicht einem

genuin Whiteheadsche Momente sind, die dieser wiederum nicht zuletzt über die Synthese der Relativitäts- und Quantentheorie wie anderer Schlüsseltheorien im Zuge des Ratio-Empirismus der *Klasse-4-Metaphysik* entwickelt. Insofern liegt zwar Bright (1958) mit *Whitehead's Philosophy of Physics* richtig, doch ist dies nicht ausreichend. Sachgerecht verstanden ist Whiteheads Prozessmetaphysik erst, wenn man sie als *universale techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik* auslegt, die nicht nur Epistemologie und Methodologie integriert, sondern sich als cyber-physische *Computer- bzw. Digitalmetaphysik* tatsächlich auf sämtliche Disziplinen erstreckt. Als Technopraxis transzendiert sie schließlich auch sämtliche Bereiche.

Die "*New Physics*" bezeichnen die *dritte Revolution der Physik*, die sich nach den ersten beiden Revolutionen schließlich in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts vollzieht.²⁷²¹ Als solche erweitert sie Plancks (1929) *Weltbild der neuen Physik*, das dieser auf Basis des Relativitätsprinzips wie dem Quantenprinzip im Zeichen der zweiten Revolution der Physik begründet, genauso wie dies für C.F. von Weizsäckers (1958) *Weltbild der Physik* zu konstatieren ist.²⁷²² Im Grunde verkörpert der Übergang von der zweiten zur dritten

großen Spiel, in dem von vornherein nichts als die Regeln festliegen«. Für Feynman (1967: 57 f.) spielt die *Computerphysik* eine entsprechend zentrale Rolle, um das Universum zu verstehen: »It always bothers me that, according to the laws as we understand them today, it takes a computing machine an infinite number of logical operations to figure out what goes on in no matter how tiny a region of space, and no matter how tiny a region of time. How can all that be going on in that tiny space? Why should it take an infinite amount of logic to figure out what one tiny piece of space/time is going to do? So I have often made the hypothesis that ultimately physics will not require a mathematical statement, that in the end the machinery will be revealed, and the laws will turn out to be simple, like the chequer board with all its apparent complexities«. Mit Feynman (1982: 468) geht es beim *rechenbetonten Universum* im Kern um »the possibility that there is to be an *exact* simulation, that the computer will do *exactly* the same as nature. If this is to be proved [...] then it's going to be necessary that *everything* that happens in a finite volume of space and time would have to be exactly analyzable with a finite number of logical operations«. Feynman (1986: 520) hat hierzu in einer späteren Arbeit die physikalischen Grenzen von Automaten in Bezug auf die physikalischen Gesetze untersucht; seine Analyse offenbart »at least to a computer scientist, that we could make a universal computer, because he knows if we can make any logical unit we can make a universal computer«.

²⁷²¹ Vgl. hierzu P. Davies (1989a); die *erste Revolution* ist jene Galileis, Newtons und anderer, in deren Folge die Physik erstmals systematisch auf die Basis exakter, wissenschaftlicher Methoden gebracht wurde. Die *zweite Revolution* besteht im Siegeszug der Relativitäts- und Quantentheorie sowie der Entdeckung der Radioaktivität. Dabei gilt: Die *erste wissenschaftliche Revolution der Physik*, die unmittelbar mit dem Namen Newton zu verbinden ist, die von ihr ausgehende erfolgreiche Entwicklung der Wissenschaft und der dadurch bedingte technische Fortschritt wäre nicht möglich gewesen, ohne Reduktion auf einfache Gesetze, ohne mechanistisches Denken und ohne die Rückführung auf das Einfache, ohne einen Atomismus, Materialismus und ohne ein metaphysisches Substanzdenken, um nach und nach zu erfahren, *was die Welt ist*. Vgl. hierzu I.B. Cohen (1980) sowie Popper (1994b: 35). Cohen (1980: 157 ff.) zeigt auf, dass Newton natürlich weit über eine *Synthese* seiner naturwissenschaftlichen Vorgänger und die Überlegungen des Descartes hinausgegangen war. Erst mit Newton von einer *wissenschaftlichen Revolution* zu sprechen, vgl. Cohen (1980: 49 f.), zeigt sich auch aus dem Grunde als berechtigt, als Newton fundamentale Sätze und Prinzipien seiner Vorgänger – von Kopernikus bis Descartes – widerlegen konnte, vgl. Cohen (1980: 160 f.).

²⁷²² Zweifellos bezieht sich die "*neuere Physik*", von der C.F. von Weizsäcker (1958: 60 ff.) im Zuge seines *Weltbild der Physik* spricht, primär noch auf die *zweite Revolution* der Physik. Von philosophischer Relevanz ist für C.F. von Weizsäcker dabei vor allem der Subjektivismus Kants; allerdings scheint er dabei zu verkennen, dass dieser mit Whiteheads *Subjekt-Superjekt* genauso gegeben ist; ansonsten hätte Whiteheads *Prozessmetaphysik* als sachgerechte Grundlegung der Quantenphysik herausgestellt werden müssen. Nicht umsonst bezieht sich die heutige Quantenphysik auch auf diese. Indessen sind es C.F. von Weizsäcker, sein akademischer Lehrer Heisenberg, Einstein oder auch allgemein weniger bekannte Phy-

Revolution der Physik das Whiteheadsche (1933: 164) »interplay between science and metaphysics«. Denn Whiteheads (1925, 1929a) *Ratio-Empirismus* setzt an der zweiten Revolution der Physik an, während sein darauf gründender spekulativer Metaphysikentwurf wiederum als zentrale Grundlage der dritten Revolution der Physik erachtet werden muss. Denn nicht nur die Informatik ist mit McCarthy (1995) auf der Suche nach dem "*general world view*", sondern auch die Physik: In der Tat fordert neben anderen auch der Physiker Whyte (1961b, 1968), der in der Tradition Boscovichs und im Austausch mit Einstein an der einheitlichen Feldtheorie und damit an der Suche nach der Weltformel arbeitet,²⁷²³ explizit eine neue Weltauffassung für die theoretische Physik ein.²⁷²⁴ Und beiden Disziplinen ist im Sinne der Cyber-Physik dabei gemein, dass sie jeweils explizit die Hilfe der Philosophie bei diesem Unterfangen anfordern, wobei es im einen Fall in erster Linie um Cyberwelten, im andern vor allem um die physische Welt geht. Dabei spielt die Frage der Weltauffassung nicht nur im Fall der Informatik eine zentrale Rolle; vielmehr vertritt Whyte (1968: 138) die Ansicht, dass die Physik allein auf Basis einer neuen Weltauffassung zu einem echten Forschungsfortschritt gelangen könne: »A philosophical re-adjustment of attitude, or perhaps many attempts in this direction, may be necessary as preliminaries to the next authentic advance in basic theory«. ²⁷²⁵ Diese neue Weltauffassung, auf deren Grundlage nunmehr die physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu bilden sind, besteht bereits für Whyte (1949, 1955a, 1955b, 1957a) in der *organismischen Weltauffassung* Whiteheads (1929a). Dabei steht außer Zweifel, dass es auch diese ist, die für McCarthy/Hayes' (1969) *metaphysisch adäquate Repräsentationen* adäquat ist.

Die These, dass die dritte Revolution der Physik in erster Linie auf der Whiteheadschen Kosmologie gründet, wird nicht nur durch Whyte untermauert, sondern ihre Richtigkeit wird auch dann offenbar, wenn ihre drei Basishypothesen in den Blick genommen werden. Diese bestehen darin, dass (a) die Physik eine *kosmologische Wendung* nimmt, also nunmehr genau wie die philosophische Kosmologie alle Erscheinungen im Universum adressiert,²⁷²⁶ dabei wird nicht nur das Whiteheadsche *aktive bzw. schöpferische Universum* vo-

siker wie Whyte, die als philosophisch orientierte Naturwissenschaftler die Relevanz jener Aspekte herausstellen, die schließlich in Ergänzung der wissenschaftlichen Zusammenhänge zur *dritten Revolution* der Physik führen.

²⁷²³ Vgl. Whyte (1963: 101 ff.), vgl. hierzu auch Whyte (1929); Whytes *organismische Weltauffassung* leitet sich mit Whyte (1958, 1961b, 1961c) von der *Theorie der Naturphilosophie* des Physikers und Mathematikers Boscovich (1763) her.

²⁷²⁴ Damit ist bei Whyte eine *spekulative Metaphysik* gemeint: »Yet there have been times in the past, and the present moment may also be one, when, owing to a special need for reorientation, the presentation of a speculative theoretical programme, emphasizing new or neglected physical ideas, has proved fertile«, vgl. Whyte (1961b: 8 f.).

²⁷²⁵ Was Whyte inhaltlich damit meint, findet sich in Whytes (1931) Kritik der Physik herausgearbeitet. Baranski (1960) sieht Whytes neue Sicht des Universums als Ablösung des Newtonschen Systems. Das stellt sich auch etwa bei Prigogine/Stengers (1984) in dieser Weise dar.

²⁷²⁶ Indem die "*New Physics*" einen kosmologischen Anspruch besitzt, ist das Erkenntnisstreben *in Wissenschaft wie Philosophie* notwendig einem gemeinsamen Ziel verpflichtet. Dieses gründet darin, den Kosmos in seiner Einheit zu begreifen. Indem dieses gemeinsame Ziel von vornherein keine Spaltung zwischen Philosophie und den Erfahrungswissenschaften zulässt, ist auch insofern die Zurückweisung aller Metaphysiken impliziert, die mit Pkt. 4.1 unterhalb der Klasse-3-Metaphysik einzustufen sind.

rausgesetzt.²⁷²⁷ Vielmehr wird damit die These von der *Unendlichkeit des Universums*, wie sie bereits N. von Kues vertritt, wieder relevant.²⁷²⁸ In der Komplexitätsphysik wird mit G.F.R. Ellis et al. (2004) nunmehr von einem *Emergent Universe* ausgegangen, in dem in einem expandierenden Universum das physikalisch Neue emergiert.²⁷²⁹ Darüber hinaus darf nicht verkannt werden, dass die kosmologische Wendung im Zeichen der Kosmologie Whiteheads (1929a) bzw. darauf aufbauend Poppers (1959: 15) auch in wissenschaftstheoretischer bzw. methodologischer Hinsicht einen Neuanfang impliziert: Aus ihr folgt, dass die Physik im transdisziplinären Sinne nunmehr alle metaphysischen Dispositionen mit allen anderen Wissenschaften teilen muss. Hierzu gehört etwa die Irreversibilität resp. der Zeitpfeil,²⁷³⁰ die Offenheit des Universums oder seine prinzipielle Indeterminiertheit.²⁷³¹

Die Adressierung des Historizitätsmoments wird nur dadurch möglich, indem die Nichtgleichgewichtsthermodynamik die *Irreversibilität der Zeit* voraussetzt. Das Problem der Zeit ist für jede programmatische Diskussion der Physik konstituierend; heute erkennt die Physik den Pfeil der Zeit als wesentlichen Bestandteil der Realität an.²⁷³² Erst auf der Grundlage irreversibler Zeit gilt: »dissipative structures [...] contain [...] a ‘historical dimension’«,²⁷³³ und Prigogine sucht diese mit dem Moment der Kognition darüber hinaus auch mit der Erkenntnistheorie zu verbinden. Denn auch in dieser Hinsicht erweist sich das Problem der Zeit als elementar: »[T]he problem of time marks specifically the divorce between physics on one side, psychology and epistemology on the other.«²⁷³⁴ Prigogine verweist in diesem Zusammenhang auf den Heideggers (1927) Philosophie bestimmenden Gedanken der Zeitlichkeit, wonach das Zeitliche fundamentale Voraussetzung allen Wissens ist. Tatsächlich zeigt sich für Heidegger (1927) der Horizont der Bestimmung des Sinnes von Sein durch die Zeit repräsentiert. Das ist bei Whitehead (1917, 1919, 1920, 1925, 1929a) gewiss nicht anders. Vielmehr findet sich das zeitlich bestimmte Moment der Kognition des *Subjekt-Superjekts* in der Prozessmetaphysik zuerst bei ihm. Entscheidend ist dabei aber etwas anderes: wenn das Zeitliche fundamentale Voraussetzung allen Wissens ist, dann kann die Wissensrepräsentation nicht am Endurantismus festmachen, wie es der grundsätzlichen Sichtweise der ersten AI-Generation entspricht. Es wird also unumgänglich, *4D-Ereignisse* als alles bestimmende Basiskategorie der Wissensrepräsentation voranzusetzen, wie es bei Whitehead und in dieser Linie bei Russell, Quine und selbst beim frühen Carnap (1928a) der Fall ist. Ebenso entscheidend ist, dass die Struktur der

²⁷²⁷ Vgl. hierzu Fetz (1986), Van der Veken (1986) sowie Maaßen (1991).

²⁷²⁸ Vgl. hierzu auch Bertalanffy (1928b: 15 f.).

²⁷²⁹ Vgl. hierzu auch G.F.R. Ellis (2007).

²⁷³⁰ Diese Diskussion geht maßgeblich auf Boltzmann (1897) und seinem Kritiker Zermelo im Kontext der *Thermodynamik* zurück; vgl. hierzu auch Popper (1979: 227 ff.) sowie Hoyer (1987); vgl. zum Zeitpfeil in der *Quantentheorie* etwa Joos (1987). Vgl. zur Irreversibilität in der Physik auch Whyte (1955c: 111), der dafür votiert, die physikalischen Theorien nunmehr fundamental auf ihr gründen zu lassen.

²⁷³¹ Vgl. hierzu Prigogine (1984a).

²⁷³² Vgl. Prigogine/Stengers (1993: 309); vgl. hierzu auch Hawking (1988: Ch. 9).

²⁷³³ Vgl. Prigogine (1973b: 589).

²⁷³⁴ Vgl. Prigogine (1973b: 590), ohne Hvh. des Orig.

Wissensrepräsentation offensichtlich direkt etwas mit den fundamentalen Strukturen der Realität zu tun hat, womit erste in kategorialer wie meta-ontologischer Hinsicht allein auf Basis einer revisionären Klasse-4-Metaphysik entwickelt werden kann.

Die notwendige universalontologische Fundierung der Wissenschaften, die eine solche kosmologische Wendung impliziert, eröffnet zugleich die Möglichkeit, das entzweite Verhältnis zwischen Philosophie und den Wissenschaften zu überwinden. Denn auch die moderne Physik übernimmt die organismische Weltauffassung – nicht zuletzt bezüglich des Zeitpfeils – mit allen dazu erforderlichen metaphysischen Dispositionen.²⁷³⁵ Genau darin bestand mit Prigogine (1997: 14) zuvor ein Streitpunkt: »The conflict between the time-reversible view of physics and time-centered philosophy has led to an open clash«. Während einige physikalische Theorien sich unter dem Irreversibilitätsaspekt historischer Zeit nicht immer konsequent vom Newtonschen Weltmodell abheben,²⁷³⁶ ist es – neben der mathematischen Chaostheorie – insbesondere die Nichtgleichgewichtsthermodynamik und die damit verbundene Selbstorganisationstheorie als theoretischer Unterbau der dritten physikalischen Revolution, durch die Evolution, Leben und Historizität nunmehr auch in der Physik eine elementare Bedeutung zukommt. Es gilt entsprechend: »Thermodynamics is the backbone of the theory of selforganization and evolution«. ²⁷³⁷ Dabei rekurriert Prigogine (1979a) wiederum explizit auf Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik.

Damit unmittelbar verbunden zeigt sich die "*New Physics*" (b) durch das *Komplexitätsparadigma* bestimmt, das inzwischen auch für alle anderen Wissenschaften und Technologien prägend ist.²⁷³⁸ Es lässt sich in dieser Hinsicht von einer *emergentischen Physik* bzw. *Komplexitätsphysik* sprechen.^{2739, 2740} In dieser Sache stellt Poser (2005: 92 f.) heraus, dass

²⁷³⁵ Vgl. hierzu Prigogine (1997: 16 f.).

²⁷³⁶ Vgl. hierzu Prigogine (1973b), insbes. p. 561; vgl. hierzu auch Prigogine (1981a: xiii).

²⁷³⁷ Vgl. Feistel/Ebeling (1989: 81); vgl. hierzu auch Peacocke (1984).

²⁷³⁸ Vgl. hierzu im Einzelnen Barrow (2005: 282): »Until quite recently, sciences like physics emphasized the deduction and confirmation of the laws and regularities of the world. The teaching of science was built around the simple, soluble problems that could be dealt with using pencil and paper. Since the early 1980s, there has been a change. [...] The computer can be programmed to simulate the evolution of complicated systems, and their long-term behaviour studied, modified, and replayed. One can even construct virtual realities obeying laws of Nature that are not our own, and simply explore. By these means, the study of chaos and complexity has become a subculture within science. The study of the simple, exactly soluble problems of science has been augmented by a growing appreciation of the vast complexity that has to be expected in situations where many competing influences are at work«.

²⁷³⁹ Mit Blick auf die Stringtheorie hat sich etwa der Physiknobelpreisträger Laughlin (2005) gegen den aus seiner Sicht vollkommen überstrapazierten Reduktionismus in seiner Disziplin ausgesprochen. Wie für den Physiknobelpreisträger P.W. Anderson (1972) liegt die Zukunft der physikalischen Forschung vielmehr in der Auseinandersetzung mit der Emergenz physikalischer Systeme resp. Phänomene. Somit ist auch die Physik im *Zeitalter der Emergenz* und einer entsprechenden Forschungsstrategie der Physik der Emergenz angekommen, vgl. im Hinblick auf verschiedene physikalische Theorien Teller (1986), Joos (2006) sowie G. Ellis (2005, 2006a); vgl. ferner Christiansen (2000), Pattee (2000) sowie Rueger (2006a) und Kistler (2006). Insofern ist es naheliegend, wenn der britische Physiker P. Davies (2006: 36) auch den Schichtengedanken bemüht: »All physicists concede that at each level of complexity new physical qualities, and laws that govern them, *emerge*«. Entsprechend hat sich mit Atmanspacher et al. (1992: 276) die elementare Einsicht durchgesetzt, »that the exact sciences, in particular physics, can no longer afford to disregard the behavior of systems which cannot be treated simply«, vgl. auch Purcell (1968).

bereits bei Leibniz *Komplexität* eine entscheidende Rolle spielt, es aber Whitehead ist, bei dem die Entfaltung des neuen, der Komplexitätsforschung zugrundeliegenden Weltbildes tatsächlich zu suchen sei.²⁷⁴¹ (c) Drittens bleibt als Vermächtnis der zweiten Revolution die schwierige Bestimmung der Schnittstelle von Materie und Geist bestehen, die sich infolge der Überwindung des Cartesischen Dualismus stellt. Damit ist zugleich die Aufhebung der klassischen *Subjekt-Objekt-Dichotomie* impliziert; an die Stelle der klassischen, an "exosystems" orientierten Physik tritt nunmehr eine an "endosystems" orientierte Physik,²⁷⁴² mit der versucht wird, die physikalische Beschreibung der Welt unter expliziter Berücksichtigung des notwendigen Beobachters zu vollziehen. Indem Whitehead sowohl den Cartesischen Dualismus überwindet als auch die klassische *Subjekt-Objekt-Dichotomie* aufhebt, ist auch in dieser dritten Hinsicht evident, dass unsere obige These, wonach die dritte Revolution der Physik in erster Linie auf der Whiteheadschen (1929a) Kosmologie gründet, richtig ist.²⁷⁴³ Mit Blick auf dieses metaphysische Fundament konstatiert Prigogine unter expliziter Bezugnahme auf Whitehead und verwandte Positionen entsprechend: »[I]t seems to me that the dialogue between physics and natural philosophy can begin on a new basis.«²⁷⁴⁴ Das geschieht dabei nicht ohne den Hinweis, wie umfassend Whitehead und verwandte Denker das, was heute als "New Physics" bezeichnet wird, gedanklich vorweggenommen haben.²⁷⁴⁵

Indessen zeigen sich die Wissenschaften in den letzten Jahrzehnten insgesamt einer *radikalen Transformation* unterzogen;²⁷⁴⁶ in ihrer Folge wird das, was gemeinhin unter der *physischen Realität* verstanden wird, neu austariert. Die Zusammenhänge sind dabei die gleichen wie hinsichtlich der Realitätsauffassung der Informatik; für diese ist insgesamt das Moment kausaler Wirksamkeit entscheidend. Alle Disziplinen avancieren dabei zur Komplexitätswissenschaft.²⁷⁴⁷ Entsprechend gibt es nicht nur eine "New Physics", sondern

²⁷⁴⁰ Diese *emergente Physik* ist mit P. Davies (2006) als *Physics of Downward Causation* zu verstehen, die kombiniert mit der *Upward Causation* ein bidirektionales Emergenzverständnis und damit zirkuläre Organisationsmuster bedeutet.

²⁷⁴¹ Vgl. Poser (2005: 94 f.); vgl. hierzu auch Poser (2007: 241).

²⁷⁴² Vgl. hierzu Finkelstein (1988).

²⁷⁴³ Vgl. dazu auch D. Bohm (1977, 1980) sowie Cahill (2008).

²⁷⁴⁴ Vgl. Prigogine (1973b: 590).

²⁷⁴⁵ Vgl. Prigogine (1979a: 262): »Es ist bemerkenswert zu erkennen, wie weit einige neuere Ergebnisse [der Naturwissenschaften, A.d.V.] von Philosophen wie Bergson, Whitehead und Heidegger vorweggenommen worden sind, wobei der Hauptunterschied darin besteht, daß sie nur im Gegensatz zur Naturwissenschaft zu solchen Folgerungen gelangen konnten, während wir jetzt beobachten, daß diese Einsichten sozusagen aus der naturwissenschaftlichen Forschung heraus erwachsen«. Gewiss ist hier die Rolle Whiteheads aufgrund seines *Ratio-Empirismus* besonders hervorzuheben.

²⁷⁴⁶ Vgl. Laszlo (2008) sowie Poser (2012).

²⁷⁴⁷ Insofern hat sich die bei Wallerstein et al. (1996: 63) geäußerte Hoffnung erfüllt: »Natural science is hoping [...] to make the idea of laws of nature compatible with the idea of events, of novelty, and of creativity. In a sense, it could be argued that instability plays a role for physical phenomena analogous to that of Darwin's natural selection in biology«. Auf Basis der *mechanistischen Physik* war dies mit Bertalanffy (1968: 92) noch anders: »If we look at a living organism, we observe an amazing order, organization, maintenance in continuous change, regulation and apparent teleology. Similarly, in human behavior goal-seeking and purposiveness cannot be overlooked [...]. However, concepts like organization, directiveness, teleology, etc., just do not appear in the [...] mechanistic world view based upon classical physics [...]«. Denn der damit einhergehende Physikalismus führte zu einer Entfremdung und

etwa mit dem theoretischen Biologen und Komplexitätsforscher B.C. Goodwin auch eine "New Biology";²⁷⁴⁸ diese steht wiederum auf den gleichen Whiteheadschen Prinzipien. Dabei grenzt sich die "New Biology" genauso wenig als Disziplin eng ab; vielmehr versteht sie sich als Teil eines kosmologischen Ganzen. Das gilt genauso für die Chemie, wie sie der Chemienobelpreisträger J.-M. Lehn (2002: 4768) als »science of complex matter, of informed, self-organized, evolutive matter« umreißt. Insofern lässt sich auch mit N. Hall (2000) von der "New Chemistry" sprechen. Diese Zusammenhänge sind für die Ontologie der Informatik gewiss nicht nur in metaphysischer, etwa AL-Hinsicht entscheidend, sondern natürlich genauso für den Aspekt der *Knowledge Ontology*. Geht es um die KR-Frage bei *Scientific Ontologies*, dann folgt aus dieser kosmologischen Einbettung aller Disziplinen unmittelbar die KR-Maßgeblichkeit des *Transdisziplinaritätsprinzips*. Insbesondere steht damit außer Frage, dass sämtliche Domänenontologien (DO) auf genau dem gleichen metaphysischen Fundament aufbauen müssen, womit die TLO-Referenz offensichtlich einen verpflichtenden Stellenwert besitzt. Indessen betrifft die KR-Frage genauso den Komplexitätsaspekt; es kann keinen Zweifel geben, dass die fundamentalen KR-Kategorien genauso wenig noch im Zeichen isolierter Substanzen stehen können, wie in jenem eines objektzentrischen Endurantismus. Wenn etwa die Ontologien der biomedizinischen OBO-Foundry mit ihrer TLO-Referenz auf B. Smithens BFO-TLO auf Basis eines solchen neo-aristotelischen Kategoriensystems stehen, ist es bemerkenswert, dass genauso in der modernen Biologie dazu im Allgemeinen völlig konträre Sichtweisen vertreten werden. Denn analog zur Situation in der "New Physics" baut die an der Komplexitätsforschung orientierte "New Biology" etwa mit B.C. Goodwin (1978, 1990, 1994b) explizit auf dem *universalen Strukturalismus* Whiteheads auf. Ein CYPO-konformer TLO-Theorieanwärter impliziert auf dieser Grundlage eine fundamentale Inkommensurabilität zur BFO als TLO-Basis der OBO-Foundry. Einzelne Biologen wie Vogt et al. (2011) beginnen nicht umsonst, die Adäquanz der BFO-TLO als Referenzbasis der OBO-Foundry in Zweifel zu ziehen. Dabei werden nicht einmal die eigentlich entscheidenden Argumente, die sich aus der Position B.C. Goodwins (1978, 1990, 1994b) oder etwa aus Kauffmans (1969, 1993) NK-Modell unmittelbar ableiten, berücksichtigt.²⁷⁴⁹ Allerdings liegt genau hier die Gegen-

schließlich zu einer tiefen Spaltung von Physik und Biologie, die sich von erster erklärtermaßen zu emanzipieren suchte, vgl. dazu etwa Ayala (1968) oder Mayr (1982: 51 ff.; 1985: 43 f., 53 f.; 2002). Mayr (1982, 1985) sieht sich als einer der bedeutendsten Evolutionsbiologen des zwanzigsten Jahrhunderts dazu veranlasst, Grundannahmen der Evolutionsbiologie wie die Varianz der Phänomene, Komplexität, Indeterminiertheit oder Irreversibilität dem jeweiligen Gegenteil in der klassisch-physikalischen Sphäre gegenüberzustellen, *um darüber* die Inkommensurabilität zwischen den Disziplinen herauszustreichen. Unter dem einheitlichen Komplexitätsregime nivellieren sich diese ursprünglichen Gegensätze allerdings. Das stellt auch Prigogine (1988) heraus, wenn er gerade mit Blick auf das Verhältnis von Physik und Biologie das verbindende Moment der physikalischen Chemie resp. Nichtgleichgewichtsthermodynamik einerseits, und der Naturphilosophie andererseits herausstellt.

²⁷⁴⁸ Vgl. B.C. Goodwin in Brockman (1995: 96 ff.).

²⁷⁴⁹ Es gibt auch Kritiker der Position B.C. Goodwins, nämlich Mahner/Bunge (1997), wobei ihre Kritik insgesamt im Zeichen von Bunes *materialistischer* Kritik an Whiteheads *Strukturalismus* zu sehen ist.

wart und Zukunft der Disziplin und damit für entsprechende *Scientific Ontologies*, deren Einbezug in eine integrierte Ontologiekonzeption wiederum Aufgabe der Informatik ist.

Insgesamt wird deutlich, dass die Symbiose von *"New Physics"* und *"New Biology"* natürlich sehr wohl etwas mit der metaphysischen Weltauffassung zu tun hat, und damit schließlich für McCarthys (1995) *"general world view"* in entscheidender Weise zu berücksichtigen ist. Mit dem *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) geht es nicht nur mit dem CPS-Aspekt um ein zeitgemäßes Physikmodell, sondern etwa mit dem bereits in Pkt. 1.1 genannten *Internet of Living Things* (IoLT), dem *Internet of Chemical Things* (IoCT), dem *Internet of Nano Things* (IoNT), dem *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) oder dem *Internet of Underwater Things* (IoUT) genauso um ein adäquates Verständnis aller anderen erfahrungswissenschaftlichen Disziplinen. Tatsächlich kann weder die Informatik noch die Wissenschaftstheorie all diese Disziplinen als zusammenhangslos erachten; vielmehr bilden sie Teile eines kosmologischen Ganzen, wie es die einzelnen Disziplinen auf ihrem heutigen Stand einfordern. Diese Feststellung ist wichtig, weil sie unmittelbar das Erfordernis einer transdisziplinären Wissensrepräsentation impliziert und damit für die Ontologiefrage Informatik elementar ist. Wenn mit Pkt. 6.2.7 deutlich wird, dass sich diese Disziplinen nicht mehr über einen Reduktionismus etwa nach Spielart des Physikalismus oder Biologismus einen lassen, dann müssen genauso Zweifel angebracht sein, dass eine lediglich *methodologisch* bewerkstelligte Einheit der Wissenschaften ausreichend ist. – Tatsächlich ist sie es nicht, und das zeigen nicht nur die vielzähligen meta-ontologischen Dispositionen, die etwa die *"New Physics"* als Komplexitätsphysik voraussetzt. Vielmehr wird im Zuge der Wissensrepräsentation offensichtlich, dass fundamentale universalontologische Kategorien erforderlich sind, auf deren Basis sich eine transdisziplinäre KR-Basis erst gewährleisten lässt. Insofern diese ontologischen Kategorien allein im Zeichen des IMKO OCF identifizierbar sind, kann und muss es um eine *ontologische*, mithin um eine *metaphysisch* verankerte *Einheit der Wissenschaften*, *Einheit der Erkenntnis* wie um eine *transdisziplinäre Einheit allen Wissens* gehen.²⁷⁵⁰

Das Bekenntnis aller naturwissenschaftlichen Disziplinen zum kosmologischen Prinzip bedingt letztlich das Erfordernis des Whiteheadschen (1933: 164) »interplay between science and metaphysics«. Ungeachtet dessen sind die Disziplinen auch auf theoretischer Basis zu integrieren; die Symbiose von *"New Physics"* und *"New Biology"* vollzieht sich dabei ausgehend von der *Physik der Evolutionsprozesse*, wie sie etwa bei Ebeling et al. (1990), Goerner (1994) oder C.H. Bennett (2003) den Gegenstand bildet. Diese geht

²⁷⁵⁰ Zwar ist eine *transdisziplinäre Einheit der Wissenschaften*, wie sie etwa durch Poser (1988), Mittelstraß (1991, 1993, 2001a, 2001b, 2003) sowie Mainzer (1993) ins Spiel gebracht wird, im Zeichen der Komplexitätsforschung zumeist in *methodologischer* Hinsicht gemeint. Indem die Whiteheadsche Metaphysik jedoch streng wissenschaftliche Metaphysik ist, muss damit nicht automatisch ihre ontologische Einheit ausgeschlossen sein. Wenn Ikeda (2005) und Mainzer (2005c) die Idee einer *integrativen Wissenschaft* im Kontext des Komplexitätsparadigmas mit der Forderung nach *Transdisziplinarität der Erkenntnis* verbinden, dann gilt dies mit den metaphysischen Voraussetzungen jeder Epistemologie umso mehr. Mit Mainzer (2012: 12) ist dies zutreffend, indem die *integrative Wissenschaft* im Zeichen Leibnizens steht.

schließlich mit den erwähnten Fragestellungen unmittelbar auf Schrödinger (1944), Prigogine (1945) und andere disziplinenübergreifend orientierten Naturwissenschaftler zurück; mit ihnen wendet sich die Physik den Lebensprozessen, der Selbstorganisation und damit schließlich auch der inneren wie äußeren Komplexität der Objekte bzw. Ereignisse sowie der Relationalität der systemischen Zusammenhänge zu. Geht es um "lebende" Systeme, dann geht es um *Perzeption* bzw. *Kognition*; diese indirekt genauso im Zeichen der Whiteheadschen organismischen Philosophie stehende Dimension eröffnet Maturana (1980b): »Living systems are cognitive systems, and living as a process is a process of cognition«. ²⁷⁵¹ Wesentlich für den universalontologischen Zugang, den die Ontologie der Informatik im Whiteheadschen Sinne informatorischer zellulärer Automaten einfordert, ist dabei Maturanas Ergänzung: »This statement is valid for all organisms, with and without a nervous system«. ²⁷⁵²

Die Metaphysik der Informatik muss sich im Hinblick auf ihre tatsächlich gegebene cyber-physische *Universalität* gerade an solchen Sachverhalten bewähren. Denn Maturana hat als Neurobiologe dabei nicht die kognitive Robotik im Sinn, um die es in der Informatik ebenso gehen muss wie um die richtige Repräsentation von *Scientific Ontologies*. Sie benötigt insgesamt nicht nur einen universal gültigen Informationsbegriff, wie er weiter unten thematisiert wird, sondern auch andere *universal* gültige Kategorien. Das betrifft etwa mit der AL-Forschung jene bereits erwähnte des Lebenszyklus oder mit der kognitiven Robotik jene der Perzeption und Kognition. In Bezug auf die beiden letzten lässt sich einerseits mit J.J. Gibsons (1966, 1979) visueller Perzeptionstheorie partiell, ²⁷⁵³ nämlich in Bezug auf visuelle Systeme an die Whiteheadsche (1929a) *Perzeption* anschließen. Diese ist von universaler Relevanz für sämtliche Agentenklassen, auch etwa für AL-Agenten im Zeichen ihres "Sensing" bzw. von Sensoren. ²⁷⁵⁴ Demgegenüber stellt sich die Sache bzgl. des kognitiven Aspekts differenzierter dar, indem hier zwischen disparaten Agentenklassen zu differenzieren ist. Perzeption kann nur dann von der Kognition unabhängig behandelt werden, wenn bei letzterer eine umfassendere Differenzierung von Agentenklassen gegeben ist. Maschinelle Agenten sind in dieser Sache genauso zu differenzieren wie insbesondere maschinelle und menschliche Agenten. Für letztere kann dann auf J.J. Gibson (1966, 1979) aufbauend mit J. Heil (1983: 139) gelten, dass jede Perzeption »the production in a perceiver of certain cognitive states« involviert. Die Informatik bedarf also einer tatsächlich universalen Metaphysik, um ausgehend von einer einheitlichen Referenzbasis sämtliche disparaten Agentenklassen etwa in Bezug auf die Kognition auszudifferenzieren. Wie festgestellt, sind die meisten Metaphysiken vor dem Hintergrund der Cyber-Physik gar nicht universal verfasst; mit anderen Worten sind sie nicht so konzipiert, wie sie zu konzi-

²⁷⁵¹ Vgl. Maturana (1980b: 13), ohne Hvh. des Orig.

²⁷⁵² Vgl. *ibid.*

²⁷⁵³ Hayes/Ford (1993c) attestieren der *visuellen Perzeptionstheorie* AI-Konformität in Sachen Perzeption; wir teilen diese Position.

²⁷⁵⁴ Vgl. hierzu etwa Nehaniv et al. (2003).

pieren sind. Tatsächlich universal konzipiert zeigt sich die Metaphysik allein bei Leibniz und Whitehead, womit wiederum deutlich wird, worin allein das Fundament aller transdisziplinär zu erfassenden Disziplinen bestehen kann.

Jantsch (1979, 1980) sucht als Astrophysiker die bei Whitehead angelegte kosmologische Symbiose, wenn er die naturwissenschaftlichen Konzepte von Prigogine, Eigen und Maturana in Form eines *vereinigenden Paradigmas* zusammenführen will. Damit steht er genauso indirekt in Tradition zu Schelling (1798: 416), der bereits mit dem »Wahn, daß Organisation und Leben aus Naturprincipien unerklärbar seyen« bricht, indem der »erste Ursprung der organischen Natur [...] physikalisch unerforschlich [sey]«. Wenn demgegenüber für Schelling (1800b: 638) die »organische Natur nichts anderes als die in der höheren Potenz sich wiederholende unorganische« verkörpert, ist weniger ein Physikalismus als vielmehr ein universales naturphilosophisches Prinzip gemeint. Insofern wird deutlich, dass das Ziel, das Jantsch in einem vereinigenden Paradigma sieht, letztlich allein auf Basis einer universalen Metaphysik realisierbar wird. Denn nur dann lassen sich die meta-ontologischen Kategorien in transdisziplinärer Form identifizieren. Ziel kann also keine interdisziplinäre Synthese sein. Vielmehr steht gerade auch für Jantsch (1972) außer Frage, dass es um *Transdisziplinarität* gehen muss. Mit dem IMKO OCF ist evident, dass sich diese Anforderung sowohl auf die *metaphysica generalis* als auch insbesondere auf die Wissensontologie beziehen muss.

Zwar wird mit der "*New Physics*" das eingelöst, was Wein (1950) beklagt, nämlich, dass die physikalisch-spezielle und die philosophisch-allgemeine Seinstheorie zu beiderseitigem Schaden noch nicht wieder zusammengefunden hätten. Allerdings steht außer Frage, dass alle speziellen bzw. regionalen Ontologien mit der universalen Ontologie der Metaphysik zu korrespondieren haben. Das gilt in Bezug auf die revisionäre *metaphysische Ontologie*, und damit verbunden genauso in Bezug auf die *Wissensontologie*. Dass die Grundlagen dazu bei N. Hartmann (1912) und vor allem bei Whitehead (1919, 1920, 1925) liegen, wird mit der Biophysik Bertalanffys genauso deutlich wie mit der physikalischen Chemie Prigogines. Denn die organismische Biologie, um die es bei Bertalanffy (1928a, 1929) einschließlich des Teleologiegedankens geht,²⁷⁵⁵ baut schließlich ebenfalls in direkter Weise auf Whiteheads (1925) *zellulären Organismen* auf. Bertalanffys (1928a, 1930/31) Überlegungen zur Formbildung münden in Bertalanffys (1930/31) "Systemtheorie des Lebens" resp. seiner "organismischen Theorie", die neben ihren Anleihen bei N. Hartmann (1912) in erster Linie Whiteheads *organismische Kosmologie* in einem systemtheoretischen Gebäude zu vereinfachen sucht. Allerdings gelingt das bereits insofern nicht sachgerecht, als gerade von der kategorialen wie meta-ontologischen Basis einerseits und vom Kern ereigniszentrischer zellulärer Automaten andererseits abstrahiert wird.²⁷⁵⁶ Dennoch

²⁷⁵⁵ Der Begriff der Teleologie resp. der Finalität leitet sich etymologisch vom griechischen *télos*, dem Ende, Ziel oder Zweck, her.

²⁷⁵⁶ Richtig ausgelegt in Bezug auf den reinen *Systemgesichtspunkt* ist sie letztlich im *Systemismus* Bunges, der die Systemtheorie Bertalanffys entsprechend zu Recht kritisiert.

trägt auch Bertalanffy zur dritten Revolution der Physik bei, indem er die Unhaltbarkeit von Vitalismus und Mechanistik als Weltsichten herauszustellen vermochte, um schließlich auf Basis ihrer Defekte für Whiteheads organismisch-systemische Sichtweise als dritte Weltauffassung zu votieren.

Wenn es im Zuge von Smithens BFO-TLO einerseits um aristotelische Kategorien geht, andererseits auf Basis der Newtonschen Physik argumentiert wird, dann liegen der Vitalismus einerseits und die Mechanistik andererseits als Weltauffassungen nicht zwingend weit entfernt.²⁷⁵⁷ Das gilt umso mehr, als es bei der BFO-TLO explizit nicht um die dritte, die Whiteheadsche Weltauffassung geht. Wesentlich ist, dass die Kategorien, die jedem TLO-Ansatz zugrundeliegen, nicht im leeren Raum stehen, sondern jeweils immer einen Teil einer ganzen philosophischen Ontologie bilden. Wird also in einem TLO-Ansatz Rückgriff auf die aristotelische Substanzkategorie genommen, dann ist diese nicht beliebig interpretierbar, sondern so auszulegen, wie es die Grenzen ihrer Philosophie letztlich zulassen. Das gilt in dieser Weise für eine neo-aristotelische Ontologie genauso wie für eine, die auf Whitehead (1929a) aufbaut. Wenn bei diesem die ultimative Kategorie in Form der "*Creativity*" gegeben ist, dann steht das zum einen in direktem Bezug zu Whiteheads *aktiven Universum*, aus dem dann letztlich auch ein spezifisches Teleologiemoment folgt. Dieses steht dabei jenem des Vitalismus entgegen, der es als externes Prinzip, als transzendentes Lebensprinzip konzipiert. Mit Whiteheads (1929a) ultimativer Kategorie kann es in einem aktiven Universum darum gerade nicht gehen; in kausaler Hinsicht kann das Teleologiemoment nicht einfach außen vor gelassen werden, dennoch ist es bei Whitehead kein externes, sondern vielmehr ein internes, nämlich ein systemisch-organismisches Prinzip. Dieses ist im Sinne der weiter unten behandelten "*programmed functions*" zu verstehen, wie es auch der cyber-physischen Metaphysik Whiteheads im Zeichen *zellulärer Automaten* am besten entspricht.

Mit Dobzhanskys (1973) Diktum: "*Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution*" ist keinesfalls zwingend das Darwinsche Evolutionsverständnis gemeint.²⁷⁵⁸ Vielmehr ist die Darwinsche Theorie im Grunde überhaupt keine Evolutionstheorie; vielmehr handelt es sich im Kern um eine Deszendenztheorie.^{2759, 2760} Entsprechend wird vor dem Hintergrund der "*New Biology*" deutlich, dass das Evolutionsverständnis der Biologie gewiss kein gesondert disziplinäres sein kann, sondern vielmehr im Zeichen des Komplex-

²⁷⁵⁷ Das bedeutet allerdings nicht, dass sie im Zuge der BFO-TLO auch tatsächlich vertreten werden; es geht bei ihr weniger um metaphysische Weltauffassungen als vielmehr um deskriptive Metaphysik. Dennoch ist die Nähe der ihr zugrunde liegenden Kategorien oder der ins Spiel gebrachten physikalischen Theorien zu den Weltauffassungen des Vitalismus bzw. der Mechanistik unbestreitbar; mehr ist damit nicht gemeint – aber auch nicht weniger.

²⁷⁵⁸ Vgl. hierzu auch Ayala (1977).

²⁷⁵⁹ Das gilt insofern, als es mit ihr letztlich um die Abstammung biologischer Arten und damit um externe biologische Selektionsgesichtspunkte geht. Demgegenüber blendet sie alle Aspekte *selbstorganisatorischer* Evolution und damit auch alle Prinzipien *interner* Selektion vollständig aus. Zudem steht außer Frage, dass es ihr nicht um die Frage einer kosmologischen Evolution bzw. um universale Evolutionsprinzipien geht, wie es etwa beim Evolutionsverständnis Kants, Schellings oder Hegels der Fall ist.

²⁷⁶⁰ Vgl. zur Kritik der Darwinschen Theorie bereits Whitehead (1929b: 4 f.) sowie Bertalanffy (1932).

xitätsgesichtspunkts mit Hegel unter das Regime kosmologischer Evolution zu fassen ist. Schon für Bertalanffy steht dabei außer Frage, dass die Biologie nicht im Zeichen des Darwinschen Evolutionsverständnisses stehen kann, sondern, dass ihr eigentliches Evolutionsverständnis auf der Prozessmetaphysik Whiteheads gründet. Denn, wie weiter unten ausgeführt, spielt auch in der Biologie das Teleologiemoment eine zentrale Rolle, und dabei geht es nicht um ein externes, sondern vielmehr um ein internes, systemisch-organismisches Prinzip. Insofern gibt es auch eine interne Selektion, was keineswegs ausschließt, dass es im Zeichen Darwins für biologisches Organismen auch externe Selektionsfaktoren gibt. Auch in dieser Hinsicht ist wiederum die Weltsicht entscheidend, denn das interne teleologische Moment ist bei Whitehead mit der organismisch-systemischen Weltauffassung verknüpft.

Geht es um das *Internet of Living Things* (IoLT), um das *Internet of Chemical Things* (IoCT) und dergleichen mehr, sind zunächst einmal alle Aspekte des *Real World Internet* (RWI) zu reflektieren, wobei sich die Totalität des *Internet of Everything* (IoX) nicht ohne die Universalität einer techno-wissenschaftlichen Metaphysik verstehen lässt. Worum geht es also etwa beim *Internet of Living Things* (IoLT) für die Informatik? Es geht in diesem Fall darum, adaptive AI-Agenten sowie physische Sensorik und Aktorik mit dem *Realtime IoX-Monitoring* bzw. der globalen RTE-Intelligenz in einen biokybernetischen Kreislauf zu bringen. Wenn dabei Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, müssen alle relevanten Zusammenhänge verstanden sein. Dann kommt der zweite Part des IMKO OCF ins Spiel, nämlich die *Knowledge Ontology*. Von einem *Smart Web* kann nur dann die Rede sein, wenn ein umfassender Rückgriff auf die verschiedensten Ontologiearten genommen wird, nicht zuletzt auf die Domänenontologien, die für die jeweilige IoT-Domäne von Relevanz sind. Geht es um die KR-Aspekte im *Internet of Living Things* (IoLT), im *Internet of Medical Things* (IoMT) usw., müssen die *Scientific Ontologies* kategorial so beschaffen sein, dass sie biologisches Domänenwissen auf Basis transdisziplinärer Kategorien repräsentieren können. Nur dann kann Rückgriff auf physikochemisches Domänenwissen genommen werden, und nur dann lässt sich die unmittelbar relevante Symbiose von "*New Physics*", "*New Chemistry*" und "*New Biology*" wissenschaftlich realisieren.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass eine solch transdisziplinäre Wissensrepräsentation für IoLT- oder IoMT-Zwecke unmöglich ist, ohne zuvor die universale Gültigkeit Darwinscher Evolutionsprinzipien hinterfragt zu haben: Natürlich verkörpert auch die Darwinsche Theorie eine bestimmte Weltauffassung in sich, und diese basiert auf anderen Kategorien als die organismisch-systemische Weltauffassung Whiteheads. Nicht nur Bertalanffy (1968), sondern genauso Ayala (1968: 216 f.; 1998: 46 f.) konstatieren, dass die Darwinsche Evolutionstheorie einen *mechanistischen Prozess* verkörpert. Damit ist sie schließlich insgesamt unter jenes mechanistische Programm zu subsumieren, mit dem sich die mathematisch-exakten Wissenschaften vom philosophischen Überbau zu emanzipieren

suchten. An die Stelle der metaphysischen Teleologie rückt hier der Zufall; mit Bertalanffy (1968: 45) geht es kritisch um das »senseless play of random mutations and selection«. Wissenschaftliche Erklärungen, die mit dem Zufall argumentieren, sind im Spiegel sonstiger naturwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeiten nicht notwendig überzeugende Erklärungen. Entsprechend konstatiert Bertalanffy (1932: 59): »Der Darwinsche Zufall bedeutet nichts anderes als den Verzicht auf die Einsicht in die Gesetze der Entwicklung der organischen 'Zweckmäßigkeit'«. Die Grenzen des mechanistischen Programms liegen also darin, dass die Organismenwelt insgesamt kaum überzeugend als Produkt des Zufalls abgetan werden kann. Andererseits lässt sich auf dem Vitalismus mit seinem externen Teleologieprinzip mit Bertalanffy gewiss noch weniger aufbauen.

In der Erklärung der Entstehung der Arten erachtet der Darwinismus "Evolution" also lediglich als Ergebnis *richtungslosen Zufalls* mitsamt nachträglicher Selektion des Lebensfähigen. D.h. es wird von aller Zielgerichtetheit und den damit zusammenhängenden internen Faktoren abgesehen. Demgegenüber ist für prozessphilosophische Ansätze wie jenen Hegels und Whiteheads die *teleologische Selbstdetermination* kennzeichnend. Ihre Argumentation entspricht dabei implizit dem Leibnizschen Automatenuniversum bzw. den Kantischen *Naturzwecken*. Diese werden im zwanzigsten Jahrhundert schließlich in Form von Feynmans *Regeluniversum* auf den Punkt gebracht. Aufbauend auf Leibniz betrachtet auch Kant (1790) die Selbstorganisation als universales Prinzip der Natur. Mit Kants (1790) Universalisierung des Zweckgedankens verbindet sich im Zeichen der Regelschemata seiner Naturzwecke unmittelbar der Teleologiegedanke, der auf die *Ziel- resp. Zweckgerichtetheit der Dinge* zielt. Im Kontext der Naturzwecke votiert Kant dafür, die Welt »als ein nach Zwecken zusammenhängendes Ganze und als System von Endursachen anzusehen«. ²⁷⁶¹ Indessen besteht die moderne, prozessuale Variante in der organismisch-systemisch bzw. zellulären Metaphysik Whiteheads. Dessen universale wie teleologische Evolutionstheorie wird durch die Kybernetik wie die Systemtheorie vorausgesetzt, ²⁷⁶² und sie gilt für die *Theorie komplexer Systeme* in gleicher Weise, von der naturgesetzlichen *Gerichtetheit der Prozesse* physikochemischer Reaktionen angefangen bis zu den "*programmed functions*" starker Agententechnologie. ^{2763, 2764, 2765}

²⁷⁶¹ Vgl. Kant (1790: B 413).

²⁷⁶² Vgl. in Bezug auf die *Kybernetik* Rosenblueth et al. (1943), Rosenblueth/Wiener (1950), Foerster et al. (1968), Pask (1969), Glasersfeld (1990); in Bezug auf die *Systemtheorie* vgl. Luhmann (1968, 1981).

²⁷⁶³ Teleologie bezeichnet dann die *Ziel- bzw. Zweckgerichtetheit* eines Prozesses; bezogen auf das Systemdenken lässt sich auch von *ziel- resp. zweckbestimmten Ordnungs- bzw. Verhaltensmustern* sprechen.

²⁷⁶⁴ Ein makroskopisches Ereignis lässt sich demnach als Resultat eines Prozesses betrachten, der wesentlich auf die Herbeiführung dieses Resultates gerichtet ist, vgl. in anderem Zusammenhang Spaemann/Löw (1991: 302).

²⁷⁶⁵ Dass menschliche Handlungen überhaupt nur im Kontext ihrer Zielgerichtetheit verstanden werden können, bedarf keiner näheren Begründung, vgl. hierzu etwa Spaemann (1989: 366). Nach Spaemann/Löw (1991: 302) kann das Funktionieren von Automaten nur in einer teleologischen Sprache beschrieben werden; gleichzeitig aber "wollten" sie ja von sich aus nichts. Indessen wird eine solche Position im Kontext der starken Agententechnologie hinfällig, wobei diese wiederum universal im Zeichen von Mayrs (1992: 126 f.) CPSS-adäquaten "*programmed functions*" zu sehen ist.

Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, wenn der reduktionistische Erklärungsansatz Darwins der modernen Evolutionsbiologie wie speziell auch einzelnen Neodarwinisten als nicht ausreichend erscheint. Die moderne Biologie gibt sich weder mit vitalistischen Entelechien noch mit dem Zufall zufrieden, selbst wenn dieser mathematisch behandelbar und damit einer wissenschaftlich exakten Herangehensweise zugänglich ist. Vielmehr sucht die moderne Biologie ein neues Evolutionsverständnis, das sie schließlich in der systemisch-organismischen Weltauffassung Whiteheads findet.²⁷⁶⁶ Konsequenterweise rückt ein neu gedachtes Teleologiemoment in den Fokus: Pittendrigh (1958), Ayala (1998) und selbst Neodarwinisten wie Mayr (1998) fordern damit ein internes Teleologieprinzip ein, das letztlich dem Whiteheadschen entspricht. Insgesamt ist es somit richtig, wie Mayr (1979: 199) die Notwendigkeit zu sehen, die Diskussion um das Teleologiemoment in den Kontext der konträren Weltauffassungen zu stellen. Konkret geht es dabei um den bereits durch Bertalanffy aufgegriffenen Widerstreit *Vitalismus vs. Mechanismus*. Mit der prozessualen Natur des "general world view" der AI-Disziplin und dem *Information Processing* als *Prozess* sind gerade die kausalen Gesichtspunkte solcher Prozesse zu hinterfragen. Denn sie sind ontologisch bestimmend, indem das Prinzip der kausalen Wirksamkeit das transdisziplinäre Existenzprinzip der Klasse-4-Metaphysik markiert. Auch das an Darwin angelehnte *Evolutionary Computation* macht deutlich, dass die Disziplin in allen Teilen mit Fragen der Weltauffassung durchsetzt ist. Dementsprechend muss sie sich mit den gängigen Weltauffassungen auseinandersetzen, was mit Blick auf die heute führenden neoaristotelisch geprägten TLO-Ansätze dringlicher denn je erscheint. Denn damit wird die ursprüngliche Leibniz-Whiteheadsche Weltsicht ins unsachgerechte Gegenteil verkehrt und mit der daran anschließenden deskriptiven Metaphysik gänzlich auf den Kopf gestellt.

Der Vitalismus geht zwar auf Driesch (1905, 1928) zurück, spiegelt jedoch im Kern die aristotelische Position, was gerade hinsichtlich des Teleologiemoments gilt. Dabei zeigt sich die vitalistische Weltauffassung durch ein zwar aktives, jedoch *externes*, transzendentes Evolutionsprinzip bestimmt. Demgegenüber handelt es sich bei der mechanistischen Weltauffassung um ein passives Universum, wie es die Weltauffassung bei Galilei, Descartes und Newton bestimmt, die die Physik partiell selbst noch im zwanzigsten Jahrhundert bestimmen.^{2767, 2768} Hier wird das Universum wie Organismen als *Maschinen* interpretiert mit der Bewandnis, sie auf Basis abstrakter Modelle *exakt* zu fassen. Organismen

²⁷⁶⁶ Dieses ist umso mehr notwendig, als mit Bertalanffy (1944: 87) auch die These des *Lamarckismus* von der Vererbung erworbener Eigenschaften an die Nachkommen in der Biologie seit langem widerlegt ist.

²⁷⁶⁷ Etwa für Hertz (1894: XXIII) gilt: »Alle Physiker sind einstimmig darin, daß es die Aufgabe der Physik sei, die Erscheinungen der Natur auf die einfachen Gesetze der Mechanik zurückzuführen«, und Boltzmann (1903: 12) oder H. Klein (1872: 120) strebten gar noch danach, auch *organische Prozesse* auf *mechanistische Prinzipien* zurückzuführen und selbst Krankheiten des menschlichen Körpers über rein mechanische Ursachen erklären zu wollen.

²⁷⁶⁸ Allerdings wurde das mechanistische Denken auch in den Reihen der Wissenschaften bereits früh in Frage gestellt, etwa mit der bereits im achtzehnten resp. neunzehnten Jahrhundert formulierten Hypothese von Boscovich und Faraday, wonach nichtmechanistisches Verhalten selbst auf der Stufe der Atome existieren könnte, vgl. hierzu etwa M.B. Hesse (1955), Whyte (1958) sowie J.B. Spencer (1967).

werden als *maschinelle Körper* konzipiert; sie werden lediglich auf die Geometrie der Materie reduziert, um sie mathematisch bestimmen zu können. Darin besteht eine zentrale Bewandnis des Cartesischen Dualismus, und nicht umsonst differiert die Cartesische *Mathesis universalis* fundamental von der formallogisch gedachten Leibnizschen Variante. Bei Descartes bezieht sie sich allein auf Körper, Materie bzw. die *res extensa*; wie bei Galilei wird Natur mit Materie gleichgesetzt. Nur was in der Natur erforscht werden kann, ist letztlich Wirklichkeit.²⁷⁶⁹ Wir haben es bei Descartes also mit einer *mechanistischen Naturphilosophie* zu tun,²⁷⁷⁰ die für die Wissenschaften bis ins zwanzigste Jahrhundert bzw. bis zur Whiteheadschen (1929a) Fundamentalkritik und seinem alternativen "*general world view*" bestimmend ist.²⁷⁷¹ Entsprechend handelt es sich bei der Cartesischen *Mathesis universalis* um eine an der Mathematik, insbesondere an der Geometrie orientierte Universalwissenschaft.²⁷⁷² Die Mathematik bezieht sich zwar allein auf die *res extensa*; sie setzt allerdings die *res cogitans* als mathematisches Reflexionsvermögen voraus.²⁷⁷³ Insofern impliziert der Cartesische Dualismus zugleich eine *Subjekt-Objekt-Dichotomie*, die ihrerseits unüberbrückbar ist.

Das *Emergent Computing*, das einen wichtigen Schwerpunkt in der Programmatik des Santa Fe Institute der Komplexitätsforschung bildet,²⁷⁷⁴ verdeutlicht wesentliche ontologische Aspekte der Informationsverarbeitung als solcher, etwa die Emergenz neuer Entitäten. Vor seinem Hintergrund wird es erforderlich, den Unterschied zwischen *organismischer und mechanistischer Weltauffassung* zu verstehen, der bereits bei Kant (1790) Erörterung findet. Dieser Unterschied besteht im Kern darin, dass letztere keine "*in sich bildende*

²⁷⁶⁹ Vgl. hierzu auch Olschki (1943), insbes. p. 360.

²⁷⁷⁰ Vgl. Gabbey (1993) und Osler (1994: 201 ff.).

²⁷⁷¹ Diese mechanistische Naturphilosophie, die bei Descartes (1637, 1644a) grundgelegt wird und die auf Galilei zurückreicht, entfaltet ihre Spätwirkung bis ins zwanzigste Jahrhundert, die bereits bei Descartes (1644a), jedoch hier allein in Hinsicht auf die *rein funktionale Organisation* mit dem Gleichnis eines *Uhrwerks* verdeutlicht wird, vgl. hierzu auch Popper (1974a: 262). In der Folge Descartes' wurde dann die gesamte materialistisch gedeutete Welt als "*großes Uhrwerk*" oder als "*Weltmaschine*" gesehen, der Geist analog dazu als "*Denkmaschine*". Entsprechend stellt J. Lange (1734: 13) in seiner Kritik der mechanistischen Philosophie und des Maschinendenkens heraus: »Es verhält sich die Welt nicht anders, als ein Uhrwerck«. Somit bleibt für Lange (1734: 15) in seinen an die *mechanistische Philosophie* gestellten *hundertunddreißig Fragen* zu klären, ob »der Mensch nach Seel und Leib, als ein gedoppeltes Uhrwerck, mit Aufhebung aller Freyheit [...] vorgestellt werde?«. Wesentlich ist dabei, dass es bereits auf Basis der Mechanistik eine Symbiose von Physik und Biologie gibt. Denn auf dieser Basis entwickelt sich auch ein lange Zeit vorherrschendes biologisches Denken, das ebenfalls auf der Mechanik eines *Uhrwerks* als Modell für Lebensprozesse basiert, wie es durch Descartes (1637: V, 59) allerdings nur auf die Einrichtung *tierischer Organe* bezogen wurde, vgl. hierzu kritisch Damasio (1994) sowie ergänzend T.S. Hall (1970). Somit erwachsen aus diesem mechanistischen Denken auch Entwicklungen, die nicht mehr konform gehen zur eigentlichen Intention des Descartes. La Mettrie (1748) etwa überträgt in seinem Werk *L'Homme Machine* das mechanistische Schema im expliziten Rekurs auf Descartes nun auch auf den Menschen. Damit realisiert er einen *materialistischen Monismus*, der sich natürlich nicht mit dem Cartesischen Dualismus verträgt. – Es wird deutlich, dass diese *mechanistische Sichtweise* noch in der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts auch die theoretischen Gesichtspunkte der Welt 4 bestimmt hat.

²⁷⁷² Vgl. Vuillemin (1960), Van de Pitte (1979), J.A. Schuster (1980) sowie Sepper (1996: 41, 144 ff.).

²⁷⁷³ Vgl. Rosenfield (1940: 8): »Here we must recall that just as the essence of the *cogito* in the Cartesian system is conscious reason, so too the essence of what Descartes understands by soul is reflective consciousness of self and of the object of thought«; damit gilt: »All reason is spiritual and immortal, according to the Cartesian dualism; all matter incapable of thought«, vgl. Rosenfield (1940: 21).

²⁷⁷⁴ Vgl. hierzu etwa Langton (1990).

Kraft", sondern "*lediglich bewegende Kraft*" besitzt. Kants organismische Weltauffassung wird bei Whitehead zur organismisch-systemischen Weltauffassung ausgebaut, die ein aktives, schöpferisch-kreatives, emergentistisches Universum voraussetzt. Dessen Evolution zeigt sich durch das *interne Selbstorganisationsprinzip* in Form organismisch-zellulärer Interaktion, d.h. durch seine kausalen Momente bestimmt. Bei Whitehead (1929a) geht es um die »self-creation of an actual entity« und andere Aspekte der Selbstorganisation,²⁷⁷⁵ wobei jede Entität wiederum als Element *komplexer Systeme* aufzufassen ist.

Whiteheads Teleologiemoment lässt sich als internes Prinzip am besten im Zeichen von "*programmed functions*" verstehen. Damit geht das Whiteheadsche Teleologieprinzip mit der synthetischen Evolutionstheorie bzw. der modernen Evolutionsbiologie konform, indem Whitehead (1929a) ein moderates Teleologiekonzept vertritt, für das gilt: »Process is the growth and attainment of a final end«. ²⁷⁷⁶ Demgegenüber ist für die moderne Evolutionsbiologie teleologisch letztlich nichts anderes bestimmend, indem sie sich an dem orientiert, was Pittendrigh (1958) als Mitbegründer der Chronobiologie darunter versteht. ^{2777, 2778} Bewusst wird hier dem vorbelasteten bzw. in ambiguer Weise gebrauchten *Teleologiebegriff* ein enger definierter *Teleonomiebegriff* entgegenstellt. ²⁷⁷⁹ Indem Pittendrigh (1958: 394) lebende Systeme als *organisiert* erachtet, eröffnet sich die Repräsentation durch die Whiteheadsche Prozessmetaphysik und ihrem universalen Organismus. Pittendrigh (1958: 394) fragt: »'To what end is the living system organized?' Thus to say that living things are organized is to say they are adapted«. ²⁷⁸⁰ Für die Informatik ist dabei nicht unwesentlich, dass der Terminus "Teleonomie" hier für jene Art der Ziel- resp. Zweckgerichtetheit steht, die *als Resultat von Programmen* zu verstehen ist. ²⁷⁸¹ Es geht damit im Whiteheadschen Sinne um zelluläre *Regelmechanismen*, die sich durch *objektive Gesetzmäßigkeiten* bestimmt zeigen. Wenn im folgenden Pkt. 4.3 deutlich wird, dass in der *Theorie zellulärer Automaten* bzw. in *Complex Adaptive Systems* (CAS) der ratio-empirische Mittler der *Klasse-4-Metaphysik* besteht, kommt man der Suche nach der empiristischen Universalsynthese dann näher, wenn es offensichtlich ebenso in der Evolutionsbiologie um zelluläre Automaten Whiteheadscher Provenienz geht: »The term teleonomic [...] implies goal-direction of a process or activity. It deals strictly with proximate causations. They occur

²⁷⁷⁵ Vgl. Whitehead (1929a: 25).

²⁷⁷⁶ Vgl. Whitehead (1929a: 150).

²⁷⁷⁷ Neben E. Mayr sind es andere Architekten der *synthetischen Theorie der biologischen Evolution*, die Pittendrighs (1958) *Teleonomiemoment* in die moderne biologische Evolutionstheorie inkorporieren, vgl. Mayr (1961, 1974b), Ayala (1970) sowie Dobzhansky (1974).

²⁷⁷⁸ Jenseits Pittendrighs (1958) diskutiert Ayala (1968: 212 ff.) *teleologische* Erklärungen in der Biologie.

²⁷⁷⁹ Nahezu das gesamte philosophische Denken ist geprägt durch den Gedanken der *Teleologie*, vgl. hierzu Spaemann/Löw (1991) sowie Toulmin (1981). Indem teleologische Ansätze bei den Vorsokratikern anfangen, über Platon, Aristoteles, Thomas von Aquin, Leibniz, Kant, Schelling, Hegel bis etwa hin zu Whitehead reichen, steht außer Frage, dass es sich dabei um teils sehr divergente Konzeptionen handelt.

²⁷⁸⁰ Im Zuge der Adaption sind für Pittendrigh (1958: 406) neben "behavior patterns" auch Wahlhandlungen ("choices") konstituierend: »The organism is exploiting all relevant information sources bearing on the desiccating power of the environment; and responding in a complex fashion also«, vgl. Pittendrigh (1958: 407), ohne Hvh. des Orig.

²⁷⁸¹ Vgl. Spaemann/Löw (1991: 302); vgl. hierzu auch Mayr (1974a).

in cellular-developmental processes, and are most conspicuous in the behavior of organisms«. ²⁷⁸² Entsprechend gilt: teleonomische Vorgänge resp. teleonome Prozesse sind für Pittendrigh (1958) solche, deren Zielgerichtetheit auf *die Regelmechanismen und damit auf das Wirken eines Programms* zurückgeht. Der Teleonomiegedanke ist dabei auch aus dem Grunde besonders hervorhebenswert, als er die Darwinsche Evolutionstheorie insofern grundlegend konterkariert, indem diese gerade die Auflösung des klassischen metaphysischen Teleologiedenkens impliziert. ²⁷⁸³ Analoges ist in Bezug auf den kosmischen Teleologiegedanken bei Aquinas wie den immanenten Teleologiegedanken des aristotelischen Entelechiekonzepts festzustellen. Gegenüber diesen unterscheidet sich das Teleonomiekonzept gerade dadurch, dass die Zielgerichtetheit der Prozesse aus den Strukturen dieser Prozesse selbst erklärbar sein sollen und entsprechend keine Zusatzannahmen über externe oder interne Ziele der Prozesse getroffen werden.

Ungeachtet dessen wird Pittendrighs (1958) Entgegensetzung der Teleonomie zur aristotelischen Teleologie durch Mayr (1979: 210 f.) als »nicht gerade besonders glücklich« erachtet. ²⁷⁸⁴ Denn unter Teleologie, so stellt Mayr richtig heraus, wird in den einzelnen Metaphysiken etwas ganz Verschiedenes verstanden. Um diese Konfusion aufzuheben schlägt Mayr eine andere Strategie vor: die Teleologie bildet als generische Klasse eine Art Oberbegriff, unter den vier verschiedene Konzepte subsumiert werden; teleonomische Vorgänge bilden dabei eine solche Unterklasse. ²⁷⁸⁵ Mayr assoziiert vier verschiedene Konzepte resp. Prozesse mit dem Teleologieprinzip: (1) *Teleonomic activities*, (2) *Teleomatic processes*, (3) *Adapted systems* und (4) *Cosmic teleology*. ²⁷⁸⁶ Dabei zielt das Teleonomische auf die belebte Natur, das Teleomatische im Kontext der Naturgesetze auf die unbelebte Natur, die adaptierten Systeme auf vergangenheitsbezogene Selektionsprozesse und schließlich die kosmische Teleologie auf das Universum insgesamt. ²⁷⁸⁷ Für Mayr bietet sich diese Aufteilung umso mehr an, als er auch beim *Teleonomiebegriff* Pittendrighs (1958) verschiedene Bedeutungen ausmacht: Nach Mayr (1992: 126 f.) steht dieser entweder für "*programmed functions*" oder für "*adaptedness*". Beides ist offensichtlich für *Cyber-physische Systeme* (CPS) von Relevanz, womit sich die Korrespondenz zu Whitehead zeigt. Mayr (1992) schränkt den Term schließlich auf "*programmed activities*" ein und definiert

²⁷⁸² Vgl. Mayr (1992: 127).

²⁷⁸³ Vgl. Pittendrigh (1958: 392 f.) sowie Birch (1974: 226) und Mayr (1991: 10 f.; 1992; 1997: 12 ff.); vgl. hierzu auch Ayala (1968: 217) sowie Toulmin (1981: 144).

²⁷⁸⁴ Pittendrigh (1958: 394) sieht fälschlicher Weise die aristotelische *Teleologie* im Sinne eines effizienten Kausalprinzips; vgl. hierzu auch Spaemann/Löw (1991: 302).

²⁷⁸⁵ Vgl. Mayr (1979: 198 ff.).

²⁷⁸⁶ Vgl. Mayr (1982: 48 ff.); vgl. hierzu auch Mayr (1998).

²⁷⁸⁷ Mayr (1992: 127) weist darauf hin, dass Pittendrigh und er selbst – entgegen vielfacher Auffassung – den Term "teleonomisch" nicht als Surrogat für den Term "teleologisch" in die Evolutionsbiologie eingebracht haben. Vielmehr stehe der Term "teleonomisch" für lediglich eine der vier verschiedenen Bedeutungen des generischen Terms "teleologisch", die Mayr (1982: 48 ff.) abgrenzt. Dabei gilt für ihn: »[D]ie Mehrzahl der Beispiele, die Aristoteles von endgerichteten Vorgängen gegeben hat, [betrifft] haargenau dieselben Dinge, die Pittendrigh und ich teleonomisch nennen würden«, vgl. Mayr (1979: 211). Demgegenüber ist es mit Mayr (1991: 10) illegitim, aus der Existenz teleonomischer und teleomatischer Prozesse auf die Existenz einer kosmischen Teleologie schließen zu wollen.

ihn wie folgt: »a teleonomic process or behavior is one that owes its goal-directedness to the operation of a program«. ²⁷⁸⁸ Im Sinne von Mayrs (1974a) "behavior programs" resp. internen Programmen impliziert der Term "teleonomisch" für Mayr (1992) damit die *Zielgerichtetheit von Prozessen bzw. Aktivitäten*. Eine solche Zielgerichtetheit zeigt sich etwa anhand der Homöostase, also der dynamischen, umweltangepassten Selbstregulierung eines Systems. Mit Blick auf die Ontologie der Informatik ist besonders herauszustellen, dass Mayr (1979: 213) sich bei seinen *Programmen* explizit an der Sprache der Informatik orientiert, und er das Teleologiemoment genauso wie Pittendrigh (1958) über die regelbasierte Informationsverarbeitung zu erschließen sucht. Die biologische Bedeutung der Informationsverarbeitung wird auch durch Ayala (1974: 353) als essentiell erachtet: »The ability to gather and to process information about the environment [...] is an important biological parameter«. In dieser Sache geht es für Mayr (1974b: 102) um weit mehr als um eine lose Analogie, indem er konstatiert: »A computer may act purposefully when given appropriate programmed instructions«, und somit entspricht dieses Teleologieverständnis jenem, um das es schließlich bei Burks (1988) im Kontext der Automatentheorie geht.

Mit Popper (1982b: 31) gilt: »Cosmological speculations play, and have always played, an immensely important role in the development of science«, womit wir in Bezug auf den Ratio-Empirismus zu einem letzten Aspekt kommen, nämlich jenen der *Systemontologie*. Die meta-ontologische Voraussetzung des Systemgedankens ist keineswegs selbstverständlich, und er stellt sich in den wissenschaftlichen Ontologien von Bunge und Whitehead auch jeweils speziell dar. Wie weiter unten im Zeichen des universalen Strukturalismus deutlich wird, geht es bei Whitehead um eine spezifische Form von Strukturenrealismus. Wenn also die Strukturen real sind, dann sind für Whitehead bei systemischen Strukturen auch die Systeme bzw. das Relationale real, womit die Whiteheadsche Ontologie auch als *Relationenontologie* bezeichnet wird. Der Systemgedanke steht bei Whitehead (1929a) wie später bei Teilhard de Chardin (1955) im Zeichen der Kosmologie; der Kosmos ist System bzw. macht das Systemische bei Whitehead aus. Nicht jede Metaphysik ist *Kosmologie*, genauso wenig wie nicht jede Metaphysik *Scientific Metaphysics* ist. Doch wenn es um diese Art von Metaphysik geht, dann lässt sich dies kaum gestalten ohne den Rückgriff auf den Systemgedanken. Denn jeder Einheitsgedanke der Wissenschaften realisiert sich als *System*. ²⁷⁸⁹ Das gilt umso mehr, wenn die Ontologie auf Komplexität abstellt, denn dann geht es um die methodologische bzw. metaphysische Voraussetzung komplexer Systeme. Mit Blick auf die *Knowledge Ontology* werden *komplexe Systeme* im Zeichen des IMKO *OCF* zwangsläufig metaphysisch vorausgesetzt, indem sich die relevanten Kategorien nicht anders identifizieren lassen als über ein in sich geschlossenes Metaphysiksystem. Ein sachgerechtes Wechselspiel von Metaphysik und Wissenschaften wie auch der Vollzug

²⁷⁸⁸ Vgl. Mayr (1992: 127), ohne Hvh. des Orig.; vgl. identisch Mayr (1978: 87).

²⁷⁸⁹ Vgl. hierzu auch Butts (1991), wobei sich die *metaphysische* und die *pragmatische* Variante dann nicht ausschließen, wenn Metaphysik hier allein auf eine *Wissenschaftsontologie* beschränkt wird; dann verhalten sich beide Varianten vielmehr komplementär zueinander.

einer transdisziplinären Wissenschaftspraxis ist somit insgesamt nur möglich, wenn man versucht, alle Disziplinen auf eine einheitliche Basis komplexer Systeme zu bringen. Apostel (1963) stellt hierzu mit seiner *Scientific Metaphysics* fest:

»The main instrument however for this study of complex organisations (and a necessary preparation for metaphysics) will have to be the general theory of systems, the cosmos being such a peculiar complex organisation. Theory of systems is not metaphysics or philosophical cosmology; theory of systems is a more general discipline. However metaphysics presupposes a theory of systems.«²⁷⁹⁰

Somit ist offensichtlich auch das Verhältnis der Whiteheadschen Komplexitätsmetaphysik und der *Theorie komplexer Systeme* kein einseitiges. Vielmehr ist letztere mit Pkt. 4.3 ratio-empirischer Mittler zur revisionären Metaphysik, während andererseits die Metaphysik die meta-ontologischen Dispositionen und Kategorien klärt, ohne die die Komplexitätsforschung letztlich nicht zur transdisziplinären Strukturwissenschaft avancieren kann.

Ad (ii) ist bereits an dieser Stelle die Rehabilitierung Whiteheads zu fordern, die mit G.R. Lucas (1989) aus dem Grunde notwendig ist, weil man die Whiteheadsche Prozessmetaphysik lange Zeit entweder nicht verstanden bzw. landläufig fehlinterpretiert hat,²⁷⁹¹ oder sie im besten Fall in der wissenschaftlichen Landschaft nicht *en vogue* war oder im schlechtesten Fall bewusst in Misskredit gebracht wurde.²⁷⁹² Erstes Problem ist Whitehead letztlich selbst anzulasten; selbst gestandene und einschlägig bewanderte Philosophen wie der Britische Emergentist C.D. Broad (1948: 144) räumen offen ein, dass sie die Whiteheadsche (1925, 1929a) Metaphysik kaum verstehen: »*Process and Reality* is one of the most difficult philosophical books that exist [...]. I cannot pretend to understand much of it [...]«. Was man nicht versteht, wird auch kaum bis gar nicht rezipiert. Der Grund der eigentümlichen Whiteheadschen Sprache ist jedoch ein einfacher; sie entspricht seiner Ablehnung der *Subjekt-Prädikat-Struktur* der sprachphilosophischen Ontologie und ihrem Objektzentrismus, seiner Ablehnung des *Common Sense* als ausschließlicher Weltansicht, seiner Ablehnung jedweder disziplinärer Trennung, seiner Ablehnung der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* sowie seiner Ablehnung des Cartesischen Dualismus, aus dem letztlich die übliche sprachkulturelle Trennung von Natur- und Geisteswissenschaften resultiert. Whitehead schreibt vielmehr wie er denkt, nämlich ereigniszentrisch-perdurantistisch, antimaterialistisch, organismisch-systemisch, mathematisch-strukturalistisch, transdisziplinär in der epistemologischen Perspektive des kritischen Realismus. Im Grunde genommen ist Whitehead damit nur konsequent: wenn er mit der aristotelischen bzw. Cartesischen Metaphysik tatsächlich radikal brechen will, dann kann er auch kaum in ihren Sprachmustern argumentieren. Whiteheads Sprache ist vielmehr eine transdisziplinäre Sprache, wie sie für die universale Perspektive der Metaphysik an sich auch nicht unpassend ist. – Indessen gibt es einen Weg, das Whiteheadsche Werk allgemeinverständlich zu übersetzen, und dieser besteht darin, dass man die *Theorie zellulärer Automaten* in ihren Whiteheadschen Grund-

²⁷⁹⁰ Apostel (1963: 87).

²⁷⁹¹ Vgl. hierzu Hartshorne (1935) und A.H. Johnson (1943).

²⁷⁹² Vgl. Hartshorne (1961), Wein (1961: 293) sowie Harris (1986); vgl. zur Whitehead-Rezeption auch Wolf-Gazo (1984).

zügen auslegt, und sie dann in die meta-ontologischen Dispositionen und Kategorien der *Top-level Ontologie* der Informatik übersetzt.

Das zweite Problem ist hingegen allein mit Blick auf die vermeintlichen Alternativen bzw. Gegenpositionen zu verstehen, wobei einige, wie etwa Bunge, in der Whiteheadschen Position explizit einen wissenschaftlichen "Gegner" ausmachen. Hinsichtlich dieser vermeintlichen ontologischen Alternativen lassen sich im Wesentlichen drei Gruppen unterscheiden: (a) die Positivisten bzw. Physikalisten als erklärte Metaphysikkritiker, (b) die materialistischen Metaphysiker wie Bunge als Gegner jeden Antimaterialismus, sowie (c) die Sprachphilosophen bzw. deskriptiven Metaphysiker, die mit ihrer Position letztlich eine Primarität des *Subjekt-Prädikat-Objekt-Schemas* postulieren. Man könnte geneigt sein noch eine vierte Gruppe zu unterscheiden, jene der neo-aristotelischen Substanzontologen, die mit ihrem Endurantismus bzw. der Primarität von Substanzen, Dingen oder Objekten einen Gegenpol zu Whiteheads perdurantistischer Prozessmetaphysik bilden. Allerdings lässt sich diese Gruppe entweder den vorgenannten materialistischen "*Furniture-Ontologien*" oder den linguistisch geprägten *Common Sense-Ontologien* zuordnen. Auch auf die Differenzierung einer fünften Gruppe, nämlich das durch Einstein (1934) kritisierte "*Wolken-Philosophieren*", das alternativ unter der Bezeichnung "*armchair metaphysics*" firmiert, kann entfallen, indem es unter die Analytische Philosophie und damit insgesamt unter die deskriptive Metaphysik der dritten Gruppe fällt. – Vor diesem Hintergrund steht außer Frage, dass eine Rehabilitierung Whiteheads dann ausgeschlossen wäre, wenn es sehr gute Argumente für eine dieser drei Positionen geben würde. Tatsächlich aber gibt es sie nicht. Vielmehr liegen die großen Probleme genau umgekehrt in diesen fünf denkbaren Alternativen zur Whiteheadschen Position. Entsprechend seien die drei Kernalternativen nochmals kurz reflektiert:

Ad (a) wurden die Defizite des Positivismus bereits im Einzelnen erläutert; echte anti-metaphysische Positionen werden heute im Grunde nicht mehr vertreten, womit der Positivismus als Ganzes auch an Befürwortung verloren hat. Es sei hier nochmals mit Pkt. 4.1 an Einsteins Kritik an dieser Position erinnert. Ad (b) verdeutlichen gerade *Cyber-physische Systeme* (CPS), aber auch eine ganze Reihe weiterer Zusammenhänge wie etwa die starke Emergenz, dass in materialistischen "*Furniture-Ontologien*" keine Alternative bestehen kann. Auch das hat viele Gründe, unter anderem, dass der primäre "Grundstoff" des Universums – ohne deren Bedeutung zu nivellieren – vielfach nicht mehr in der *Materie*, sondern vielmehr in der *Information* gesehen wird, was im folgenden Punkt näher thematisiert wird. Vor allem zeigt gerade die Informatik, dass der aristotelische Hylemorphismus, bei dem die Form immer an der Materie hängt, für eine universale Ontologie kaum als wegweisend erachtet werden kann. Der Existenz- wie der Realitätsbegriff wird zunehmend nicht mehr im engen materialistischen Sinne ausgelegt. Zwar lässt sich auf den ersten Blick darüber streiten, inwiefern Artefakte tatsächlich physisch real sind. Allerdings zeigen gerade *Cyber-physische Systeme* (CPS) bzw. andere Technologien im Zeichen der Down-

ward Causation, dass sie mit ihren kausalen Wechselwirkungen offensichtlich im Systemganzen als physisch real zu erachten sind. Indem mit dem fünften und sechsten Teil deutlich wird, dass weder die Bungesche *Scientific Metaphysics* noch sonstige neo-aristotelische Ontologien die Whiteheadsche Position tatsächlich in Frage stellen können, haben sich auch die materialistischen "*Furniture-Ontologien*" als ontologische Alternative erledigt. Unter Pkt. 5.3 findet sich mit Abb. 30 nochmals eine komparative Analyse der Metaphysiken Bunges vs. Whiteheads, die nicht zuletzt die Inadäquanz der Bungeschen Position für alle Strukturwissenschaften – allen voran für die Informatik – verdeutlicht.

Ad (c) geht es um die deskriptive Metaphysik, die eine Alternative zur revisionären Metaphysik Whiteheads darstellen können müsste. Allerdings wird mit dem *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) deutlich, dass dem nicht so ist. Wenn Computer zu *cyber-physischen "Reality Machines"* avancieren, die mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, dann kommt man im IoX/RWI-Kontext offenbar nicht um eine revisionäre Metaphysik umhin. Dass es sich dabei um eine techno-wissenschaftliche *Klasse-4-Metaphysik* handelt, die zugleich Prozessmetaphysik wie Digitalmetaphysik ist, erklärt sich dabei im Grunde von selbst. Demgegenüber kann ein primär linguistischer bzw. sprachphilosophischer Zugang zur Ontologie, wie ihn die deskriptive Metaphysik voraussetzt, natürlich keinen einzigen RWI-Zusammenhang klären. Damit kann sie letztlich auch keine RWI-adäquaten Kategorien bestimmen, was ontologisch jedoch erforderlich ist. Denn die sprachliche Ebene ist gewiss nicht ontisch, sondern sie ist epistemisch. Dabei steht es außer Frage, dass es ein grundlegender Irrtum ist, wenn Ontologie einseitig epistemisch ausgelegt wird, indem dies im *cyber-physischen "Reality Computing"* fatale Konsequenzen mit sich bringen kann. Mit anderen Worten benötigt jeder maschinelle CPS-Agent eine stetige Aktualisierung bzgl. gesichertem objektiven Wissen, indem sein kausales Handeln nicht auf dazu widersprüchlichem epistemischen Wissen basieren kann. Dabei wird diese Position umso denkwürdiger, wenn außer Frage steht, dass ihr fundamentaler Irrtum auch noch auf einer gründlichen Fehlinterpretation der metaphysischen Position Kants beruht, auf die sie sich gerade explizit beruft. Demgegenüber ist das "*Wolken-Philosophieren*", das nicht unwesentliche Teile der Philosophie bestimmt, nicht nur in seiner sprachphilosophischen Basis als kritisch zu erachten. Zu bedenken ist ferner, dass sie letztlich nur sehr eingeschränkt *Modale Metaphysik* (*modal metaphysics*) sein kann, was bislang kaum gesehen wird. Denn sie kann zwar für die Modalität "*de dicto*" adäquat erscheinen; für die Modalität "*de re*" ist die "*armchair metaphysics*" hingegen völlig ungeeignet, denn dazu müssen die empirisch gegebenen Sachverhalte an sich zunächst inhaltlich verstanden sein. Die Modalität "*de re*" ist bei *Cyber-physischen Systemen* (CPS) letztlich nur dann zu erörtern, wenn zuvor beide Welttypen im Zeichen einer *Klasse-4-Metaphysik* auf eine einheitliche Grundlage gebracht worden sind. Das aber kann eine *Modale Metaphysik* als *Klasse-2-Metaphysik* nicht leisten. Das korrespondiert mit Prigogine (1986a: 181), der konstatiert, dass »Philosophie und

Wissenschaft es sich eine Zeitlang leicht gemacht [haben] mit der gegenseitigen Abgrenzung ihrer Territorien«.²⁷⁹³

Somit ist vor dem Hintergrund *Cyber-physischer Systeme* (CPS) gezeigt, dass sich die vermeintlichen Alternativen, die die Whiteheadsche Position implizit wie explizit in Misskredit gebracht haben, in Wahrheit keine Alternativen sind. Nicht Whiteheads Prozessmetaphysik hat sich als Irrweg entpuppt, sondern vielmehr genau umgekehrt alle durch Whitehead kritisierten Positionen: der Positivismus in seiner Ablehnung der Metaphysik, der Materialismus sowie der aristotelische Substanzgedanke mitsamt seines Hylemorphismus, und schließlich der durch Whitehead ebenso abgelehnte sprachphilosophische Zugang zur Ontologie. Somit lässt sich durchaus sagen, dass nicht nur die Informatik in der Ontologiefrage bis heute mehr oder weniger orientierungslos ist, sondern nicht weniger die Philosophie. Indem es dabei um die *Erste Philosophie* geht, lässt sich die ganze Tragweite dieses Irrwegs leicht erahnen. Denn er betrifft natürlich genauso alle Epistemologie und schließlich auch die Methodologie und Logik, indem eine prozessual-perdurantistische Weltauffassung auf einer ratio-empirischen Basis völlig andere Dispositionen impliziert, als sie die Philosophie gegenwärtig in weiten Teilen vornimmt. Nicht unwesentlich ist dabei der Umstand, dass auch sie in ihren Ontologiefragen nicht umhinkommt, *Cyber-physische Systeme* (CPS) mit ihrer real gegebenen Kausalität ontologisch zu berücksichtigen. Denn mit dieser physischen Kausalität lässt sich auch ihre physische Existenz nicht negieren. Darüber hinaus geht das kausale Wechselspiel *Cyber-physischer Systeme* (CPS) nicht nur auf Computerprogramme zurück, sondern im Zeichen von Pisanelli et al. (2002) mehr und mehr auf *Knowledge Ontologies*. Natürlich haben auch diese, wenn man sie sachgerecht als *Heavyweight-Ontologies* versteht, eine kausale CPS-Relevanz. Insofern muss sich die Philosophie mit ihnen beschäftigen, also nicht nur in der Hinsicht, dass jede rigorose Ontologie *formale Ontologie* ist, was auch in dieser Richtung das IMKO OCF impliziert.

Neben der erörterten Diskreditierung besteht das größte Problem der Whiteheadschen Metaphysik darin, dass sie bisher nur wenige verstanden haben. Das liegt wiederum daran, dass ebenso Cyber-physische Systeme (CPS) bis dato selten in ihrem ganzen Zusammenhang verstanden sind: Will man diese sachgerecht verstehen, muss man Whiteheads *Klasse-4-Metaphysik* als eigentliche Cyber-Physik verstehen, indem letztere als physisch-informativische Symbiose nur als *Cyber-Metaphysik* adressierbar ist. Das gilt in Bezug auf ihre techno-wissenschaftliche Universalität bzw. Transdisziplinarität, ihren Systemismus, ihre Komplexitätsperspektive oder ihren logico-mathematischen universalen Strukturalismus, der mit dem Datum bzw. der Information als "Grundstoff" unmittelbar in ihrer Eigenart als Digitalmetaphysik mündet.²⁷⁹⁴ Insofern ist sie als *Klasse-4-Metaphysik* auch allen

²⁷⁹³ Vgl. hierzu auch Prigogine (1984a: 434).

²⁷⁹⁴ Daneben lassen sich zahlreiche andere wissenschaftstheoretische Implikationen aus der Whiteheadschen Prozessmetaphysik ableiten, vgl. hierzu Northrop (1941), Wyman (1956), Bright (1958), Palter (1960), Grünbaum (1962), Mays (1977), Plamondon (1977, 1979) sowie Waddington (1977). Natürlich ist die Whiteheadsche Metaphysik mit Whiteheads Wissenschaftstheorie interdependent, vgl. auch Hintz

niederen Metaphysikklassen überlegen. Das gilt mit Pkt. 5.3 für Bunge Klasse-3-Metaphysik.²⁷⁹⁵ Das gilt genauso mit Pkt. 5.5 für die Klasse-2-Metaphysik der Analytischen Philosophie, deren Adäquanz etwa mit der Kritik bei Van Fraassen (2002), Mulligan et al. (2006) oder bei Simons (2010c) ebenso in Frage steht. Demgegenüber ist Kosmologen, die wie Popper umfassend wissenschaftstheoretisch geschult sind, klar, dass es gar keine Alternative zum prozessmetaphysischen Werk Whiteheads (1925, 1929a) gibt. Denn Aufgabe der Metaphysik ist es, die fundamentalen Strukturen aller Welten, insbesondere jedoch der Realität freizulegen. Dabei ist sie nicht nur in Perspektive wie Anwendbarkeit notwendig *universal* orientiert, sondern andererseits zugleich notwendig *Kosmologie*. Und das muss sie offensichtlich zuvorderst sein, indem es ansonsten zu einem "Wolken-Philosophieren" kommt, dem jede Orientierung fehlt. Denn eine ausschließliche Orientierung an der Sprache ist in ihrer Inadäquanz für die Modalität "de re" nicht einmal für eine bloße Modalmetaphysik hinreichend. Die Überlegenheit der Whiteheadschen *Klasse-4-Metaphysik* liegt vor allem darin begründet, dass sie sowohl die ratio-empirische Klasse-3-Metaphysik als auch in ihrer Eigenart als Digitalmetaphysik die modale bzw. aktuelle Klasse-2-Metaphysik inkorporiert. Modalmetaphysik ist also gerade auch in der *Klasse-4-Metaphysik* möglich. Mit der darauf aufbauenden Ontologiearchitektur von CYPO FOX ist sie dabei auf eine der vier Welten bzw. auf deren Wechselspiel zu beziehen.

Während keine Gründe *gegen* eine Rehabilitierung Whiteheads bestehen, sprechen vielmehr eine Vielzahl von Gründen *für* ihren Vollzug. Denn diejenigen, die das Whiteheadsche Werk tatsächlich verstanden haben, gelangen zu einer völlig anderen Einschätzung als die vorgenannten philosophischen Positionen glauben machen wollen: Ist es übertrieben, wenn Hartshorne (1984: 38) Whitehead als Platon des zwanzigsten Jahrhunderts sieht, oder wenn Latour (2005) Whitehead als bedeutendsten Metaphysiker des zwanzigsten Jahrhunderts einstuft? – Eine objektive Antwort auf diese Frage ist möglich, wenn man die Whiteheadsche Metaphysik als das versteht was sie ist, nämlich als *cyber-physische Digitalmetaphysik*. Genau das hat jedoch kein einziger der wenigen echten Whitehead-Kritiker verstanden, und wenn man gerade dieses Moment nicht versteht, dann liegt man offensichtlich automatisch falsch, wenn es um die Beurteilung des Whiteheadschen Werks geht. Objektiv betrachtet muss man vor diesem Hintergrund zu einer völlig anderen Einschätzung kommen: Die Whiteheadsche Metaphysik stellt in ihrer Eigenart als techno-wissenschaftliche Metaphysik, die zugleich eine Digitalmetaphysik verkörpert, die

(1955: 225). Analog zu Leibniz ist dabei auch Whiteheads *Metaphysik* im Zeichen der *Scientia generalis* zu sehen, vgl. hierzu Martin (1961).

²⁷⁹⁵ Es leuchtet ein, dass *Klasse-3-Metaphysiken*, die nicht am universalen logico-mathematischen Prinzip, sondern vielmehr physisch-empirisch an der räumlichen bzw. raumzeitlichen Lokalisierung von Entitäten festmachen, nicht transdisziplinär, sondern mit Pkt. 1.2 *querdisziplinär* veranlagt sind. Denn sie können die Einheit der Disziplinen allein an einem Naturalismus, Materialismus oder Physikalismus festmachen, und vermögen damit diese Einheit – jenseits des *ontologischen Reduktionismus* bei Oppenheim/Putnam (1958) – nie ontologisch zu schaffen. Sie wird dann zumeist *methodologisch* angestrebt bzw. – wie bei Bunge (2001b) – unter dem Deckmantel der "Interdisziplinarität". Bei der *Klasse-4-Metaphysik* wird auf Basis des *Transdisziplinaritätsmoments* demgegenüber eine echte *ontologische* Einheit möglich.

mächtigste Metaphysik überhaupt dar. So gesehen haben Hartshorne (1984) und Latour (2005) noch untertrieben, denn insofern Metaphysik zuvorderst *Kosmologie* sein muss, ist Whitehead als bedeutendster Metaphysiker überhaupt zu sehen. Tatsächlich gibt es keine Alternative in der höchsten Metaphysikkategorie.

Die wenigsten Philosophen haben Whitehead verstanden, da sie nicht wie Whitehead selbst von der mathematischen Physik bzw. mathematischen Logik zur Ersten Philosophie kommen und ihnen damit der Zugang zum Verständnis einer *transdisziplinären cyber-physischen Digitalmetaphysik* mindestens schwerfällt. Denn dazu ist, wie im Folgenden deutlich wird, von einem gänzlich anderen "Grundstoff" des Universums auszugehen, nämlich von der *physikalischen Information* bzw. der physischen Signalübertragung, die in einem strukturerhaltenden semantischen Informationsverständnis mündet. Insofern geht Whitehead weit über die Grundideen bei Platon hinaus, indem es nicht bloß um Formen, Ideen oder mathematische Gesetzmäßigkeiten geht, sondern um die harten Fakten der empirischen Wissenschaften, auf denen die Klasse-4-Metaphysik inklusive der logico-mathematischen Grundlagen begründet wird. G. Martin (1954) hat Whitehead verstanden, indem er die Whiteheadsche Prozessmetaphysik ausgehend von Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* als epochalen Wendepunkt mathematischen Denkens erschließt. Auf genau dieser Grundlage konstatiert G. Martin (1954: 160) in Bezug auf Whiteheads (1929a) *Prozessmetaphysik*, dass die »Rückwendung Whiteheads zur Metaphysik und zum dialektischen Platon [...] eines der wichtigsten Ereignisse der Philosophie der Gegenwart [ist]«. Das Verständnis seiner ganzen Programmatik setzt also Whiteheads (1937: 186) Maxime voraus: »We must end with my first love – Symbolic Logic«. Genauso stellt Whittaker (1948: 284) diesen Wendepunkt heraus: »The growth of logic, which had been at a standstill for the two thousand years from Aristotle to Boole, has progressed with amazing vitality from Boole to the present day, the greatest single contribution being *Principia Mathematica*«. Auch Tarski (1966) hebt die »epochemachenden Werke der großen englischen Logiker B. Russell und A.N. Whitehead« hervor, in denen die mathematische Logik ihren »bisher umfassendsten Ausdruck« gefunden hat.²⁷⁹⁶ In Fortsetzung des Booleschen Vermächtnis wird damit versucht,²⁷⁹⁷ die Mathematik auf der Grundlage der mathematischen Logik zu begründen, was für Pagels' (1988: 303) "*computation view of mathematics*" genauso Grundvoraussetzung ist wie insgesamt für die Digitalmetaphysik. Die Einheit der *logico-mathematischen Mathesis universalis, Scientia generalis und Metaphysica* zeichnet also nicht nur das Leibnizprogramm aus, sondern in dieser Tradition genauso die Programmatik Whiteheads.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die eigentliche metaphysische Innovation von Whiteheads Kosmologie nicht nur in der Einführung eines völlig neuen "Grundstoffs" in die Metaphysik besteht, sondern mit dem Datum bzw. der Information verbunden in der

²⁷⁹⁶ Vgl. Tarski (1966: 32, Fn. 1).

²⁷⁹⁷ Vgl. hierzu auch Leblanc (1961).

metaphysische Ontologisierung der Booleschen Logik. Die Digitalmetaphysik Whiteheads (1929a) läuft also der für die Entwicklung des Digitalrechners maßgeblichen technischen Umsetzung in Form von Shannons (1938) *Switching Circuits* voraus. Mindestens vor dem Hintergrund von Computern, die als *cyber-physische "Reality Machines"* mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, gebührt nicht nur Leibniz sowie Boole, sondern in ihrer Symbiose auch Whitehead ein grundlegendes Verdienst um die Begründung der Informatik. Dabei ist dieses Verdienst mit Blick auf das *Internet of Everything* als *Real World Internet* (RWI) elementar, wenn sich dieses nicht ohne die transdisziplinär verankerte *integrierte metaphysische Wissens-ontologie* des IMKO OCF realisieren lässt, die dem Whitehead-Popperschen kosmologischen Standpunkt entspricht.

Dass die oben erwähnten Einschätzungen von Hartshorne (1984) und Latour (2005) zum Stellenwert des Whiteheadschen Werks nicht übertrieben sind, wird auch daran deutlich, dass sie zunehmend geteilt werden, und zwar auch durch solche Ontologen, die an sich bzw. zuvor andere Positionen als Whitehead vertreten: Obschon Seibt (2005) in der Tradition der Analytischen Philosophie explizit eine "*non-Whiteheadian*" Prozessontologie vertritt, räumt sie ein, dass in Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik »die bisher erklärungsstärkste Ontologie« gegeben ist, da sie »insbesondere auch zur Interpretation des quantenphysikalischen Bereichs geeignet ist.«²⁷⁹⁸ Obschon er ursprünglich andere Positionen vertritt, konstatiert auch P.M. Simons (2009b), dass in Whiteheads (1929a) *Process and Reality* nicht nur das herausragendste metaphysische Einzelwerk des zwanzigsten Jahrhunderts gegeben ist, sondern er stellt es in seiner Bedeutung auf eine Stufe mit Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft*. Allerdings gilt auch hier, dass das Whiteheadsche Werk als metaphysische Universalsynthese über das Kantische weit hinausgeht.²⁷⁹⁹ Dabei geht es

²⁷⁹⁸ Vgl. Seibt (2005: 198, Fn. 3).

²⁷⁹⁹ Diese Auffassung lässt sich dahingehend spezifizieren, dass es bei Whitehead um eine ratio-empirische *Klasse-4-Metaphysik* geht, während die Kantische als *Klasse-2-Metaphysik* zu verorten ist. Zwar greift Kant in seinen Argumentationen zuweilen auf Newton zurück, doch handelt es sich an sich nicht um eine wissenschaftliche Metaphysik. Das liegt vor allem darin begründet, dass gemäß der Metaphysiksystematik Wolffs (1730), der auch Kant explizit folgt, die Kantische (1781) Metaphysikkritik ausnahmslos eine *metaphysica specialis* darstellt. Demgegenüber verkörpert Whiteheads (1929a) Metaphysik im Sinne Wolffs (1730) die *metaphysica generalis* und *metaphysica specialis* zugleich, womit es sich um eine vollständige Metaphysik handelt. Wenn die deskriptive Metaphysik wesentlich auf Kant aufbaut, übersieht sie diesen maßgeblichen Unterschied: Während Kant (1781) der Ontologie lediglich propädeutischen Charakter zubilligt, ist mit Meixner (2007: 95) festzustellen, dass die *formale Ontologie* allein eine *metaphysica generalis* darstellt. Mit E.J. Lowe (2002b: 14; 2003: 4; 2006b: 3 f.) steht die Ontologie aber vielmehr im Zentrum der wissenschaftlichen Metaphysik; sie bildet in kategorialer Hinsicht ihren Kern. Verfechter der deskriptiven Metaphysik, die in der Informatik *formale Ontologie* vollziehen, sind damit auch insofern einem Irrtum aufgesessen. Wenn Metaphysik insgesamt allein als techno-wissenschaftliche *Klasse-4-Metaphysik* sinnvoll konzipiert ist, die in cyber-physischer Hinsicht auch digitalen Sachverhalten gerecht werden kann, gilt – wie oben erwähnt – die Kantische Metaphysikkritik gewiss nicht für die wissenschaftliche Metaphysik. Denn darum geht es bei Kant überhaupt nicht. Damit aber ist evident, dass auch die Kantische Priorität der Epistemologie gegenüber der Ontologie vollständig zu relativieren ist, indem diese bei Kant nicht in dem Zusammenhang steht, wie er in der Informatik im Zuge der deskriptiven Metaphysik interpretiert wird. Anders gewendet besteht allein eine Kongruenz zwischen *metaphysica generalis*, die bereits bei Wolff (1730) *Ontologie* ist, und als allgemeine Metaphysik eine *wissenschaftliche Metaphysik* wie *Universalontologie* verkörpert, und der *formalen Ontologie*, wie sie

einmal um seine Rolle in Bezug auf den Durchbruch der Prozessphilosophie, zu dem M. Weber (2004: 73) konstatiert: »Within the process-philosophy circle, it seems widely acknowledged that Alfred North Whitehead proposes the best possible (if not understandable) process framework available«. Ähnlich räumt auch Rescher (1996: 23) als Prozessmetaphysiker ein: »Whitehead's influence on the development and diffusion of process philosophy was immense – indeed, decisive«. Zum anderen geht es um die Aufhebung des Gegensatzes von Philosophie und Wissenschaft, um die sich Whitehead verdient gemacht hat; entsprechend konstatieren Prigogine/Stengers (1984: 94): »We have [...] raised the question of whether it is possible to formulate a philosophy of nature that is not directed against science. Whitehead's cosmology is the most ambitious attempt to do so. Whitehead saw no basic contradiction between science and philosophy«. ²⁸⁰⁰

Ad (iii) wird vor dem Hintergrund der Rehabilitierung Whiteheads deutlich, dass für die Prozessmetaphysik nicht nur die *Information* als logico-mathematischer "Grundstoff" bestimmend ist, sondern dass sie damit von vornherein antimaterialistisch auszulegen ist, wie es schließlich auch die Informatik als *Strukturwissenschaft* erfordert. Wenn mit der Leibniz-Whiteheadschen *Metaphysica* außer Frage steht, dass die theoretische Informatik mit ihrem Status als Strukturwissenschaft eine Metaphysik, nämlich eine Digitalmetaphysik besitzt, ist evident, dass diese allein in einem universalen Strukturalismus bestehen kann. Denn nur ein solch universaler Strukturalismus kann für ihre erforderlich werdende cyberphysische Synthese konstituierend sein. Mit dem "Grundstoff" der Information stellt sich vor dem Hintergrund des universalen Anspruchs jeder Metaphysik damit schließlich auch die Frage nach dem transdisziplinären Informationsbegriff. Im Zeichen des IMKO *OCF*, das eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* postuliert, muss es damit offenbar um noch mehr gehen: um eine *neue Informationstheorie*. Diese besitzt auf der Basis des IMKO *OCF* zwei Facetten, nämlich einen *universalen metaphysischen Kern*, der im Zeichen der *Information* als logico-mathematischer "Grundstoff" steht, sowie darauf aufsetzend eine *semantische Interpretation*, die mit den fundamentalen Strukturen korrespondiert.

Die Besonderheit einer solchen auf Whiteheads techno-wissenschaftlicher Digitalmetaphysik aufbauenden neuen Informationstheorie besteht darin, dass sie nicht nur physisch, sondern vielmehr *cyber-physisch* veranlagt ist. Dies erfordern nicht nur die Informatik einerseits und die Physik andererseits, sondern das setzt vielmehr auch eine transdisziplinäre Wissenschaftspraxis voraus, die um die *Information* als logico-mathematischer "Grundstoff" wie um einen universalen Informationsbegriff zentriert ist. Indem eine solch neue Informationstheorie sowohl auf der Ebene der *metaphysischen Ontologie* als auch auf der

auch die Informatik zugrunde legt. Geht es um die Konzeption einer formalen Ontologie, die mit Blick auf das Transdisziplinaritätsmoment in einer Weise konzipiert ist, dass sie das Inkommensurabilitätsproblem löst, dann ist Kants (1781) *Kopernikanische Wende* zweifelsohne durch Whiteheads (1929a) *zweite Kopernikanische Wende* wieder auf die richtige Basis zu stellen. Damit besitzt wieder die Ontologie Priorität, ohne dabei den wesentlichen Kantischen Standpunkt zu vernachlässigen, womit bereits die ersten beiden Welten von CYPO FOX gesetzt sind.

²⁸⁰⁰ Vgl. hierzu auch Stengers (2008).

semantischen Ebene der *Knowledge Ontology* ansetzt, bleibt sie in Abgrenzung zu den bisherigen Varianten als IMKO *Informationstheorie* zu entwickeln. Ihre Besonderheit besteht darin, dass sie auf Grundlage der Whiteheadschen Prozess- bzw. Digitalmetaphysik *transdisziplinär* wie damit zusammenhängend *cyber-physisch* veranlagt ist. Allein in dieser Kombination kann eine Informationstheorie sinnvoll erscheinen, denn nur dann ist sie für alle Wissenschaften und Technologien, einschließlich von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* nutzbar. Genauso entspricht sie nur dann den cyber-physischen IoX-Strukturen des *Internet of Everything* in der erforderlichen universalen Weise des IMKO *OCF*. Das gilt unter einheitlichen metaphysischen wie wissensontologischen Aspekten.

Die Frage nach dem Urstoff bestimmt zweifellos alle Metaphysik und alle Theorie; jenseits von Ostwalds (1902) *energetischen Weltbild* wird sie im Allgemeinen in der Weise beantwortet, dass in der Materie der Urstoff des Universums auszumachen ist. Das ist noch in der Naturphilosophie Kants (1755) der Fall und selbst in der *Scientific Metaphysics* Bunge (1977a) so gegeben, obschon sie jüngeren Datums als jener Whiteheads ist. Whitehead (1929a) führt mit seiner techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* hingegen die *Information* als logico-mathematischen "Grundstoff" des Universums in die metaphysische Debatte ein. Bunge vs. Whitehead, das bedeutet damit in erster Linie den Streit um den primären "Grundstoff", den Streit um die Primarität von Materie vs. Information und damit jenen um ein materialistisches vs. kausales Realitätsverständnis. Mit diesem "Grundstoff" ist entsprechend nicht gemeint, dass andere physikalische Größen damit negiert werden; vielmehr geht es bei ihm um das *universale Prinzip*, auf dessen Basis sich alle Entitäten ontologisch erfassen lassen. Wenn es in der Metaphysik um die Frage der fundamentalen Struktur aller Welten bzw. der Realität geht, dann kann primär auch nur dieses universale Prinzip im Vordergrund stehen. Whiteheads Antimaterialismus leugnet also keinesfalls die Maßgeblichkeit der Materie. Nur wird in ihr nicht das universale Prinzip erachtet, mit dem sich alle Entitäten ontologisch fassen lassen. Tatsächlich spricht vieles dafür, dass dieses universale Prinzip, der "Grundstoff" des Universums, nicht in der Materie, sondern in der *Information* besteht. Das gilt nicht nur unter wissensontologischen Aspekten, sondern vor allem mit Blick auf die Cyber-Physik sowie die *"third revolution"* der *"New Physics"*.

Wenn die Positionen in den wissenschaftlichen Metaphysiken von Bunge und Whitehead in dieser wichtigen Sache differieren, ist das vor dem Hintergrund physikalischer Theorien gut nachvollziehbar. Das betrifft bereits die wissenschaftliche Entwicklung einzelner namhafter Physiker: Wheeler (1998: 63 f.) räumt als theoretischer Physiker ein, dass er am Anfang seiner wissenschaftlichen Entwicklung zunächst dachte: "Everything Is Particles"; später nahm er an: "Everything Is Fields", um am Ende zu erkennen: "Everything Is Information". Mit Blick auf das universale Prinzip hat für Wheeler (1990) jede physikalische Entität einen informationstheoretischen Ursprung. Das impliziert auch für den physikalischen Aspekt des *Internet of Everything*: *"Everything Is Information"*. Dabei ist unzweifelhaft, dass Wheelers Quantenphysik auf der Cyber-Physik Whiteheads gründet:

»[E]very particle, every field of force, even the spacetime continuum itself [...] derives its function, its meaning, its very existence entirely – even if in some contexts indirectly – from the apparatus-elicited answers to yes-or-no questions, binary choices, *bits*. It from bit symbolizes the idea that every item of the physical world has at bottom – at a very deep bottom, in most instances – an immaterial source and explanation; that which we call reality arises in the last analysis from the posing of yes-no questions and the registering of equipment-evoked responses; in short, that all things physical are information-theoretic in origin and this is a *participatory universe*.«²⁸⁰¹

Für die Ontologie der Informatik ist Wheelers informationstheoretische Position des "*It from bit*" aus verschiedenen Gründen von fundamentalem Belang, insbesondere mit Blick auf die folgenden sieben Aspekte: (i) die gegenwärtigen Naturwissenschaften weisen von der *Physik der Information* bis hin zur *genetischen Information* eine deutliche Tendenz zur Berücksichtigung informationstheoretischer Aspekte auf, allen voran die Biologie; (ii) die Digitale Physik setzt diese Sichtweise voraus; (iii) die auf der AI-Tradition aufbauende und in Pkt. 4.6 behandelte AL-Forschung basiert explizit auf Wheelers Überlegungen;²⁸⁰² (iv) mit dem Biochemiker Eigen (1987: 41) besteht der Schlüsselaspekt zur Darstellung des Komplexitätsphänomens in der *Information*, und das ist bei anderen komplexen Systemdenkern kaum anders; (v) auch für die Sozialwissenschaften ist das Informationsmoment mit Blick auf ihre entscheidungs- bzw. handlungstheoretische Fundierung auf Basis des Rationalitätsmoments konstituierend; (vi) mit Weizsäcker (1974: 51) ist bei der *Information* von einer Geist und Materie überschreitenden dritten Sache auszugehen; (vii) somit ist mit Eigen (1997: 22) in der *Information* deren "Brücke" auszumachen, worauf sich die Einheit sämtlicher Wissenschaften, Technologien und Praxis begründen lässt.

Indessen lässt sich nicht einfach für das *Internet of Everything: "Everything Is Information"* voraussetzen, und dass dies nicht einfach möglich ist, liegt an der TLO-Debatte. Denn diese hat durchaus im Kern unmittelbar etwas mit dem "Grundstoff" des Universums zu tun. Bereits mit den drei TLO-Ansätzen BWW, BFO und Sowa wird deutlich, dass die ontischen W1-Kategorien von BWW und BFO auf einer *materialistischen* Weltauffassung basieren, während es sich bei Sowa auf der Grundlage von Peirce und vor allem Whitehead um Kategorien handelt, die auf einer *informatorischen* Weltauffassung gründen. Doch nicht allein aus diesem Grunde ist die in der Informatik vorgeschlagene Idee eines TLO-Mapping abwegig, sondern auch, weil BWW und BFO bereits in ihrem Materialismus – wie auch der Methodologie – inkompatibel sind. Denn bei Bunge handelt es sich um eine revisionäre, d.h. unmittelbar an den physikalischen Zusammenhängen ansetzende Ontologie, während Smithens BFO eine deskriptive Metaphysik verkörpert. Zwar lässt Smith mit seinem immanenten Realismus allein physisch-existente Entitäten in seiner Ontologie zu, doch genauer besehen handelt es sich bei ihm um sprachliche Kategorien, wie sie die deskriptive Metaphysik ausmachen. Ein W1-Ereignis bei Bunge ist also ein trägerbezogenes physisch-materielles Ereignis, ein W1-Ereignis bei Smith ein normalsprachlich erfasstes physisch-trägerbezogenes Ereignis, während ein W1-Ereignis bei Sowa generell ein informatorisches Ereignis ist, das bereits im Zeichen der Signalübertragung eine physische

²⁸⁰¹ Wheeler (1990: 5).

²⁸⁰² Für Zwecke der AL-Forschung baut etwa Rasmussen (1992) auf Wheeler (1988, 1990) auf.

Grundlage besitzt. Die Kategorien aller TLO-Ansätze sind somit prinzipiell inkommensurabel; ihre meta-ontologischen Dispositionen inkompatibel.

Vor diesem Hintergrund stellt sich für die Ontologie der Informatik wie letztlich für die Ontologie im Ganzen die Frage, auf welchem "Grundstoff" diese sachgerecht aufzusetzen hat, damit diese auch für Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* als adäquat erachtet werden kann. Prinzipiell betrachtet sind dazu vier Alternativen möglich: die erste geht der BWW-TLO mit Bunge voraus, indem an der *Materie* angesetzt wird, wie es für viele konventionelle philosophische Ansätze kennzeichnend ist, etwa für die Physik des Aristoteles, die Naturphilosophie Kants (1755) bis hin zu neo-aristotelischen Ansätzen wie der wissenschaftlichen Metaphysik des theoretischen Physikers Bunge (1977a). Die zweite Alternative besteht mit der Kategorienschrift des Aristoteles sowie den Kantischen epistemischen Kategorien darin, diese Frage auf die *sprachliche Ebene* zu verschieben. Es geht dann um sprachphilosophische bzw. linguistische Kategorien. Dann gilt für die aktuelle Welt der immanente Realismus, während sich auch eine sprachliche Behandlung *möglicher Welten* eröffnet, die damit auch sprachlogisch zulässige Ideenwelten beinhalten können. Somit kann prinzipiell gesehen gleichzeitig von *materiellen* wie von *immateriellen* Objekten die Rede sein, was auf den ersten Blick einen vielversprechenden ontologischen Ansatz darstellt. Jenseits des an Materie gebundenen immanenten Realismus gibt es somit keine Bindung an einen "Grundstoff"; diese Bindungsfrage offen zu lassen, stellt allerdings nur auf den ersten Blick einen Vorteil dar, da sie bereits dann nicht mehr negierbar ist, sobald in Ontologiefragen nach einem exakten Physikmodell verlangt wird. Allerdings kann darin bei Cyber-physischen Systemen (CPS) keine ontologische Option bestehen.

Auf dem heutigen Stand der Ontologiepraxis kann – sowohl in der Informatik als auch der Philosophie – generell kaum mehr von einem exakten Physikmodell abstrahiert werden, indem im Grunde alle meta-ontologischen Fragen genau daran gebunden sind. Wenn die Ontologie immer die Existenz- und damit die Realitätsfrage betrifft, dann ist Ontologie insgesamt nicht praktizierbar ohne ein Physikmodell, indem etwa bei der Voraussetzung *kausaler Realität* Entitäten existieren, die bei Voraussetzung *materialistischer Realität* nicht existieren. Will also ein Sprachontologe einen Extensionsbereich auf die Zahl der Elemente prüfen um über die Begriffsart zu entscheiden, muss er zuvor die Realitätsfrage geklärt haben. Damit muss auch er sich für ein Physikmodell entscheiden. Demgegenüber lässt sich auch der Verzicht auf eine Festlegung in der Bindungsfrage als eine *metaphysische* Position auffassen, und insofern – und nur insofern – ergibt Strawsons (1959) Rede von einer *deskriptiven Metaphysik* einen Sinn.²⁸⁰³ Zwar ist die Sprache mit B. Smithens

²⁸⁰³ Demgegenüber macht sie vor dem Hintergrund der mit Prigogine/Stengers (1984), P.M. Simons (2002) oder Esfeld (2006b) zu fordernden *Durchgängigkeit von Physik und Metaphysik* keinen Sinn, indem Sprache als solche keine physikalische Größe darstellt. Genau das wird der *deskriptiven Metaphysik* letztlich auch zum Verhängnis, indem jede nicht erfahrungswissenschaftlich verankerte Ontologie nicht nur eine deutliche Tendenz zur Unschärfe wie zu fundamentalen kategorialen Defekten besitzt, sondern damit auch nicht die sachgerechte Repräsentation erfahrungswissenschaftlichen Wissens an sich gewährleisten kann. Insofern eignet sich die *deskriptive Metaphysik* auch letztlich nur für die ontologische

Scientific Ontologies aufgrund des immanenten Realismus an Substanzen, Objekte bzw. physische Dinge und damit an Materie gebunden, doch ist diese Bindung, wie der *Common Sense* zeigt, keinesfalls zwingend. Sprache an sich stellt natürlich keinen "Grundstoff" dar; physikalisch betrachtet fällt die Sprache vielmehr unter den "Grundstoff" der Information. Dann kommt es auf das richtige Semantikverständnis an, und das basiert im Sinne von P.M. Simons (2006b: 95) »metaphysics constrains semantics« allein auf der revisionären Klasse-4-Metaphysik Whiteheads.

Die dritte Alternative besteht mit Ostwald darin, das universale Prinzip in der *Energie* zu suchen; im Unterschied zu den beiden vorgenannten Alternativen hat sich dieser Zugang zur Ontologie jedoch aus guten Gründen nicht durchsetzen können. Die vierte Alternative gründet letztlich in Platons *ewigen Ideen bzw. Formen*, die dem Universum immanent sind, was letztlich als mathematisches Universum zu verstehen ist. Von einem "Grundstoff" der *Information* kann bei Platon jedoch nur bedingt gesprochen werden, indem dieser zwar bereits strukturalistisch, jedoch noch nicht formallogisch gedacht wird. Bei Leibniz ist dies bereits anders; hier kann von einem "Grundstoff" der *Information* schon zumindest in der Form gesprochen werden, dass dieser im Zeichen möglicher Welten formallogisch verstanden ist. Allerdings wird auch bei Leibniz der "Grundstoff" der *Information* noch nicht umfassend naturwissenschaftlich erschlossen, wengleich dies im Zeichen der Perzeption wie auch mit Leibnizens grundsätzlicher Orientierung an Platon bereits vorgezeichnet ist. Wie weiter unten erklärt, muss Leibniz (1714a) dabei im Kontext der seinerzeitigen metaphysischen Diskussion verstanden werden, wobei die Eckpfeiler vor allem in Descartes (1644a) und Berkeley (1710) zu sehen sind: Wie später Whitehead, geht es schon Leibniz um die Überwindung des Cartesischen Dualismus von Materie und Geist durch ein einigendes universales Prinzip. Kants (1800) *Regeluniversum* steht gleichermaßen in dieser Leibnizschen Tradition. Mit dem Cartesischen Dualismus wird letztlich deutlich, dass der Grundstoff kaum in der Materie gegeben sein kann, wenn das, was als "Geist" bezeichnet wird, nicht auf Materie reduziert werden kann. Letztlich läuft der "Grundstoff" der Materie immer darauf hinaus, dass er eine universale Position verwehrt, was selbst für Bungen emergentistischen Materialismus gilt. Was unter "Geist" zu verstehen ist, wird bereits bei Descartes (1644a) selbst offenbar, nämlich die *Ratio*; als *res cogitans* ist sie letztlich im Kern als Reflexionsvermögen nichts anderes als formale Logik. So gesehen ist der "Geist" genauso wenig auf die Cartesische Materie reduzierbar, wie Logik nicht auf physische Materie reduzierbar ist. Dass vielmehr umgekehrt Materie auf Logik reduzierbar ist, zeigt bereits der extreme Idealismus Berkeleys (1710), und wie erwähnt gibt es selbst Physiker wie Mach (1918), die mit Berkeleys Standpunkt sympathisieren. Was den Subjektivismus des einzelnen Agenten, des Whiteheadschen Subjekt-Superjekts angeht, ist das auch genauso wenig abwegig wie das, was den Aspekt der Logik betrifft.

Repräsentation der sprachlichen Ebene als solcher; mit anderen Worten für die Repräsentation des *Common Sense*, worauf sich kein universales Ontologieverständnis begründen lässt.

Allerdings muss genauso außer Frage stehen, dass in Berkeleys (1710) extremen Idealismus gewiss nicht die metaphysische Lösung bestehen kann.

Mit Berkeley (1710) wird zugleich die Problematik des Stands bei Leibniz (1714a) und seinen möglichen Welten offensichtlich: Platons Ideenuniversum ist als mathematisches Universum kaum "geerdet", und das hat dann letztlich solch extreme metaphysische Positionen wie den *Modal Realism* bei D.K. Lewis (1986b) zur Konsequenz. Auch darin kann keine metaphysische Lösung bestehen, die cyber-physischen Anforderungen standhält. Offensichtlich ist also Leibnizens formallogische Sicherung des Platonischen Universums nicht hinreichend, und deshalb muss Whitehead (1929a) ins Spiel kommen, und zwar konsequent: denn D.K. Lewis (1986b) übernimmt zwar den Vierdimensionalismus via Quine von Whitehead, übersieht jedoch sträflich, dass dieser bei Whitehead gerade erst über jenen Ratio-Empirismus gewonnen werden konnte, von dem D.K. Lewis (1986b) schließlich gänzlich abstrahiert. Bedenkt man dass die metaphysischen Extreme etwa mit Nietzsches Nihilismus auch in alle anderen Richtungen ausschlagen können, wird die Notwendigkeit der in Kants (1781) Metaphysikkritik angemahnten "Erdung" aller Metaphysik durch einen *Ratio-Empirismus* umso offensichtlicher. Indem der "Grundstoff" von Berkeleys (1710) Immaterialismus letztlich ebenso in der *Information* zu sehen ist, wird das Kantische Postulat nach "Erdung" aller Metaphysik in diesem Fall noch dringender als im Fall der Materie, die enge Grenzen setzt. Wenn es umgekehrt betrachtet in der Metaphysik jedoch um die Grundstrukturen aller, d.h. auch möglicher Welten gehen muss, sind diese engen Grenzen offensichtlich zu sprengen. Mit Blick auf Cyber-physische Systeme als reale Systeme kommt aber eine "Erdung" durch Materie letztlich genauso wenig in Betracht wie für Cyberwelten. Denn mit Blick auf letztere ist eine Modalität "*de dicto*" mit einer solchen "Erdung" nicht einlösbar, während mit Blick auf erste einer Modalität "*de re*" enge Grenzen gesetzt sind, indem real nur das möglich ist, was materiell möglich ist. Auf der Basis von Information als "Grundstoff" ist jedoch das möglich, was informatorisch möglich ist, und damit lässt sich dann auch ontologisch vollends das erschließen, was technologisch, etwa kybernetisch im Sinne softwarebasierter Steuerungen möglich ist.

Whitehead (1929a) löst Kants (1781) eigentliche Forderung, die nur wenige wie Einstein (1934) richtig verstanden haben, ein. Das Verhältnis von Metaphysik und Wissenschaften ist bei Whitehead (1933: 164) ein zirkuläres, ein »interplay between science and metaphysics«. Entsprechend wird bei Whitehead über Leibniz hinausgehend der "Grundstoff" der *Information* als universales Prinzip sowohl strukturalistisch-formallogisch als auch empirisch konzipiert. Der zentrale Unterschied zu Leibniz besteht also darin, dass insbesondere der Aspekt der Informationsübertragung, wie er später durch die klassische Informationstheorie aufgegriffen wird, bei Whitehead auf empirischer Grundlage erklärbar wird, und darin besteht mit Blick auf den metaphysischen Realismus wie für die "Erdung" aller Metaphysik ein entscheidender Punkt. Whiteheads Metaphysik lässt sich nur dann verstehen, wenn man den Zugang vom Standpunkt der mathematischen Physik sucht und

wenn außer Zweifel stehen muss, dass für die Whiteheadsche Sichtweise nicht zuletzt Maxwells (1873) Theorie elektromagnetischer Felder (Wellen) als ausschlaggebend zu erachten ist. Nicht nur später Wheeler, sondern schon Whitehead kommt von den Feldern zur Information als "Grundstoff". Entsprechend besitzt Wheelers "*It from bit*" seinen eigentlichen ideellen Ursprung zweifelsohne in der Digitalmetaphysik Whiteheads, genauso wie es für die logischen Atome in der Quantenphysik C.F. von Weizsäckers zu konstatieren ist. Genauso ist es Whitehead (1929a), auf dem Wieners (1948: 155) Forderung, die *Information* – neben Materie und Energie – als dritte Größe in die Physik einzuführen, letztlich gründet. Daran ist auch erkenntlich, dass das Verhältnis von Metaphysik und Physik tatsächlich ein bidirektionales ist. Das umso mehr, als dann auch die klassische Informationstheorie letztlich auf jener neuen Weltauffassung basiert, die auf Whiteheads (1929a) spekulative Metaphysik zurückgeht. Mit der Forderung Wieners wird schließlich nochmals deutlich, dass Whiteheads Prozessmetaphysik zwar im Zeichen ihres Strukturalismus einen Antimaterialismus, jedoch keinesfalls einen Immaterialismus bedeutet. Information ist vielmehr physisch; sie ist auch in jedem Rechner und jedem Gehirn physisch. Dennoch eröffnet die Information den Zugang zu materiellen wie immateriellen Welten. Allerdings darf man nicht dem Bungeschen Irrtum erliegen, dass immaterielle Welten nicht auch real zu sein vermögen. Natürlich können sie das sein, und es bedarf eines Kriteriums, um festlegen zu können, wann eine immaterielle Welt real ist und wann nicht. Indem Technologien zeigen, dass das Immaterielle – etwa in Form des AI-Agens – als Bestandteil einer Kybernetik von Sensorik und Aktorik sehr wohl "real" ist, bedarf eine CPS-reife Informatik offensichtlich eines neuen Realitätsverständnisses, das in Pkt. 6.2.7 diskutiert wird. Indem Ontologie das betrifft, was "existiert", ist in Sachen der Ontologie der Informatik offensichtlich weiter auszuholen als es linguistische Semantiker wie Gruber et al. die Disziplin bisher glauben lassen.

Von den vier möglichen Alternativen, die mit den drei genannten Kernalternativen sowie dem Whiteheadschen Gegenentwurf gegeben sind, werden in der Frage des fundamentalen Zugangs zur Ontologie gegenwärtig drei aktiv praktiziert. Es handelt sich dabei gewissermaßen um die ultimative Ursache des Inkommensurabilitätsproblems. Denn es lässt sich insofern nicht auflösen, als sie alle mehr oder weniger legitim praktizierbar sind. Illegitim ist auch die deskriptive Metaphysik nicht; man muss nur ihre sehr deutlichen Grenzen beachten. Diese kommen zum einen über einen naiven *Common Sense* nicht hinaus, womit auf ihrer Basis die Realisierung von Superintelligenz unmöglich ist. Zum anderen liegt ihre eigentliche Problematik jedoch in ihrer CPS-Inadäquanz. Das die Informatik mit *cyber-physischem "Reality Computing"* allerdings universal CPS-adäquat zu halten ist, fällt auch die deskriptive Metaphysik komplett. Legitim ist die deskriptive Metaphysik allein in zwei Hinsichten: erstens in Bezug auf den *Common Sense* in der Interaktionspraxis menschlicher Agenten *qua Common Sense*; d.h. dieser bezieht sich im Sinne Searles rein auf Entitäten, die sozial konstruiert sind, nicht aber auf das, was empirisch exakt

messbar bzw. struktur- und erfahrungswissenschaftlich auf Basis objektiven Wissens erschließbar ist. Zweitens bei solchen Anwendungen, bei denen rein epistemische *Belief Systems* reichen, was indessen lediglich bei den durch Hayes (1979) kritisierten "*toy problems*" in virtuellen Welten der Fall wäre. Die Lösung dieses Problems kann im Rücksprung auf Pkt. 1.2 allein in Poppers (1979) Position gesucht werden, wonach metaphysische Grundsatzentscheidungen zwar nicht falsifizierbar sind, doch mit rationalen Argumenten kritisiert oder unterstützt werden können. Die Auflösung dieses grundsätzlichen Streits lässt sich auf dieser Grundlage zwar bewältigen, doch ist seine Auflösung erst im fünften Teil möglich, indem eine objektive Klärung voraussetzt, dass neben der wissenschaftlichen Metaphysik Whiteheads mit Pkt. 5.3 auch die wissenschaftliche Metaphysik Bunes im Detail reflektiert worden ist. Tatsächlich läuft der Streit um den ontologischen "Grundstoff", wie er auch die TLO-Debatte durchzieht, letztlich auf den Streit Materie vs. Information und damit Bunge vs. Whitehead hinaus. Dabei ist dieser Streit für die Ontologie im Ganzen zu klären, indem es keine separate Ontologie der Informatik geben kann. Ferner ist zu berücksichtigen, dass die konzeptuellen Modelle der Informatik in den meisten Fällen gerade auf der auf Bunge basierenden BWW-TLO aufbauen – bzw. anhand dieser ontologisch geprüft werden.

Insofern die letzte Entscheidung in der umstrittenen Grund- bzw. Urstoffdebatte hier zurückzustellen ist, indem mit Pkt. 5.3 Bunes (1977a) Positionen zunächst an sich zu diskutieren sind, bleibt der Fokus im Folgenden auf die Position Whiteheads zu richten. Um die Entscheidung von dieser Seite vorzubereiten, muss klar sein, wie sich die Whiteheadsche Alternative zu Bunge konkret darstellt. Von Seiten der klassischen Physik ist Bunge zunächst insofern im Vorteil, als mit dem Postulat Wieners (1948) deutlich wird, dass *Information* als eigenständige physikalische Größe in der klassischen Physik gar nicht vorkommt. Sie findet erst mit der Informationstheorie Shannon/Weavers (1949) den Weg in die physikalische Diskussion. Daneben ist zu berücksichtigen, dass die Notwendigkeit zur Rehabilitierung der Whiteheadschen (1929a) Metaphysik mit Seibt (2005) oder P.M. Simons (2009b) bisher nur vereinzelt erkannt wird, vom *Mainstream* der Ontologen bisher jedoch gerade nicht. Wenn oben festgestellt wurde, dass von den vier möglichen Alternativen in der Frage des fundamentalen Zugangs zur Ontologie drei aktiv praktiziert werden, dann ist dies dahingehend zu relativieren, dass der *Mainstream* der Ontologen auf die ersten beiden Alternativen, insbesondere auf die deskriptive Metaphysik fixiert ist, während die letzte, die Whiteheadsche Alternative heute in keiner Weise gängig ist. Sie wird in der TLO-Debatte durch Sowa vertreten, jedoch auch nicht in Reinform, indem wie bei Hayes oder Russell/Norvig das Whiteheadsche System in der Weise zurechtgestutzt wird, dass am Ende bloßer *Common Sense* steht. Allerdings ist dies weder das, was Whitehead – analog zu Popper – selbst akzeptiert noch was mit Blick auf den CPS-Aspekt im *Internet of Everything* als sinnvoll erachtet werden kann. Mit Pkt. 8.2 heißt das allerdings

nicht, dass *Common Sense Ontologies* gänzlich irrelevant sind bzw. kein Platz für diese wäre.²⁸⁰⁴ Sie bleiben unter HCI-Aspekten für Zwecke menschlicher Agenten elementar.

Wenn die Whiteheadsche Alternative heute in keiner Weise gängig ist, stellt sich umso mehr das Erfordernis sie in kritischer Weise zu hinterfragen. Eine kritische Analyse ist auch angebracht, wenn Whitehead sowohl radikal mit der tradierten Philosophie als auch mit den klassischen Wissenschaften bricht. Die *Creative Destruction* Whiteheads betrifft zwei Aspekte: die Aufhebung der materiellen Substanz sowie damit verbunden des Cartesischen Dualismus. Indem Whitehead manches sonstige Moment mit Aristoteles teilt, ist Whiteheads Gegner primär Descartes und die durch ihn verursachte Bifurkation der Natur. Für Whitehead bedarf jede Kosmologie eines einigenden universalen Prinzips. Der Umstand, dass auf Basis von Materie nicht alle kosmologischen Sachverhalte erfassbar sind, wird mit Cyber-physischen Systemen (CPS) zum Fakt. Wie für Leibniz ist für Whitehead evident, dass die *Mathesis universalis* des Descartes insofern defekt ist, als sie in kosmologischer bzw. metaphysischer Hinsicht nicht universal ist. Denn sie ist als Mathematik lediglich an der Geometrie materieller Körper orientiert. Leibniz nimmt die formale Logik vorweg und entwirft die Rechenmaschine; gleichzeitig gelten seine Gedanken dem mathematischen Universum Platons, möglichen Welten, wie der faktischen Einheitswissenschaft. Mit anderen Worten: Leibniz ist insofern Begründer der Informatik, als er sie im Zeichen von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* auf Basis der Metaphysik konzipiert. Entsprechend ist nicht zuletzt in Folge von Descartes und Leibniz im achtzehnten Jahrhundert bei Materie und Geist von *"Weltmaschine"* bzw. *"Denkmaschine"* die Rede. Darauf aufbauend sowie im Rekurs auf Boole (1847) arbeitet Jevons (1870), später Marquand (1886) und Peirce (1887) an *Logical Machines* und bereiten damit schließlich die Entwicklung der ersten Elektronenrechner unmittelbar vor.

Auf all diesen Grundlagen baut die Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) auf und dabei steht für ihn in seiner Descartes-Kritik außer Zweifel, dass die primäre Orientierung der *Metaphysica* wie der *Mathesis universalis* an der Materie ein Irrweg ist. Genauso ist für Whitehead nicht zuletzt mit der Metaphysikkritik Kants evident, dass die Normalsprache diese Lücke nicht füllen kann. Das ist genau das, was die deskriptiven Metaphysiker nicht verstehen wenn sie sich auf Kant berufen: denn Metaphysik als *deskriptive Metaphysik* ist nicht weniger als das genau Umgekehrte, das Kant erreichen will. Denn für Kant muss die Metaphysik gerade *empirisch* und damit insgesamt *ratio-empirisch* werden, damit sie ihre Willkür verliert. Tatsächlich ist das erst mit der Klasse-3-Metaphysik der Fall, indem sie dann – wie der Fall Bunges in Pkt. 5.3 anschaulich zeigt – umfassend kritikabel wird. Demgegenüber sind alle niederen Klassen mit Verweis auf Kant (1781) grundsätzlich in-

²⁸⁰⁴ Vielmehr ist das Gegenteil der Fall, allerdings können sie das Ontologieverständnis bzw. die integrierte Ontologiekonzeption an sich nicht bestimmen, wenn alle Agentenklassen gleichberechtigt sind. Denn diese können gewiss nicht von der Denkweise des schwächsten Parts her erschlossen werden, sondern sollten vielmehr durch den stärksten Part geprägt sein. Anders gewendet kann *Superintelligenz* nicht vom naiven *Common Sense* abgeleitet werden – sondern in vereinfachender Weise nur umgekehrt.

akzeptabel. Mit anderen Worten ist die Klasse-1- und Klasse-2-Metaphysik von vornherein abzulehnen, während die Klasse-3-Metaphysik an den Erfordernissen der Strukturwissenschaften, allen voran jenen der Informatik scheitert. Whiteheads grundlegende Perspektive besteht in seiner *Principia Mathematica*; damit ist er auf dem Stand der modernen mathematischen Logik, und besitzt somit die gleiche universale Perspektive wie Leibniz: es ist die Perspektive von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"*. Denn es sind diese, die den Kosmos universal zugänglich machen und den Cartesischen Dualismus schlussendlich überwinden. Damit ist es Whitehead, der Wheelers informationstheoretische Position des *"It from bit"* intellektuell begründet.

Entsprechend gilt mit Whitehead für das *Internet of Everything: "Everything Is Information"*, und somit stellt sich für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* die Frage, was mit Whiteheads "Grundstoff" der *Information* ontologisch konkret impliziert ist. Damit kommt man zwangsläufig auf die obige Forderung nach einer *neuen Informationstheorie* zurück. Bevor sich diese auf Basis des IMKO *OCF* umreißen lässt, sei eine kurze Analyse der Ausgangssituation vorausgeschickt. Dies erscheint umso mehr erforderlich, als die Forderung nach einer *neuen Informationstheorie* auch von dritter Seite gestellt wird. Eine tiefere Reflexion ist auch deshalb angezeigt, weil gerade diejenigen, die auf den ersten Blick mit Semantik am wenigsten zu tun haben, gerade eine *semantische Interpretation* der Informationstheorie postulieren, während umgekehrt jene, die mit Semantik in umfassender Weise zu tun haben, sich weder mit der Informationstheorie noch mit solchen Forderungen beschäftigen. Es besteht also auch hier offensichtlich ein umfassenderer Klärungsbedarf, der umso mehr gegeben ist, als der Informationsbegriff als solcher gänzlich unklar ist. Wenn Disziplin für Disziplin *Information* als entscheidenden Faktor entdeckt, ist das inakzeptabel. Mit dem *Internet of Everything* muss die Informatik all diesen Erfordernissen Rechnung tragen; sie kann also weder mit einem disziplinären noch mit einem interdisziplinären Informationsbegriff aufwarten. Vielmehr muss dieser *transdisziplinär* sein, und seine transdisziplinäre Fassung ist wiederum nur möglich, wenn diese von Whiteheads "Grundstoff" der Information ausgehend im cyber-physischen Sinne entwickelt wird.

Die Ausgangssituation der erforderlichen Realisierung eines *transdisziplinären Informationsbegriffs* wird mit Ebeling et al. (1990: 293) im Kontext der *Physik der Evolutionsprozesse* deutlich, wenn sie drei wichtige Formen der Information unterscheiden. Diese werden nach ihrer entwicklungsgeschichtlichen Herausbildung differenziert:

1. genetische Informationen,
2. Informationen im Nervensystem und im Hirn,
3. extrasomatische Informationen, die außerhalb des Organismus etwa in schriftlichen Aufzeichnungen oder elektronisch gespeichert sind.

Im Kontext des *Internet of Everything: "Everything Is Information"* ist diese Differenzierung gewiss nicht ausreichend. Sie kann aber einen ersten Anfang bilden, um das Transdisziplinaritätsproblem wie das daraus resultierende Inkommensurabilitätsproblem

des Informationsfaktors zu fassen. W.F. Harms (2006) differenziert ebenfalls drei Formen der Information, wobei diese Abgrenzung klarer ist, wenn zwischen statistischer, semantischer und physikalischer Information unterschieden wird. J.-M. Lehn (2007) sieht selbst die Chemie im Kontext des Selbstorganisationsparadigmas als "*information science*", und analog verhält es sich mit allen Wissenschaften und allen Technologien, indem sie einschließlich der Informatik als informatorischer Schlüsseldisziplin alle auf der gleichen kosmologischen Einheit der Whiteheadschen Prozessmetaphysik und ihrem universalen Strukturalismus stehen. Zwar decken Ebeling et al. (1990: 293) den Sachverhalt ab, dass biologische Zellen Proteine als Signale nutzen; indessen berücksichtigen sie nicht die Information im technologischen Sinne, wenn Wiener (1948) als Kybernetiker sie als dritte physikalische Größe einfordert. Genauso bleiben all jene Quantentheoretiker unberücksichtigt, die wie Wheeler, C.F. von Weizsäcker oder Zeilinger eine informationstheoretische Interpretation der Quantenmechanik vertreten. Wenn die Quantenphysik Finkelsteins (1996: 475 ff.) im Zeichen seines *Quantum Spacetime Net* explizit wie fundamental auf Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik gründet, wird nachvollziehbar, dass die obige These stimmt: Dass also die einheitliche transdisziplinäre Fassung des Informationsbegriffs, der für das *Internet of Everything: "Everything Is Information"* unabdingbar ist, nicht ohne den Rekurs auf Whiteheads "Grundstoff" und damit nicht ohne seine Kosmologie insgesamt einlösbar ist. Denn dieser "Grundstoff" betrifft sämtliche im sechsten Teil diskutierten meta-ontologischen Dispositionen, wie es bereits mit Finkelsteins (1996: 475 ff.) *Quantum Spacetime Net* in Bezug auf den 4D-Perdurantismus ersichtlich wird. "*Everything Is Information*" ist also auch meta-ontologisch gesetzt, während alle Entitäten dem "*It from bit*" in universalontologischer Weise unterliegen.

Wenn mit Zeilinger in der *Information* der "fundamentale Baustein", der "Urstoff" des Universums besteht, dann betrifft er natürlich auch die Symbiose von "*New Physics*" und "*New Biology*" wie darüber hinaus alle Disziplinen.²⁸⁰⁵ Dann steht außer Frage, dass sie alle eine informationstheoretische Grundlegung erfordern, die einheitlich resp. transdisziplinär zu erfolgen hat. Entsprechend geht es dabei nicht um eine methodologische, sondern um eine ontologische *Einheit aller Wissenschaften, aller Technologien und aller Praxis*. Es geht um die *Einheit von Wissenschaft und Metaphysik*, die ebenfalls informatorisch zu denken ist. Es geht um die *Einheit der Erkenntnis*, die im Zeichen der Perzeption und Kognition genauso prozessual-informationstheoretisch anzugehen ist. Das gilt auch insofern, als Erkenntnis das Moment der Wahrheit impliziert; wenn ein Satz entweder wahr oder unwahr ist, setzt Erkenntnis insofern die formale Logik voraus.²⁸⁰⁶ Computer sind insgesamt nicht nur erkenntnisfähig, sondern vermögen vielmehr den Prozess der *Scientific Discovery* in elementarer Weise zu unterstützen.²⁸⁰⁷ Damit nicht genug: Ihre Einheit wäre letztlich unerreicht, wenn es nicht auch um die *Einheit des Wissens* ginge. Die "*New Phys-*

²⁸⁰⁵ Vgl. hierzu auch Mainzer (2016a).

²⁸⁰⁶ Vgl. auch Weidner (1917: 31).

²⁸⁰⁷ Vgl. dazu auch Thagard (1998).

ics" ist eine Komplexitätsphysik, die letztlich auf Whitehead zurückgeht, und selbst wiederum in den Dimensionen der Cyber-Physik zu erschließen ist. Denn die Komplexitätsforschung gründet insbesondere mit jenen Strömungen auf Whitehead, die ein *Computational Universe* voraussetzen und sie insgesamt mit Pagels (1988) oder Casti (1997) als *Computerwissenschaft* sehen. Dann findet sich die Einheit von Erfahrungs- und Formalwissenschaften nicht zuletzt darin, dass bestimmte Strömungen der theoretischen Physik mit Barrow (1996: 89) das Universum als riesigen Computer verstehen.

Zuses (1982) *Computing Universe* setzt letztlich das mathematische Universum Platons voraus. Die für Mathematik und Informatik entscheidende Frage, ob es Zahlen, Eigenschaften oder Klassen gibt, ist mit Quine (1975b: 127) in der Tat eine metaphysische; sie ist aber deshalb nicht irrelevant, weil sie im Sinne des Logischen Positivismus nicht wahrnehmbar sind. Wenn mit Gödels (1951: 320) platonistischer Position gilt: mathematische Objekte und Konzepte »form an objective reality of their own, which we cannot create or change, but only perceive and describe«, ist diese wiederum im Leibnizschen Sinne zu relativieren: Mit dem IMKO *OCF* gilt auch hier nicht mehr als die Strukturentsprechung zwischen mathematischen Strukturen auf der Repräsentationsebene und dem mathematischen Universum als solchem. Was Gödel (1951) meint ist der Umstand, dass die Richtigkeit dieser Strukturentsprechung vorgegeben ist und demnach mathematische Gesetzmäßigkeiten als solche auf der Repräsentationsebene nicht beliebig behandelbar sind. Anders gewendet kann der Bedeutungsgehalt in diesem Sinne kein nominalistischer sein: »What is wrong [...] is that the meaning of the terms (that is, the concepts they denote) is asserted to be something man-made and consisting merely in semantical conventions«. ²⁸⁰⁸ Darüber hinaus erfährt mit Zuses (1982) *Computing Universe* die Church/Turing-Hypothese und das Konstrukt des universellen Computers besondere Relevanz. ²⁸⁰⁹ Ein solcher universeller Computer ist im Sinne der Church/Turing-Hypothese in der Lage, jeden Prozess der physischen Welt zu emulieren: jedes physikalisch realisierbares System ist formal äquivalent mit einem Symbolsystem formaler Logik. Wenn dazu nicht zuletzt die Verbindung zwischen Turings universellem Computer und der im nachfolgenden Pkt. 4.3 behandelten *Theorie zellulärer Automaten* ausschlaggebend ist, ²⁸¹⁰ wird mit Whiteheads zellulären Automaten wiederum der Stellenwert der Digitalmetaphysik offensichtlich. Die im intuitiven Sinne berechenbaren Funktionen sind genau jene, die durch Turingmaschinen berechenbar sind. Das in diesem Zusammenhang durch Turing (1936) definierte Prinzip abstrakter algorithmischer Informationsverarbeitungsmechanismen wird durch die Turingmaschine repräsentiert. Die Funktionsweise solcher algorithmischer Maschinen beruht auf der prozessualen Abfolge elementarster logischer Operationen, die die unabdingbaren und elementaren Voraussetzungen jeglicher Informationsverarbeitung widerspiegeln. Turingmaschinen basieren demnach auf logischen Funktionen; Algorithmen repräsentieren hier

²⁸⁰⁸ Vgl. Gödel (1951: 320).

²⁸⁰⁹ Vgl. dazu Fn. 2970 unter Pkt. 4.3.

²⁸¹⁰ Vgl. hierzu etwa Burks (1997: 11 ff.).

die Maschinenprogramme von Turingmaschinen. Die mathematischen Operationen, die eine Turingmaschine nicht in endlicher Zeit ausführen kann, sind als *nicht berechenbar* zu bezeichnen. Indessen ist die Turing-Äquivalenz mit Sloman (1996) allein nicht ausreichend; vielmehr ist am Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversum als solchem anzusetzen. Von diesem ausgehend lässt sie sich mit Crockett (1994) vor dem Hintergrund des *Frame Problem* erörtern bzw. mit Sloman/Scheutz (2002) um eine komparative Analyse des Agentenvermögens ergänzen.

Wenn mit der informationstheoretischen Interpretation des Universums Alles im Universum *Informationsverarbeitung* ist, rückt neben der Automatentheorie bzw. der Theorie zellulärer Automaten auch die *Informationstheorie* in den Mittelpunkt des Interesses. Die auf Shannon, Kolmogoroff und – mit Wiener (1993: 22 f.) – auch auf J. von Neumann wie schließlich auf Wiener selbst zurückgehende *Informationstheorie* ist im Grunde keine *Theorie der Information* an sich, sondern vielmehr eine Theorie der *Kommunikation von Information*, bei der gerade die Information als solche ausgeklammert und als gegeben vorausgesetzt wird.²⁸¹¹ Wiener (1993) bezeichnet sie daher auch als *Kommunikationstheorie*.²⁸¹² Prigogine/Allen (1982: 3) sehen die Informationstheorie als speziellen Ansatz, um *komplexe Systeme* zu adressieren. Die Sympathie Prigogines für die Informationstheorie ist nachvollziehbar, da bereits Shannon (1948) *Information* in einer Weise definiert, die einen direkten Zusammenhang zum statistischen Konzept der *Entropie* herstellt.²⁸¹³ Die Informationstheorie nimmt mit ihren modifizierten Varianten damit in der Nichtgleichgewichtsthermodynamik eine zentrale Stellung ein. Entsprechend spielt die Informationstheorie auch eine prominente Rolle für die *Thermodynamik* allgemein,²⁸¹⁴ für Eigens *Theorie der Hyperzyklen*,²⁸¹⁵ für zelluläre Automaten,²⁸¹⁶ für Hakens *Lehre von der Synergetik*,²⁸¹⁷ für Prigogines *Theorie dissipativer Strukturen*,²⁸¹⁸ für Jantschs *Theorie der Selbstorganisation*,²⁸¹⁹ oder für H.A. Simons *Architektur des Komplexen*.²⁸²⁰ Bei letzterer geht es darum, das Komplexitätsmaß komplexer Systeme anhand des Informationsgehalts zu messen.²⁸²¹ Das ist nicht nur insofern gerechtfertigt, als *Verfahren der Informationsverarbeitung* für alle komplexen Systeme charakteristisch sind, sondern auch, weil Komplexität zuvorderst eine *informativische* Qualität besitzt.²⁸²²

²⁸¹¹ Vgl. etwa Eigen (1971: 467; 1997: 22 f.).

²⁸¹² Shannon/Weavers (1949) *Mathematical Theory of Communication* wird in der deutschen Fassung in *Informationstheorie* übersetzt.

²⁸¹³ Vgl. hierzu Atmanspacher (1996: 179).

²⁸¹⁴ Vgl. etwa Brillouin (1950).

²⁸¹⁵ Vgl. Eigen (1971, 1973, 1997: 22 ff.).

²⁸¹⁶ Vgl. hierzu Waterman (1984).

²⁸¹⁷ Vgl. Haken (1986, 1988a); siehe hierzu allerdings auch Haken (1987b).

²⁸¹⁸ Vgl. Prigogine (1988: 44 ff.) sowie Prigogine/Stengers (1993: 118 ff.).

²⁸¹⁹ Vgl. Jantsch (1979: 38, 88 f.).

²⁸²⁰ Vgl. H.A. Simon (1972b).

²⁸²¹ Vgl. H.A. Simon (1976a: 507).

²⁸²² Vgl. Eigen (1973: 598).

Prigogine (1993a: 12) unternimmt den Versuch, Gemeinsamkeiten von physischer und sozialer Welt über informationstheoretische Aspekte herzustellen und erkennt dabei die Notwendigkeit, die Informationstheorie für diese Zwecke zu modifizieren. Vor diesem Hintergrund skizzieren Prigogine/Stengers (1993: 118 ff.) die Unzulänglichkeiten konventioneller informationstheoretischer Ansätze und sehen allein in der Kopplung mit Markow-Ketten (Markov Chains) eine Lösung. An anderer Stelle bringt Prigogine (1988: 44 ff.) Evolutionsprozesse mit der Informationstheorie in Verbindung und koppelt letztere an Markow-Ketten. Diese beruhen weder auf einem rein zufälligen Prozess noch auf einem deterministischen Algorithmus. In Markow-Ketten ist jedes der Glieder, die einem Glied oder einer Sequenz von Gliedern folgen können, vielmehr durch eine Wahrscheinlichkeit charakterisiert. Demgegenüber erfährt die Informationstheorie von einem anderen Komplexitätsforscher deutlichere Kritik; für Kauffman (2000a) als theoretischen Biologen ist evident: »Shannon's information theory [...] entirely miss the central issues.«²⁸²³ Kauffman weist an gleicher Stelle darauf hin, dass die Informationstheorie eigentlich für ganz andere Zwecke, nämlich zur Quantifizierung des telefonischen Kommunikationsaufkommens entwickelt wurde, und dass diese im Laufe der Zeit dann auf immer weitere Gebiete projiziert wurde. Kauffman (2008) kritisiert die Shannonsche Informationstheorie dahingehend, dass zum einen der Informationsbegriff nicht geklärt wird, damit zusammenhängend zum anderen, dass dieser Informationsbegriff ein rein syntaktischer, nicht aber ein *semantischer* ist, indem er keine *Bedeutung (meaning)* aufweist:

»Shannon brilliantly *ignored semantics* to arrive at his quantitative theory of the amount of information carried down a channel. That is why Shannon tells us the *amount of information* passing down a channel, a syntactic quantity, but does not tell us what information *is*.«²⁸²⁴

Ein weiterer Komplexitätsforscher, nämlich Jantsch (1979) kritisiert einen anderen, indes für die Ontologie der Informatik ebenso relevanten Aspekt. Jantsch (1979: 38) fordert bereits explizit eine *neue* Informationstheorie, da die in der Nachrichtentechnik verwendete Variante nicht der Selbstorganisation von Information und damit der Entstehung neuen Wissens genüge. Für die Ontologie der Informatik ist genauso die Kritik des Physikers Haken (1985a, 1987b, 1988a) maßgeblich. Haken (1988a: 15) kritisiert analog zu Luhmann (1985) und Kauffman (2008), dass Shannon die *Bedeutung* von Information unberücksichtigt lässt; und ähnlich argumentiert auch Prigogine (1988: 44 ff.). Tatsächlich geht die Informationstheorie in ihrer klassischen Shannonschen Variante lediglich von einem *technisch-formalen Informationsbegriff* aus, nicht jedoch von einem *semantischen Informationsbegriff*. Denn dieser bezieht sich nur auf *Signalübertragung*, sei es in technischen oder biologischen Systemen, nicht aber auf *Bedeutungsübertragung*.²⁸²⁵ Vielmehr ist der technisch-formale Informationsbegriff zu sehen als Signal resp. Bedeutungsträger, der durch semantische Information erst noch zu überlagern ist.²⁸²⁶ Für die ursprünglichen

²⁸²³ Vgl. Kauffman (2000a: 5); vgl. zu dieser Kritik im Einzelnen Kauffman (2000a: 112 f.).

²⁸²⁴ Kauffman (2008: 193).

²⁸²⁵ Vgl. Roth (1992: 111).

²⁸²⁶ Vgl. hierzu Roth (1992), insbes. S. 109, 111.

Zwecke der Informationstheorie ist dies auch nicht erforderlich, wenn gilt: »Information theory – as developed by Shannon, Wiener, Kolmogoroff and others – is concerned with the probabilistic aspect of a particular choice among a set of alternatives.«²⁸²⁷ Wenn aber die Interaktion wesentlicher Agentenklassen primär an der *Bedeutungsübertragung* festmacht, was mit Luhmann (1985) gerade auch unter dem Komplexitätsgesichtspunkt wesentlich ist, dann geht die klassische Informationstheorie offenbar an agentenbasierten Systemen wie insgesamt an *Complex Adaptive Systems* (CAS) vorbei. Dass auch diese Problematik im Zeichen des Whiteheadschen "Grundstoff" der *Information* steht, wird mit Lyre (1998) deutlich, der im Kontext der Quantentheorie der Information eine semantische Auslegung der Informationstheorie fordert. Das sieht P. Davies (2004a) im Zeichen der "*New Physics*" ähnlich, wenn er auf die Quantentheorie Wheelers abstellt:

»Thus emerged Wheeler's idea of the *participatory universe*, one that makes full sense only when observers are implicated; one that is less than fully real until observed. He envisaged a *meaning circuit*, in which atomic events are amplified and recorded and delivered to the minds of humans – events transformed into meaningful knowledge – and then conjectured a return portion of that meaning circuit, in which the community of observers somehow loops back into the atomic realm.«²⁸²⁸

Offenbar ist eine *neue* Informationstheorie erforderlich, die folgenden Kriterien zu entsprechen hat: sie muss wissenschaftliche bzw. empirische Theorie sein, insofern sie die Sachverhalte in den einzelnen Disziplinen unter informationstheoretischen Gesichtspunkten erklären können muss. Sie bedarf einer metaphysischen Verankerung, insofern sie am "Grundstoff" der *Information* festmacht und dabei gerade nicht disziplinär oder interdisziplinär orientiert sein kann. Schließlich muss sie, wie einhellig gefordert wird, die Semantik erschließen. Auch wenn all diese Forderungen bei den Komplexitätsforschern auf die *physische* Welt bezogen sind, ist mit Whiteheads Digitalmetaphysik wie unter techno-wissenschaftlichen Gesichtspunkten evident, dass eine *cyber-physische* Bezugsbasis in Frage steht. Ungeachtet dessen geht es dabei um *ontologische* Semantik, primär nicht um linguistische Semantik. Das heißt, der Bedeutungsgehalt erschließt sich strukturalistisch über die *Perzeption*, wie es bei Leibniz und Whitehead angedacht ist und mit J.J. Gibsons (1966, 1979) *Information pickup theory* für visuelle Systeme universalisiert wird. Diese korrespondiert wiederum mit der Whitehead-Quineschen Pixeltheorie. Insgesamt wird deutlich, dass es mit logischen Atomen, Bits, Pixel, Signalen und schließlich mit Ereignissen um cyber-physische Entitäten und Sachverhalte geht, auf denen die Semantik gründet. Entsprechend kann es nicht primär, sondern allenfalls ergänzend um linguistische Semantik gehen. Gleichsam ist evident, dass mit einer *semantischen Informationstheorie* etwas anderes gemeint sein muss als die Semantik bei Carnap/Bar-Hillel (1952), Bar-Hillel/Carnap (1953) bzw. Bar-Hillel (1955).

In der Tat ist demgegenüber die IMKO *Informationstheorie* vollständig anders gedacht. Mit der IMKO *Informationstheorie* steht nicht die Normalsprache im Fokus, sondern zu-

²⁸²⁷ Vgl. Eigen (1973: 599).

²⁸²⁸ P. Davies (2004a: 8).

nächst einmal der cyber-physische Zusammenhang als solcher, also das, worum es dem Sachverhalt nach eigentlich geht. Demnach ist die Informationstheorie im Leibniz-Whiteheadschen Sinne auf *Cyber-physische Systeme* (CPS) zuzuschneiden, und auf nichts anderes. Vor allem sollte man nicht dem Fehler erliegen, eine semantische Informationstheorie von der Normalsprache ausgehend aufschließen zu wollen. In ihr das Primäre zu sehen, würde wiederum mit Heil (2003: 189) bedeuten: »the linguistic tail wagging the ontological dog«. Vielmehr beginnt die IMKO *Informationstheorie* beim *universalen metaphysischen Kern*, der im Zeichen der *Information* als logico-mathematischer "Grundstoff" steht und endet bei der Semantik der *Knowledge Ontology*. Es gilt mit P.M. Simons (2006b: 95) erneut: »metaphysics constrains semantics«. Es ist das, was Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* im CPST-Hyperspace benötigen – und nichts anderes. Mit universaler Metaphysik zu beginnen, heißt mit der Leibniz-Whiteheadschen *Perzeption* zu beginnen, nämlich mit der *CPS-Sensorik*. In Bezug auf optische Sensoren kann dabei auf J. Gibsons (1966, 1979) *Information pickup theory* für visuelle Systeme aufgebaut werden; allerdings bezieht sich die Whiteheadsche Perzeption universell auf alle Sensortypen. Im Zeichen des *Cognitive Computing* ist mit Whiteheads "Sense-data" beim *Subjekt-Superjekt* als universaler Agentenklasse anzusetzen; diese ist in spezielle Klassen perzipierender Agenten weiter zu differenzieren. Grundlegend ist dabei die Differenzierung zwischen menschlichen und maschinellen Agenten, indem bei ersten das Moment *kognitiver Verzerrung* (cognitive bias) insbesondere auch mental verursacht sein kann. Demgegenüber ist bei zweiten eine Ausdifferenzierung von Subklassen gemäß der jeweiligen Mächtigkeit maschineller Agenten vorzunehmen. Darüber hinaus ist mit den heterogenen IoX-Kontexten eine weitere Differenzierung von Agenten vorzunehmen; das betrifft AL-Agenten wie ebenso informationstheoretisch zu erschließende natürliche Agenten im *Internet of Living Things* (IoLT). Geht es hier um den KR-Aspekt, müssen die entsprechenden *Scientific Ontologies* kategorial so beschaffen sein, dass sie biologisches Domänenwissen auf Basis transdisziplinärer Kategorien zu repräsentieren vermögen. Nur dann kann Rückgriff auf physikalisches Domänenwissen genommen werden, und nur dann lässt sich die Symbiose von "*New Physics*" und "*New Biology*" wissenschaftlich auch tatsächlich realisieren. Damit kommt der *Top-level Ontologie* im IMKO *OCF* die entscheidende Rolle zu.

Wenn es im IMKO *OCF* um zwei integrierte Arten von Ontologien geht, nämlich um die metaphysische Ontologie sowie die mit ihr kategorial bzw. meta-ontologisch unmittelbar verknüpfte Wissensontologie, stellt sich abschließend zu dieser kurzen Skizze der IMKO *Informationstheorie* noch die Frage, wie von der physischen Sensorik ausgehend die Entstehung von Bedeutung zustande kommt. Die Erklärung ist einfach, indem es um ein und dasselbe geht, nämlich um Bits bzw. Informationsatome. Universalontologisch gilt: "*It from bit*"; also das, was existiert, gründet auf Bits und Bytes. Diese Existenz ist am besten visuell auf Pixelbasis umrissen. Demgegenüber ist der Informationsaustausch an der physischen Signalübertragung festzumachen. Informativ Bits und Bytes lassen sich

natürlich interpretieren; dabei bildet der *Informationsgehalt* eines Bits mit "0" vs. "1" die kleinste Alternative im *Bedeutungsgehalt*. Wie kommt also Bedeutung zustande? Das wiederum ist am einfachsten mit dem Morsealphabet erklärt. Somit ist mit dem IMKO *OCF*, dem eine techno-wissenschaftliche *Klasse-4-Metaphysik* als Digitalmetaphysik zugrundeliegt, klar, dass im Zeichen von letzterer mit Bits und Bytes zu beginnen ist, nicht bei den Begriffen selbst. Als kategoriale Grundlegung aller Daten, Informationen und allen Wissens kann Metaphysik sinnvoll nur in Form der techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* konzipiert sein, mithin in Form der Whiteheadschen Prozess- bzw. Digitalmetaphysik. Unter Voraussetzung der Funktionsfähigkeit der Sensorik wird bei Cyber-physischen Systemen prinzipiell eine dauerhaft exakte Interpretation des Bedeutungsgehalts möglich; eine mental verursachte *kognitive Verzerrung* (cognitive bias) entfällt grundsätzlich. Kognitive Fehler resultieren allein aus einem fehlerhaften "*belief system*", womit die Bedeutung der "*belief revision*" bzw. des Abgleichs der verschiedenen in Pkt. 3.5 erörterten Ontologietypen umso wesentlicher wird. Referenzontologien bilden unter dem Kriterium ihrer TLO-Referenz dabei einen unabdingbaren Bestandteil. Im Grunde verläuft die Bedeutungsentstehung somit gemäß des in Pkt. 6.2.1 erörterten CEP/SCEP-Konnexes. Insofern offenbart sich die zentrale Relevanz des IMKO *OCF*, indem sich diese Transformation im Sinne des *Ubiquitous Complex Event Processing* (U-CEP) überall im *Internet of Everything* findet, was eine identische Basis, die *Metaphysik der Informatik*, einfordert.

Metaphysik stellt die Frage nach den fundamentalen Strukturen aller Welten, insbesondere nach der Realität. Mit der *Information* als "Grundstoff" sind diese Strukturen in der Whiteheadschen Metaphysik keine materiellen, sondern informatorische Strukturen. Dabei ist bei Whiteheads *universalem Strukturalismus* wiederum doppelt zu differenzieren, nämlich nach einem formallogischen und einem natur- bzw. erfahrungswissenschaftlichen Standpunkt, wie er einerseits der Digitalmetaphysik, andererseits dem Ratio-Empirismus der techno-wissenschaftlichen Metaphysik entspricht. Nach dem formallogischen Standpunkt impliziert die Whiteheadsche Metaphysik ein logico-mathematisches Universum oder das, was Kant (1800) als *Regeluniversum* bezeichnet hat. Damit geht es letztlich um die *Ontologisierung der Booleschen Logik*, die entsprechend für alle Ontologie- bzw. Welttypen von CYPO FOX gültig ist; von W1 bis W4 wie für ihre kausale Interdependenz. Anders können *Cyber-physische Systeme* (CPS) nicht kausal in der Welt sein. Demgegenüber läuft der natur- bzw. erfahrungswissenschaftliche Standpunkt im Einklang mit dem formallogischen darauf hinaus, dass es in allen Domänen reale Strukturen gibt, die Whiteheads (1925) *Theorie zellulärer Organismen* entsprechen. Die Adaption ist dabei Sache systemisch-relational verkoppelter *Subjekt-Superjekte*, die untereinander Informationen austauschen und verschiedene Zustände einnehmen können. Dieser *universale Strukturalismus* Whiteheads findet sich schließlich in den dissipativen Strukturen Prigogines wieder:

»Once we have dissipative structures, we can speak of self-organization. Even if we know the initial values and boundary constraints, there are still many states available to the system among which it 'chooses' as a result of fluctuations. Such conditions are of interest beyond the realms of physics and chemistry. Indeed, bifurcations can be considered the source of diversification and innovation.

These concepts are now applied to a wide group of problems in biology, sociology, and economics at interdisciplinary centers throughout the world.«²⁸²⁹

Es gibt bei Whitehead keine materiellen Substanzen, sondern vielmehr nur prozessual-informativische Form, und diese ist zu interpretieren im Sinne struktureller Ordnungsmuster, die sich in ständigen Evolutionsprozessen herausbilden: »In the philosophy of organism it is not 'substance' which is permanent, but 'form'. Forms suffer changing relations; actual entities 'perceptually perish' subjectively, but are immortal objectively.«²⁸³⁰ Wichtig ist also zu verstehen, dass es weder in der Komplexitätsforschung noch in der Whiteheadschen Prozessmetaphysik als Ursprungparadigma einen Träger von Veränderungen gibt, wie er im neo-aristotelischen Hylemorphismus und auch noch etwa in Bunges materialistischer *Scientific Metaphysics* angelegt ist. Vielmehr gilt im Sinne Whiteheads, Prigogines und anderen mit Bergson:

»Es gibt Veränderungen, aber es gibt unterhalb der Veränderung keine Dinge, die sich verändern: die Veränderung hat keinen Träger nötig. Es gibt Bewegungen, aber es gibt keinen unveränderlichen Träger Gegenstand, der sich bewegt: die Bewegung schließt also nicht etwas ein, was sich bewegt.«²⁸³¹

Dennoch existiert das Moment der Beharrung auch ohne Träger in der Prozessmetaphysik; selbstidentisch sind diese Ordnungsmuster bei Whitehead dann, wenn sie sich als zeitliche Teile eines Ganzen reproduzieren. Für die Persistenz emergentistischer Organismen gilt mit Whitehead: »[E]ndurance is the property of finding its pattern reproduced in the temporal parts of the total event.«²⁸³² Entsprechend grenzt Whitehead (1929a) im Gegensatz zu seinem Schüler Quine explizit "*enduring objects*" ab, was für die Ontologie der Informatik vor dem Hintergrund der Reproduktion Whiteheadscher Ordnungsmuster sowohl für die metaphysische Ontologie als auch insbesondere mit Blick auf ihre *Knowledge Ontology* elementar ist. Bei Aristoteles bezieht sich die Selbstidentität hingegen auf Aspekte, die für die Informatik nicht universal sein können, nämlich auf materielle Dinge. Damit verbunden steht der aristotelischen 3D-Sichtweise die Whiteheadsche 4D-Sichtweise gegenüber, für die gilt: »We have got to determine the meaning of a space-point in terms of the event-particles of the four-dimensional manifold.«²⁸³³ Auch in dieser Sache besteht zu Aristoteles eine grundsätzliche Disparität, wenn die Auslegung des Substanzbegriffs gerade im Sinne sich selbst genügender, selbstidentischer und alle zeitlichen Veränderungen überdauernder Wesenheiten erfolgt. Demgegenüber liegen dem Whiteheadschen Prozessverständnis mit der *actual entity* Wesenheiten zugrunde, die nicht nur dem Resultat organisch gewachsener Prozesse entsprechen, sondern als solche einen grundsätzlich *relationalen* Charakter aufweisen.²⁸³⁴

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob es sachgerecht ist, das Moment der Struktur zwingend auf einen Träger bzw. auf eine Substanz, auf ein Ding oder Objekt zu

²⁸²⁹ Prigogine (1997: 70).

²⁸³⁰ Vgl. Whitehead (1929a: 29).

²⁸³¹ Bergson (1948: 167).

²⁸³² Vgl. Whitehead (1925: 152).

²⁸³³ Vgl. Whitehead (1920: 176).

²⁸³⁴ Vgl. Whitehead (1929a: 18 f.).

beziehen. Bunge/Mahner (2004: 38) behaupten genau das, wenn sie feststellen: »Es gibt in der Realität keine Strukturen an sich, sondern nur strukturierte Dinge«. Andere Naturwissenschaftler wie Whyte (1955b) sehen das völlig anders, wenn sie mit Blick auf die Physik bzw. komplexes Systemdenken postulieren, dass die Form wichtiger sei als die Materie:

»Indeed apparently the only function of the particles is to build up the patterns, for it is these latter that we actually observe. This is the final step: *The 'form,' in the new sense of the underlying structural pattern, is more important than its material components, which lack individuality.* Thus the twentieth-century idea of structure amounts to this. If one magnifies anything enough one reaches a characteristic structural pattern which is fundamental for the understanding of the properties of the thing. In every situation it is the ultimate structural pattern, rather than the individual material constituents and their supposed properties, which matters.«²⁸³⁵

Daraus folgt für Whyte: »[S]tructure is spatial form seen in its full complexity«,²⁸³⁶ was Shapiro (1989) und andere in gleicher Weise konzipieren:

»A *structure* is the abstract form of a system, focusing on the interrelationships among the objects, and ignoring any features of them that do not affect how they relate to other objects in the system.«²⁸³⁷

Dabei steht diese Struktur mit Russell wiederum im Kontext der Relationenontologie, indem gilt: »It is to be observed that structure always involves relations: a mere class, as such, has no structure«.²⁸³⁸ Vor diesem Hintergrund stellt sich an dieser Stelle unter dem Strukturaspekt die Frage, welche universale Weltauffassung die sachgerechte ist, also jene Bunes oder jene Whiteheads, auf der Whyte und andere aufbauen. Die Klärung dieses Sachverhalts ist einfach, wenn dieser letztlich immer seine Belastbarkeit auch in wissenschaftstheoretischer Hinsicht unter Beweis zu stellen hat: die Informatik kann auf der Position Bunes allein schon in doppelter Hinsicht nicht aufbauen. Zum ersten, weil sie dem kausalen Grundgedanken *Cyber-physischer Systeme* (CPS) widerspricht, wenn diese von Seiten der Cyberwelten konzipiert werden. Analoges gilt für Simons (1969) *Sciences of the Artificial*, wie es mit der in Pkt. 4.6 behandelten AL-Forschung offensichtlich wird. Zweitens gilt dies insofern, als mit Rombach (1965) nicht nur die Einheit der Wissenschaften auf dem strukturalistischen Fundament steht, sondern damit genauso die AI-relevante Einheit des Wissens:

»Struktur ist der Wesensbegriff der modernen Wissenschaft, ihn verwendet der Soziologe ebenso wie der Biologe, der Chemiker wie der Psychologe, der Mathematiker wie der Historiker. Es gibt keine Wissenschaft, in der dieser Begriff nicht eine entscheidende Rolle spielen würde. Warum das? Mit welchem Recht? Aus welcher Notwendigkeit heraus? Das muß eine Leitfrage der modernen Wissenschaftstheorie sein.«²⁸³⁹

Auch Whytes (1951, 1955a, 1955b, 1969a, 1969b, 1973) im physikalischen Zusammenhang stehende Aspekte der Form und Ordnungsstruktur gehen unmittelbar in den prozessontologischen *universalen Strukturalismus* Whiteheads über: Sie münden in einer Relationenontologie, wie sie durch Whitehead (1929a) konzipiert wird. Entsprechend unterstreicht Whyte (1955b: 27): »'Structure' is a name for the effective pattern of relationships in any situation«. Im Zusammenhang mit der Entstehung und dem Vergehen solcher Ordnungs-

²⁸³⁵ Whyte (1955b: 28), Hvh. im Orig.

²⁸³⁶ Vgl. Whyte (1955b: 29).

²⁸³⁷ Shapiro (1989: 146).

²⁸³⁸ Russell (1948a: 254).

²⁸³⁹ Rombach (1965: 15 f.).

strukturen nimmt Whyte eine Prozesssichtweise ein, wie sie der Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) entspricht. Whyte (1955b) spricht von einem *Formative process*, wobei N. Hartmann (1912) bereits in seinem Frühwerk die unabdingbare Korrelation von Form und Prozess herausgestellt hat. Komplexitätsforschung ist Strukturwissenschaft und es sind keine naturalistischen Theorien, sondern das metaphysische Konstrukt der Form, das Denken in Ordnungsstrukturen, die mit Whyte (1951) ihre Einheit begründen:

»Common to the ideas of form, configuration, pattern, and structure, is the notion of an ordered complexity, a multiplicity which is governed by some unifying principle. Our theme is thus the *realisation of unity of spatial form in the complex processes of physics, biology, psychology, and art*. But 'form' includes development and transformation. Indeed we can regard 'matter' as that which persists, and 'form' as that which changes, for no form is eternal.«²⁸⁴⁰

Wenn Whyte (1951: 2) an gleicher Stelle ergänzt: »And form, like change itself, is in many fields still obscure«, betrifft das nicht zuletzt seine eigene Disziplin, die Physik. Mit Blick auf die Diskurse im fünften und sechsten Teil ist schließlich zu klären, inwiefern die Informatik als Strukturwissenschaft zu verstehen ist, worin deren CPSS-Adäquanz und Bezug zur *Theorie komplexer Systeme* besteht, und welche Rolle die Whiteheadsche Prozessmetaphysik bei der Grundlegung der für die Informatik adäquaten Weltauffassung spielt. All diese Fragen führen über den *universalen Strukturalismus* des Whiteheadschen Werks. Whitehead (1934b: 296 f.) sieht die *logische Theorie* als »the general study of structures which are definable by the use of the apparatus of notions which lie within its scope [...] classes, relations, and number systems«. Die Struktur zeigt sich dabei bereits in der *Principia Mathematica* unmittelbar metaphysisch verankert.²⁸⁴¹ Der *universale Strukturalismus* im Whiteheadschen Denken bietet schließlich auch die Möglichkeit, den Strukturalismus Piagets in die Whiteheadsche (1929a) Prozessmetaphysik zu integrieren.²⁸⁴² In gleicher Weise findet sich dieser *universale Strukturalismus* bei Russell (1919d, 1927a, 1948a).²⁸⁴³ Insofern haben sich mit Whitehead (1919, 1920), Russell (1927a) und Carnap (1928a), aber auch etwa mit Eddington (1928, 1939) oder Schlick (1938) ausgewiesene Wissenschaftstheoretiker seit langem ausgiebig mit dem universalen Gedanken der *Wissenschaften als Strukturwissenschaften* beschäftigt. Der *universale Strukturalismus* ist jedoch nicht nur mit den Augen des Mathematikers zu sehen, sondern vielmehr auch mit jenen des Philosophen. Hartmann (1949b: 129), der bekanntlich im Wesentlichen in einer Linie mit Whitehead steht,²⁸⁴⁴ warnt nicht umsonst davor, dass man »nicht in den Fehler der alten metaphysischen Konstruktionen verfallen« sollte, sich »die Welt zu einfach vorzustellen«, indem man versucht, »wie der Idealismus – die Metaphysik von oben – oder der Materialismus – die Metaphysik von unten – die Welt aus einem Prinzip zu erklären«. Whitehead folgt in der Tat keiner dieser Positionen, schließt sie indes keineswegs vollends

²⁸⁴⁰ Whyte (1951: 2), Hvh. im Orig.

²⁸⁴¹ Der Terminus der *Struktur* wird in der *Principia Mathematica* im Zeichen einer auf alle Relationen anwendbaren allgemeinen Arithmetik umfänglich definiert, vgl. Whitehead/Russell (1910-13, II: Ch. IV).

²⁸⁴² Vgl. hierzu Riffert (1995).

²⁸⁴³ Vgl. hierzu auch Clement (1953) sowie Reck/Price (2000).

²⁸⁴⁴ Vgl. dazu auch H. Wein (1954) sowie Mohanty (1957).

aus, und erklärt die Welt dennoch in Leibnizscher Tradition aus einem elementaren Prinzip, nämlich über den logico-mathematischen universalen Strukturalismus.

Wenn für Whitehead alle wahrhaften Wesenheiten "Organismen" repräsentieren, wird die zentrale Relevanz des Strukturgedankens offensichtlich, wenn festzustellen ist, dass mit diesem Organismus nichts anderes als eine organismische bzw. systemische Struktur gemeint ist. Insofern stellt das Whiteheadsche Schlüsselkonzept des Organismus ein universales Strukturkonzept dar. Dieses korrespondiert mit der metaphysischen Form, die nicht nur mit N. Hartmann (1912) als *relationale Form* zu verstehen ist, sondern im Zeichen des "*Formative Process*" wie prozessontologisch gleichzeitig ein *prozessuales Formverständnis* impliziert. Generell geht die Strukturontologie davon aus, dass alles Sein wie auch alles Lebendige in den entscheidenden Zusammenhängen *Struktur* ist.²⁸⁴⁵ Allerdings erfordert eine CPSS-adäquate Strukturontologie ein spezifisches Strukturverständnis. Indem sich gerade auch etwa die AL-Forschung als *Strukturwissenschaft* versteht, benötigen in einer CPSS-adäquaten Strukturontologie artifizielle Prozesse in *kausaler Hinsicht* faktisch den ontologischen Status natürlicher Prozesse, wie es Rasmussen (1992) entsprechend auf informatorischer Grundlage postuliert. Andererseits ist jedoch nicht jeder artifizielle Prozess genauso "real" wie ein natürlicher Prozess. Auch insofern kommt die Informatik nicht um eine Mehrweltenontologie wie CYPO FOX umhin.

Mit Blick auf die Frage, ob bei Whitehead ein *Strukturenrealismus* gegeben ist und wie seine Representation zu vollziehen ist,²⁸⁴⁶ besteht die erste Feststellung darin, dass es sich bei Whitehead/Russell um einen *mathematischen Strukturalismus* handelt. Dieser ist indes mit dem *Structural Realism* (SR) nicht ohne weiteres zu vereinbaren, was mindestens in dreifacher Hinsicht gilt: (i) zum ersten wird dies erst dann möglich, wenn die Whiteheadsche Prozessmetaphysik um CYPO FOX ergänzt wird, womit sich die Frage des Strukturenrealismus auf der Basis spezifischer Welttypen beantworten lässt. Denn die Realität ist im Sinne Poppers als abgestufte Realität zu verstehen, etwa indem W1A-Strukturen andere sind als etwa W2F- oder W4A-Strukturen. Darüber hinaus reichen (ii) Strukturen allein nicht aus, um die Existenz konkreter Entitäten zu postulieren. Vielmehr sind intrinsische Eigenschaften erforderlich, über die sich diese relationale Struktur erst entwickelt. Ferner ist mit Whiteheads Prozessmetaphysik (iii) ein besonderer Fokus auf das prozessuale Moment zu richten. In erster Linie geht es um Prozesse, aus denen die Strukturen als Form erst emergieren. Vor diesem Hintergrund bildet auch der Begriff der Randbedingung einen abstrakten Strukturbegriff. In dieser Hinsicht ist ein *prozessualer Strukturenrealismus* zu fordern, wie ihn Earley (2006, 2008) als Neo-Whiteheadschen *Process Structural Realism* (PSR) ins Spiel bringt.

Ad (iv) ist auf einige wesentliche Charakteristika der Whiteheadschen Prozessmetaphysik einzugehen, nicht zuletzt auf den Umstand, dass ihr im Zeichen ihres *metaphysischen*

²⁸⁴⁵ Vgl. Rombach (2003: 29).

²⁸⁴⁶ Vgl. hierzu French/Saatsi (2006) bzw. French (2014).

Logizismus bzw. des *Logischen Atomismus* die mathematische Logik als solche inhärent ist. – Das Whiteheadsche Werk lässt sich insofern als insgesamt wichtigstes philosophisches Werk einstufen, als es eine *universale Synthese* markiert; es verkörpert eine *kosmologische* wie eine *metaphysische Synthese*, indem es den Ratio-Empirismus vertritt, den Gegensatz von Materialismus und Idealismus aufhebt, sowie den Realismus wie Konstruktivismus aussöhnt. Dazu vollzieht es eine zweite Kopernikanische Wende und lässt damit jene Kants bestehen;²⁸⁴⁷ es überwindet nicht weniger als den *Cartesischen Dualismus* und die *Subjekt-Objekt-Dichotomie*; es verbindet die Positionen von Platon und Aristoteles. Insgesamt ist es das philosophische Werk, das mit Abstand die größte Integrationsleistung vollbringt; es integriert als Kosmologie die gesamte Philosophie mit der gesamten Wissenschaft und Technopraxis. Es geht mit allen modernen Schlüsseltheorien konform, bringt sie auf eine Synthese und nimmt den modernen Systemgedanken, das heutige Komplexitätsparadigma sowie alle digitalen bzw. cyber-physischen Prozesse in metaphysischer Hinsicht vorweg. Schließlich handelt es sich um eine *wissenschaftsorientierte Universalontologie*, die sich gerade für die Zwecke der integrierten metaphysischen Wissensontologie heranziehen lässt. Der Whiteheadschen Philosophie, die sich nicht nur als Kosmologie, sondern auch als *Naturphilosophie* versteht,²⁸⁴⁸ gelingt es, den Kosmos vom Atom über den biologischen Organismus und die menschliche Handlungssphäre bis zum Planetensystem in den Werdeprozessen einer organismischen Weltauffassung in einem einzigen, der logico-mathematischen Beschreibung zugänglichen Ansatz zu fassen. Während die Bunge'sche Metaphysik im Zeichen von "*Entweder-oder-Entscheidungen*" eng gefasst ist, lässt sich für Whitehead hingegen Feyerebends (1975) "*anything goes*" reklamieren.

Wenn es mit der "*New Physics*" als *Physik der Evolutionsprozesse* nunmehr um die kosmologische Evolution im Ganzen geht, dann liegen die Ursprünge dieser Entwicklung insofern bei Whitehead, als er diesen Aspekt der Naturphilosophie bzw. der philosophischen Systeme insbesondere des deutschen Idealismus in das ratio-empirische Schema seiner techno-wissenschaftlichen Digitalmetaphysik bringt. Insofern zeigt sich wiederum die Synthese Whiteheads, indem er die Vielzahl kosmologischer Evolutionsgedanken in der Weise vereinheitlicht, dass universal auf sie referenziert werden kann. Der strukturalistische Evolutions- und Prozessgedanke stellt in der Whiteheadschen Kosmologie insgesamt den zentralen Aspekt dar, indem alles andere, wie das Whiteheadsche Selbstorganisationsprinzip, die Emergenz, Komplexität, die fortwährende Entstehung neuer Ordnungsmuster oder schließlich der 4D-Ereigniszentrismus an ihm hängt. Whitehead setzt dabei Leibnizens *Monadologie* insofern fort, als diese bereits dem entgegensteht, was bei Descartes seinen Höhepunkt findet, nämlich einem statisch gedachten, in *res extensa* und *res*

²⁸⁴⁷ Vgl. Whitehead (1929a: 88): »The philosophy of organism is the inversion of Kant's philosophy. [...] For Kant, the world emerges from the subject; for the philosophy of organism, the subject emerges from the world – a 'superject' rather than a 'subject'«; vgl. hierzu ergänzend Wiehl (1990: 219, 233 f., 238 f.) sowie G.R. Lucas (1990a).

²⁸⁴⁸ Vgl. Rust (1990: 123).

cogitans zweigeteilten Substanzgedanken. Der Cartesische Dualismus ist das Zugeständnis an die entstehende klassische Physik, die mit ihrer Mechanistik eine *mathematisch-exakte Weltauffassung* verkörpert. Diese bringt zwar einen großen Wissenschaftsfortschritt, doch verliert sie dabei letztlich den Blick für das Ganze, die Kosmologie, aus den Augen.

Indem der Cartesische Dualismus ein metaphysisches Problem markiert, lässt es sich in der Tat erst durch die Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) aufheben, indem diese als strukturalistischer Ansatz bzw. als Systemontologie einen universalen, formalen wie materialen Zugang zu sämtlichen Sachverhalten jeglicher Welten bzw. Diskursuniversen eröffnet. Gleiches gilt für die Überwindung der *Subjekt-Objekt-Dichotomie*, die mit der Aufhebung des Cartesischen Dualismus zu verbinden ist. Diese Aufhebung, die für die CPSS-adäquate Informatik genauso entscheidend ist, lässt sich ebenfalls allein metaphysisch vollziehen, indem die Epistemologie in dieser Hinsicht der Metaphysik notwendig nachgeordnet ist. Wie bereits in Pkt. 3.5 im Zusammenhang mit dem W2-Moment des *Subjekt-Superjekts* herausgestellt, bilden die Agentenwelten für Whitehead kosmologische Ingredienzien und keine Fremdkörper:

»Nature is [...] a totality including individual experiences, so that we must reject the distinction between nature as it really is and experiences of it which are purely psychological. Our experiences of the apparent world are nature itself.«²⁸⁴⁹

Vor diesem Hintergrund gilt schließlich: »We leave to metaphysics the synthesis of the knower and the known«, und das impliziert mit Blick auf das *Cognitive Computing* eine »metaphysics of reality of which the scope embraces both perceiver and perceived«.²⁸⁵⁰ Dass für den W2-Welttypus die gleichen Kategorien gelten wie für das Universum an sich, wie für alle Welten, ist dann richtig verstanden, wenn man das Whiteheadsche Werk von Leibniz ausgehend über Boole erschließt. Immer gilt für Whitehead: »We must start with the event as the ultimate unit of natural occurrence«.²⁸⁵¹ Dabei werden die Kategorie des Ereignis wie auch die anderen grundlegenden Kategorien bei Whitehead systematisch auf die *Physica rationalis* und auf die *Psychologia rationalis* bezogen, wie sie in der Metaphysiksystematik Wolffs abgegrenzt werden. Das geschieht mit dem Ziel, alle ontologischen Sachverhalte aus einem einzigen Ansatz heraus erschließbar zu machen.²⁸⁵²

Insgesamt ist der Informatik vorzuhalten, dass sie sich zwar in ihren Ursprüngen regelmäßig auf Leibniz beruft, jedoch diesen im Ganzen kaum verstanden haben kann. Ansonsten müsste sie einsehen, dass Leibniz genau insofern den Ursprung der Disziplin markiert, als es um das ganze Leibnizprogramm geht. Entscheidend ist die Einheit von *Scientia generalis*, *Mathesis universalis* und *Metaphysica*. Dabei besteht gerade in letzter der Schlüssel, wengleich heute kaum ein Informatiker behaupten würde, dass die Informatik eine Metaphysik besitzt. Genau darin besteht eines ihrer Elementarprobleme, denn damit muss zwangsläufig der Zugang zu der Frage verwehrt bleiben, wie eine CPSS-adäquate

²⁸⁴⁹ Whitehead (1922a: 52).

²⁸⁵⁰ Vgl. Whitehead (1920: 28).

²⁸⁵¹ Vgl. Whitehead (1925: 103).

²⁸⁵² Vgl. Whitehead (1925).

Ontologie der Informatik zu konzipieren ist. Leibniz hat im Zeichen seiner *Mathesis universalis* nicht nur die Entwicklung des Computers gedanklich vorweggenommen, sondern mit seiner *Scientia generalis* auch aufgezeigt, was den AI-Transdisziplinaritätsgedanken der *Knowledge Ontology* ausmachen muss. Vor allem hat Leibniz mit dem Automatenuniversum seiner *Metaphysica* unterstrichen, dass der eigentliche Zugang zur Informatik in ihrer Metaphysik liegt. Leibniz, Whitehead wie Popper sind zuvorderst als kosmologische Metaphysiker zu verstehen, denen es gerade in Ontologiefragen um das *universale Prinzip* geht, das allein für die Informatik bestimmend sein kann. Die Zukunft der Ontologie der Informatik liegt genau hier, nämlich in der Verbindung dieser drei Kosmologien, die auch faktisch ein großes Ganzes bilden. Geht man diesen Weg, gelangt man zu dem, was mit CYPO FOX im IMKO OCF herausgearbeitet ist. Daran ist mit nachgeordneten Aspekten wie der IMKO *Informationstheorie* oder das CYPO *Ontology-driven Complex Event Processing* (CYPO OCEP) anzuschließen.

Mit seinem auf Selbsterschaffung und Selbstdetermination aufbauenden Prozessverständnis zeigt sich der Whiteheadsche Ansatz geradezu prädestiniert für eine universalontologische Fundierung selbstorganisatorischer Prozesse dissipativer Strukturbildung.²⁸⁵³ Das Entwicklungsprinzip tritt bei Whitehead als kosmische Kreativität des schöpferischen Fortschreitens der realen Welt durch das Hervorbringen von immer Neuem in Erscheinung, und bildet dort nicht weniger als die "Category of the Ultimate",²⁸⁵⁴ die in Whiteheads kosmologischer Tradition auch für Popper zentral ist.²⁸⁵⁵ Aufbauend auf diesem Entwicklungsprinzip stellt Whitehead (1929a: 18 ff.) seiner Kosmologie ein daran orientiertes kategoriales Schema mit insgesamt fünfundvierzig Kategorien voran. Das Whiteheadsche Kategorienschema ist dabei so angelegt, dass sich sämtliche Ereignisse auf der Grundlage dieses Fundamentes interpretieren lassen, jedes Moment des Werdens, jede Form physischer Veränderung sowie jedes universale agentenrelevante Element wie Erlebnisse, Wahrnehmungen, Willensakte oder Gedanken.²⁸⁵⁶ Hierbei ist wesentlich, dass der Rationalismus und die damit verbundene axiomatisch-deduktive Methode nur eine Seite des Whiteheadschen Denkens ausmacht, während die andere Seite explizit im Empirismus besteht.²⁸⁵⁷ In Whiteheads organismischer Philosophie werden Rationalismus und Empirismus vereint,²⁸⁵⁸ was schon daran deutlich wird, dass Whiteheads erste Kategorie des Elementaren im schöpferischen Fortschreiten der wirklichen Welt (*actual world*) zu immer Neuem (*novelty*) besteht.

²⁸⁵³ Vgl. zur Selbsterschaffungsfähigkeit wirklicher Einzelwesen Whitehead (1929a: 25, 47, 69, 85, 289).

²⁸⁵⁴ Vgl. Whitehead (1929a: 21 f.).

²⁸⁵⁵ Vgl. Popper in Popper/Eccles (1977: 61): »[T]he greatest riddle of cosmology may well be [...] that the universe is, in a sense, creative: that it created life, and from it mind – our consciousness – which illuminates the universe, and which is creative in its turn«.

²⁸⁵⁶ Vgl. hierzu auch Whitehead (1929a: 9).

²⁸⁵⁷ Vgl. hierzu Wightman (1961) und Leclerc (1986).

²⁸⁵⁸ Vgl. hierzu Whitehead (1929a: 3): »[S]peculative philosophy has its rational side and its empirical side. The rational side is expressed by the terms 'coherent' and 'logical.' The empirical side is expressed by the terms 'applicable' and 'adequate'«.

In der kosmischen Kreativität (*creativity*) liegt im offenen Universum das ursprünglich generative Element des wirklichen Einzelwesens (*actual entity*) resp. des aktuellen Ereignisses (*actual occasion*): »‘Creativity’ is the principle of *novelty*. An actual occasion is a novel entity diverse from any entity in the ‘many’ which it unifies«.^{2859, 2860} Nagel (1949a: 101) erkennt die Tragweite dieser ultimativen Kategorie und unterstreicht entsprechend »the necessity of instituting an ‘organismic’ point of view and ‘organismic’ categories of explanation in the study of all natural phenomena, and for a variety of metaphysical doctrines concerning levels of being, emergence, and creative novelty«. Das Whiteheadsche System ist damit nicht abgeschlossen in dem Sinne, als die aus dem Kategoriensystem durch Deduktion gewonnenen Aussagen – wie es gleichsam für die analytischen Urteile der Logik und Mathematik überhaupt gilt – nur die Explikation dessen bedeuten können, was implizit bereits in den Axiomen gesetzt ist. Mit dem Empirismus als zweiten Polar Whiteheadschen Denkens verbindet sich im Erkenntnisprozess demnach die Gewinnung grundsätzlich neuer, bisher unbekannter Erkenntnisse, die sich jedoch durch die Universalität des prozessual orientierten Whiteheadschen Denkschemas absorbieren lassen. Entsprechend wird über diese empirische Komponente eine schrittweise fortschreitende Untersuchung der konkreten Erfahrungsgegebenheiten möglich. Es kommt demnach zwingend zu einer nachträglichen Erläuterung und Konkretisierung des Whiteheadschen Kategoriensystems, was sich bei der Vereinigung von Rationalismus und Empirismus in einer prozessual gedachten, d.h. durch ewiges schöpferisches Fortschreiten geprägten Welt nicht umgehen lässt; in diesem Sinne ist das Kategoriensystem bei Whitehead dem immanenten Entwicklungsprinzip nachgeordnet.

Mit dem kosmologischen Perspektivenwechsel vom "Sein" zum "Werden" (from 'Being' to 'Becoming') verdient die Prozessphilosophie, die als radikaler Gegenentwurf zur tradierten Substanzmetaphysik verstanden werden muss,²⁸⁶¹ ganz offensichtlich eine sehr viel stärkere Beachtung, als ihr heute faktisch zuteilwird.²⁸⁶² Obwohl Whitehead als ihr maßgeblicher Begründer als bedeutendster Metaphysiker – oder wie erwähnt mit Hartshorne (1984: 38) gar als Platon – des 20. Jahrhunderts zu werten ist, weil er sowohl die modernen Natur- wie die Sozialwissenschaften einer gänzlich neuen Deutung unterzogen und darüber hinaus eine Philosophie der Symbolisierung entwickelt hat, die sich genauso auf das Alltagswissen beziehen lässt, findet weder die Prozessmetaphysik im Allgemeinen noch Whitehead im Speziellen in den meisten Monographien zur Metaphysik überraschenderweise nicht einmal Erwähnung.²⁸⁶³ Das liegt daran, dass die auf das "Sein" bezogene deskriptive Metaphysik nicht selten in doktrinärer Weise vertreten wird, was bereits dadurch bedingt ist, dass es sich nicht um einen *revisionären* Metaphysikansatz handelt. Allerdings

²⁸⁵⁹ Vgl. Whitehead (1929a: 21).

²⁸⁶⁰ Vgl. hierzu im Einzelnen Emmet (1986) sowie F. Rapp (1986).

²⁸⁶¹ Vgl. Whitehead (1929a: 208 ff.) sowie Prigogine (1980a).

²⁸⁶² Vgl. hierzu auch Holz (1984a).

²⁸⁶³ Vgl. etwa Coreth (1994), Jubien (1997), Van Inwagen (2002) oder Loux (2002).

verkennt man damit das Wesen der Philosophie resp. Metaphysik, denn dieses besteht gerade in der fundamentalen Reflexion.

In den Augen Whiteheads (1929a: 49) kreist alle moderne Philosophie um die Schwierigkeit, die Welt mit Hilfe von Subjekt und Prädikat, Substanz und Qualität, Besonderem und Universalien zu beschreiben. Vor diesem Hintergrund sieht Whitehead (1929a: 48 ff.) neben dem relationalen Defekt der Substanzkategorie ein zweites Problem der Substanzmetaphysik darin, dass das Einzelne resp. Besondere (*particulars*) im Sinne der historisch-individuellen Mannigfaltigkeit der Phänomene gegenüber dem Allgemeinen (*universals*) strikt differenziert wird. Diese Frage der Differenzierbarkeit bildet die Grundlage des *Universalienproblems*, das die philosophische Tradition seit Platon und Aristoteles beschäftigt, und sie ist für Whitehead deshalb entscheidend, weil Universalien in der Sicht der Substanzmetaphysik *zeitindifferent* sind, und damit für eine Prozessphilosophie nicht wegweisend sein können. Ein *wirkliches Einzelwesen* ist bei Whitehead (1929a) *konkret*, indem es sich um eine besondere Konkretisierung des Universums handelt. Jede *actual entity* bildet somit etwas Individuelles.²⁸⁶⁴ Bei Aristoteles ist es die Unterscheidung zwischen ersten und zweiten Substanzen,²⁸⁶⁵ die das Universalienproblem berührt, und an den Grundbestimmungen über die Substanz und deren Verhältnis zu den Eigenschaften hängt die ganze Unterscheidung der aristotelischen Kategorien.²⁸⁶⁶ Dennoch gibt es auch bei Whitehead *Universalien*, und diese werden als "*eternal objects*" bezeichnet.²⁸⁶⁷ Mit Verweis auf Pkt. 6.2.3 handelt es sich dabei jedoch um platonische Universalien, nicht um aristotelische. Whitehead (1929a: 291) differenziert seine *eternal objects* in zwei Arten, nämlich in eine *objektive* und eine *subjektive* Art. Und es gilt: »Eternal objects of the objective species are the mathematical Platonic forms«. ²⁸⁶⁸ In einem platonisch geprägten mathematischen Automatenuniversum ist ihre Voraussetzung konsequent, und insofern erübrigt sich das Rätseln bei E.W. Hall (1930), was es mit Whiteheads "*eternal objects*" auf sich hat.²⁸⁶⁹

Ob es tatsächlich angebracht ist, eine Kompatibilität resp. Komplementarität der aristotelischen Substanzkategorie mit der Prozessmetaphysik anzunehmen, wie es zuweilen geschieht,²⁸⁷⁰ darf somit insgesamt bezweifelt werden. Das gilt gerade auch insofern, als es bei Aristoteles – im diametralen Unterschied zu Whitehead – nichts genuin Neues gibt. Das Universum bei Aristoteles ist vielmehr ein ewiges Universum. An die Stelle der *Substanz* als dem Zugrundeliegenden tritt bei Whitehead (1929a) die *actual entity* (auch: *actual occasions*),²⁸⁷¹ die auch hier das *wirkliche Einzelwesen* resp. das *wirkliche Ereignis* repräsentiert, und als *organisch gewachsene Prozesse* im Gegensatz zu den aristotelischen

²⁸⁶⁴ Vgl. Whitehead (1929a: 88).

²⁸⁶⁵ Vgl. Aristoteles ([Cat.]: 5, 2a 11-18).

²⁸⁶⁶ Vgl. den Kommentar Oehlers in Aristoteles ([Cat.]: 185).

²⁸⁶⁷ Vgl. Whitehead (1925: 159).

²⁸⁶⁸ Vgl. Whitehead (1929a: 291).

²⁸⁶⁹ Vgl. hierzu auch Gentry (1946) sowie B.F. Kennedy (1974).

²⁸⁷⁰ Vgl. Bidney (1936: 584), Leclerc (1953: 227) und Reck (1958); vgl. hierzu auch die Ausführungen von W. Smith (1896).

²⁸⁷¹ Whitehead (1929a: 137) bezeichnet das *Zugrundeliegende* als "ultimate type of actuality".

Substanzen die Bausteine des Kosmos bilden:²⁸⁷² »'Actual entities' – also termed 'actual occasions' – are the final real things of which the world is made up. There is no going behind actual entities to find anything more real. [...] The final facts are, all alike, actual entities; and these actual entities are drops of experience, complex and interdependent«.²⁸⁷³ Was Whitehead (1929a) mit Aristoteles teilt ist die Sichtweise, dass die ontologische Natur der Substanz im Sinne der *Entelécheia* als *Tätigkeit* zu verstehen ist; entsprechend ist auch für Whitehead die *actual entity* ein "tätiges" Ding.²⁸⁷⁴ Allerdings sollte dabei nicht übersehen werden, dass beides in einem völlig anderen metaphysischen Zusammenhang steht. Bei Whitehead geht es um die ereigniszentrierte, indeterminierte fortwährende Herausbildung temporärer Ordnungsstrukturen im Sinne dissipativer Systeme oder spontaner Ordnungen in einem kreativen Universum. Mit Mainzer (2008b: 138) beschreiben die heutigen Natur-, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften die Welt als ein "Meer des Zufallsrauschens", in dem "Inseln der Ordnung entstehen und wieder vergehen", und darin besteht jene prozessmetaphysische Perspektive, die Whitehead begründet. Indessen geht es zwar auch bei Aristoteles um Evolution, jedoch letztlich um etwas völlig anderes, nämlich um substanz- bzw. *dingbezogene* Werdeprozesse; d.h. Aristoteles fokussiert erst das Ding und dann seine Werdeprozesse; bei Whitehead ist es jedoch genau umgekehrt,²⁸⁷⁵ wenn Objekte bzw. Ordnungen sich aus Ereignissen konstituieren. Im Zeichen der Entelechie kann bei Aristoteles zwar ein Moment der Selbstentfaltung ausgemacht werden; Selbstorganisation im prozessualen Sinne der Komplexitätsforschung ist dies jedoch nicht.

Für Whitehead ist die aristotelische Substanzperspektive entsprechend grundsätzlich verfehlt, indem für seine Kosmologie das Moment des *Relationalen* wesentlich ist. Gerade deshalb tritt in der Whiteheadschen (1929a) Kosmologie an die Stelle des aristotelischen resp. Cartesischen Substanzbegriffs der Begriff der so genannten *actual entity*, des *wirklichen Einzelwesens* oder *wirklichen Ereignisses*.²⁸⁷⁶ Daraus resultiert eine metaphysische Konzeption, die Beharrung durch Wandel ersetzt bzw. das "Sein" als ein stetiges "Werden" versteht. Während sich der ontologische Holismus bereits in Aristoteles' Metaphysik findet, ist es Whitehead, der das relational-interaktive *Systemdenken* metaphysisch begründet. Bei diesem handelt es sich jedoch im Bungeschen Sinne um etwas anderes als um einen Holismus; entsprechend liegen P. Davies/Gribbin (1992: 23) falsch, wenn sie glauben, dass an die Stelle des Reduktionismus der Holismus treten könne.

Insgesamt wird deutlich, dass die Ursprünge verschiedener Kernaspekte der theoretischen Informatik, insbesondere mit Blick auf die Automatentheorie bzw. der Theorie zellulärer Automaten direkt auf Whitehead zurückzuführen sind. Das betrifft vor allem auch die für die Informatik gerade im CPS-Zusammenhang alles entscheidende Ereigniskatego-

²⁸⁷² Vgl. zu dieser Transformation im Einzelnen Leclerc (1953).

²⁸⁷³ Vgl. Whitehead (1929a: 18).

²⁸⁷⁴ Vgl. Leclerc (1953: 231).

²⁸⁷⁵ Vgl. hierzu auch Godsey (1975).

²⁸⁷⁶ Teilweise wird die *actual entity* auch mit *aktuale Wesenheit* übersetzt, vgl. Fetz (1981).

rie. McCulloch (1954) räumt als Neuroinformatik- resp. AI-Vorreiter die zentrale Bedeutung Whiteheads (1929a) in Bezug auf den Ereigniszentrismus ein:

»If there is to be in the world any knowledge about the world, there must be true propositions about the world. In the world of events a true proposition is an event which materially implies another event. That is, in the simplest case, one which happens only if that other event happened. In the world of physics a true proposition implies what it asserts. The world of physics is fairly described by Whitehead's 'Aether of Events'. The world for him is the whole that only happens once; and to be an event is to be some part of that whole.«²⁸⁷⁷

Das zentrale Problem *Cyber-physischer Systeme* (CPS) ist nicht, dass es sowohl um physische Welten als um Cyberwelten geht, sondern vielmehr, dass sie dabei ein *System* bilden. In wissenschaftlicher, technologischer wie praktischer Hinsicht geht es damit um den Kausalitätsaspekt und zugleich um die Realitätsfrage, also um klassische metaphysische Sachverhalte. Im dritten Teil wurde dargelegt, dass IoX-Systeme mit ihren *Smart Objects* ein neues, *postklassisches CM- wie AI-Verständnis* verlangen, das entsprechend ein postcartesisches Weltverständnis vermitteln muss. Wenn mit Zambak (2014) die Künstliche Intelligenz ein *neues metaphysisches Projekt* darstellt, stellt sich die Frage, wie eine solche *cyber-physische Metaphysik* konkret aussieht. Mit *Smart Objects* als systemisch-kausaler intelligenter Materie steht außer Zweifel, dass der Cartesische Substanzdualismus nicht zu halten ist; er ist zu überwinden. Schon McCulloch (1965: 155) vertritt als Kybernetiker die Ansicht, dass der Cartesische Dualismus aufzuheben wäre, weil Automaten – die der Materie zuzurechnen sind – heute im Sinne der Ratio "*Geist*" besäßen. Denn sie seien nicht nur zu selbstbezüglichem Denken wie zur klaren Ideenformulierung in der Lage; vielmehr besitzen sie mit McCulloch auch eigene Zwecke.²⁸⁷⁸ Gerade auch in der Überwindung des Cartesischen Dualismus steht Whitehead in Leibnizens Tradition. Ein Monismus verlangt ein einheitliches Prinzip aller Entitäten, und dieses besteht darin, dass es sich um ein relationales Universum handelt, in dem prinzipiell alles mit allem interdependent und damit auch potentiell kausal wirksam ist.

Die Whiteheadsche Metaphysik ist eine *Metaphysik der Erfahrung*; damit ist besagt, dass alle konkreten Entitäten grundsätzlich *perzeptiv erfahrend* sind. Perzeption ist also universal, wobei zwischen zwei distinkten Modi der Perzeption zu unterscheiden ist: alle Automatenklassen bzw. alle zellulären Automaten, mit denen es die Informatik seit ihren Ursprüngen zu tun hat, sind perzeptiv, nämlich wahrnehmend im Modus kausaler Wirksamkeit (causal efficacy). Höhere Automatenklassen kognitiver Agenten steuern die Perzeption hingegen willentlich, klar bzw. genau (presentational immediacy). Dieser zweite

²⁸⁷⁷ McCulloch (1954: 23).

²⁸⁷⁸ Vgl. hierzu kritisch R. Penrose (1989: 405 ff.), nach dem Computer zwar berechnen können, jedoch kein Bewusstsein aufweisen. Mit R. Penrose (1997b: 135) können Computerberechnungen selbstredend nicht aus sich selbst heraus irgendeine Art von Bewusstseinerfahrung hervorrufen. Auch zeigt R. Penrose (1989: 410) auf, dass *Selbstbezüglichkeit* und *Selbstbewusstsein* selbstverständlich zwei gänzlich unterschiedliche Sachverhalte darstellen. Bewusstseinsunabhängige Aspekte erfolgen nach Penrose (1989) "automatisch", "programmiert" resp. "algorithmisch" und bilden ein "gedankenloses Befolgen von Regeln". Die bewusstseinsabhängigen Rationalitätsaspekte sind demgegenüber mit dem "gesunden Menschenverstand", "Wahrheitsurteil", "Verstehen" sowie der "künstlerischen Wertung" zu assoziieren. Entsprechend überrascht es nicht, wenn menschliches Denken für Penrose (1995) auch nicht restlos auf algorithmische Vorgänge reduziert werden kann.

Modus kann dabei analog zur gesonderten Differenzierung von *Complex Adaptive Systems* (CAS) in der *Theorie komplexer Systeme* gesehen werden. Man hat es also nicht mehr nur mit zellulären Automaten zu tun, die im Zeichen *kausaler Wirksamkeit* universal sind, sondern mit Agenten, deren Perzeption klar bzw. willentlich veranlagt ist. Beide Perzeptionsmodi sind Teil des *Prozesses des Erfassens* der Realität, die wiederum als existierende, d.h. aktuelle Elementarprozesse zu verstehen ist. Die Realität ist dabei durch das bestimmt, was in Pkt. 4.6 als "*Alexander's Dictum*" erörtert wird, nämlich durch das Kausalitätsmoment. Wenn die Perzeption bei Whitehead im Zeichen *kausaler Wirksamkeit* steht, begreift Whitehead das Kausalitätsproblem gerade nicht im Sinne Kants als Leistung des Verstands; vielmehr folgt die Perzeption bei Whitehead strikt einer empiristischen Grundposition. Dass bei Whitehead alles *Prozess* ist, hängt an diesem Kausalitätsmoment und der damit verbundenen Realitätsauffassung: es kann dann kein statisches bzw. beharrendes Sein mit isolierten Substanzen geben, sondern allein ein aktives Universum, in dem miteinander interagierende aktuelle Entitäten fortwährend evolvieren. Insofern alle erfahrenden *Subjekt-Superjekte* bzw. Agenten als höher entwickelte Organismen unmittelbar in die physische Welt eingebettet sind, gibt es nicht nur cyber-physische *Event Streams*, sondern genauso einen perzeptiven *Event Stream* bzw. Erfahrungsstrom aller individuellen Subjekte: ihre Perzeption ist somit Teil der Realität. Die präsentionale Unmittelbarkeit und die kausale Wirksamkeit führen dann bei Whitehead (1927, 1929a) zur *symbolischen Referenz* perzeptiver Erfahrung. Whiteheads Perzeption steht dabei insgesamt im Zeichen universaler Informationsverarbeitung, was wiederum auf den "Urstoff" der Information zurückweist. Erst im letzten Schritt geht es bei Whitehead (1927, 1929a) um eine begriffliche Analyse und damit um Semantik. Im Zentrum steht dabei nicht zuletzt die mathematische Logik. Stellt man wie Russell (1927a) die mathematische Logik in den Kontext eines universalen Strukturalismus als "*system of events*", wird sie sowohl auf die *res extensa* wie auf die *res cogitans* applikabel. Bestrebungen einer logico-mathematischen Beschreibung der materiellen Welt finden sich bereits bei Whitehead (1906).²⁸⁷⁹ Damit ist die Lösung zur Überwindung des Cartesischen Dualismus genau hier zu suchen, wie es Russell und Whitehead im expliziten Rekurs auf Leibniz auch vollziehen.²⁸⁸⁰ Dabei gilt mit Russell (1903: 177): »The philosophy of Leibniz, his merits and demerits, and his place in the history of thought, have been hitherto universally and completely misunderstood«.

²⁸⁷⁹ Vgl. hierzu auch Quine (1941: 163).

²⁸⁸⁰ Vgl. dazu Whitehead (1929a: 309): »We diverge from Descartes [...]. Such a change of thought is the shift from materialism to organism, as the basic idea of physical science. In the language of physical science, the change from materialism to 'organic realism' [...] is the displacement of the notion of static stuff by the notion of fluent energy. Such energy has its structure of action and flow, and is inconceivable apart from such structure«. Dass die Allgemeine Systemtheorie fundamental auf Whitehead aufbaut, wird auch daran ersichtlich, dass Bertalanffy (1951c: 343) herausstellt: »The central point of system theory is the dynamic view, trying to explain phenomena of order in terms of the interaction of processes, as contrasted with the Cartesian machine theory, which tries to explain it in terms of pre-established structures«.

Vor diesem Hintergrund besteht mit Clayton (2000: 246) »Leibniz's greatest twentieth-century follower« in keinem geringerem als in Whitehead.²⁸⁸¹ In der Tat kann für die Informatik nur eine Metaphysik wegweisend sein, die nicht nur den Cartesischen Dualismus tatsächlich aufheben kann, sondern auch die damit verbundene klassische Subjekt-Objekt-Dichotomie. Eine Substanzmetaphysik könnte das nur dann, wenn sie – wie bei Spinoza – einem Substanzmonismus folgt, doch muss das nach Maßgabe der Computer- und Digitalmetaphysik erfolgen. Das gelingt erst Leibniz (1714a) mit seiner *Monadologie*, die zwar in logico-mathematischer Hinsicht richtig liegt, jedoch als prozessualisierte Substanzmetaphysik mit dem Aufkommen der modernen Wissenschaften nicht dem heutigen ratio-empirischen Anspruch techno-wissenschaftlicher Metaphysik gerecht wird. Diese muss gerade auch im Zeichen jüngerer physikalischer Theorien den Cartesischen Dualismus überwinden können,^{2882, 2883} was nur dann möglich ist, wenn sie selbst im ratio-empirischen Wechselspiel mit den Wissenschaften steht. Insofern überrascht es nicht, wenn bereits Lambert (1996) die Cartesische Weltsicht des klassischen AI-Ansatzes, der mit Hayes (1979) auf "toy problems" fokussiert ist, auf Basis Whiteheads (1929a) durch ein prozessmetaphysisches *postklassisches AI-Pendant* zu ersetzen sucht, das im Sinne Hayes' (1979) die Adressierung von "nontoy worlds" erlaubt. Tatsächlich macht die primäre Ereigniskategorie Whiteheads insgesamt den entscheidenden Unterschied zu Substanzontologien aus, der nicht zuletzt gerade für die Informatik entscheidend ist. Denn sie ist es, die in Whiteheads Relationenontologie im Zeichen von Bifurkationen erst den Komplexitätsgesichtspunkt sachgerecht eröffnet. Damit verortet Poser (2007) den eigentlichen Ursprung des Komplexitätsparadigmas völlig zu Recht in der Whiteheadschen Prozessontologie.²⁸⁸⁴ Dabei ist zu ergänzen, dass es zusammen mit N. Hartmann (1912) wiederum Whitehead ist, der die strukturalistische Form des *modernen Systemdenkens* erst begründet.²⁸⁸⁵

Nachdem die wesentlichen Charakteristika der Whiteheadschen Prozessmetaphysik erörtert worden sind, ist nochmals auf ihre Verbindung zum bereits erörterten universalen

²⁸⁸¹ Vgl. hierzu ferner A.H. Johnson (1959), Hartshorne (1975) sowie Basile (2008, 2009). Capek (1973: 99 f.) spricht bei den Metaphysiken Whiteheads wie Bergsons von einem „*Neo-Leibnizian panpsychism*“. Allerdings weicht Whitehead auf Basis sowohl der modernen Erkenntnisse der ereigniszentrischen mathematischen Logik wie der Erfahrungswissenschaften in wesentlichen Punkten von Leibniz ab. Es geht also genau um jene Aspekte, die Leibniz auf seinem Forschungsstand noch nicht absehen konnte. Das betrifft etwa die erforderliche Ersetzung von Leibnizens prozessualisierter Substanz durch eine genuine Ereigniskategorie genauso wie das Abweichen von Leibnizens *deterministischer Metaphysik* und *mechanistischer Physik*. Ungeachtet dessen gilt mit Madigan (1975: 48): »Whitehead's 'actual entities' bear a marked resemblance to Leibniz's 'monads'«. Nicht zuletzt die Evolutionstheorie eröffnet für Whitehead das Erfordernis eines organismischen wie indeterministischen Wissenschaftsverständnisses. In der stimmt Whitehead in fundamentaler Hinsicht mit Leibniz überein und ihre Differenz besteht allein in den Korrekturen, die aus dem Erkenntnisfortschritt insbesondere durch Boole einerseits und der Evolutions-, der Relativitäts- wie der Quantentheorie andererseits resultieren.

²⁸⁸² Vgl. hierzu etwa Atmanspacher (1994).

²⁸⁸³ Diese Notwendigkeit resultiert mit C.F. von Weizsäcker (1973b: 738) daraus, dass die klassische Physik im Kontext des Cartesischen Dualismus weder imstande ist, Leben – und damit Evolution – zu adressieren noch der Einheit der Natur gerecht zu werden.

²⁸⁸⁴ Vgl. Poser (2007: 241); vgl. ergänzend Poser (2005: 94 f.).

²⁸⁸⁵ Vgl. hierzu etwa Whitehead (1929c: 137 ff.).

Strukturalismus einzugehen. Diese besteht darin, dass der Whiteheadschen Kosmologie als Digitalmetaphysik die mathematische Logik als solche durch und durch inhärent ist, nämlich metaphysisch, epistemologisch wie methodologisch. Die Whiteheadsche Metaphysik besitzt einen *metaphysischen Logizismus*, der als *Logischer Atomismus* konzipiert ist, dessen Grundverständnis in der vom Leibnizschen Automatenuniversum ausgehenden metaphysischen Ontologisierung der Booleschen Logik zu suchen ist. Booles zentrale Erkenntnis ist darin zu sehen, dass die mathematische Algebra einer *logischen* Interpretation zugänglich ist. Die Algebra kann also selbst auf einer höheren Abstraktionsebene behandelt werden, wobei hier auch verschiedene nichtquantitative Interpretationen möglich sind. Booles (1854) *Laws of Thought* inspirieren wiederum Whiteheads (1898) erstes Werk zu einer universalen Algebra,²⁸⁸⁶ mit der er versucht, algebraische Modelle auf der Ebene eines höchstmöglichen Universalitätsgrad zu behandeln. Entsprechend geht es in diesem Werk um »abstract ideas in hierarchical patterns«.²⁸⁸⁷ Dabei ist die Verbindung zwischen der Hierarchiekonzeption in Whiteheads (1898) universaler Algebra und Whiteheads (1929a) rund dreißig Jahre später entstandener metaphysischer Doktrin der *eternal objects* unverkennbar.²⁸⁸⁸

»It may be doubted whether [...] metaphysical concepts have ever been formulated in their strict purity – even taking into account the most general principles of logic and of mathematics. [...] By this discovery the logical and mathematical investigations of the last two centuries are very relevant to philosophy«.²⁸⁸⁹

Whitehead konzipiert sein metaphysisches System auf der Grundlage der axiomatischen Behandlung logischer Systeme. Wenn auch Whitehead (1929a) seine Kosmologie in *Process and Reality* in einer – auf den ersten Blick – grundverschiedenen Sprache entwickelt als der symbolischen Logik, die Whiteheads (1898, 1906) frühe Werke sowie die Whitehead/Russellsche (1910-13) *Principia Mathematica* kennzeichnen, lässt sich auch in Whiteheads (1929a) Kosmologie die grundlegende logische Struktur der axiomatischen Matrix erkennen, die das Werk von Anfang bis Ende durchkreuzt.²⁸⁹⁰ Zwar ist der Logische Atomismus an sich Russell zuzuschreiben, doch stammt die Grundidee, nämlich der Prozess

²⁸⁸⁶ Whiteheads Prozessmetaphysik repräsentiert ein unmittelbares Komplement zur Booleschen Entscheidungsprozedur (et vice versa), wobei für Whitehead (1901: 140) außer Frage steht, dass die mathematische Logik durch Boole begründet wurde. Insofern überrascht es nicht, wenn sich Whiteheads mathematische Logik maßgeblich durch Boole beeinflusst zeigt, wie es Whitehead (1941a) in seinen *Autobiographical Notes* einräumt. Dort betont Whitehead, dass seine mathematische Logik neben den algebraischen Arbeiten des deutschen Mathematikers H. Graßmann und des irischen Mathematikers und Physikers W.R. Hamilton durch die Algebra der symbolischen Logik des englischen Mathematikers und Philosophen Boole (1854) geprägt ist: »My whole subsequent work on Mathematical Logic is derived from these sources«, vgl. Whitehead (1941a: 9). Genau das stellt Whitehead (1898) bereits im Vorwort seiner *Universal Algebra* fest, die sein erstes wissenschaftliches Werk bildet, in dem er das Boolesche System beschreibt und erweitert. Dass gilt auch dann, wenn die Boolesche Algebra insbesondere durch den amerikanischen Mathematiker, Logiker und Philosophen C.S. Peirce (1880) sowie den deutschen Mathematiker und Logiker E. Schröder (1877) perfektioniert wurde, worauf Whitehead (1898) an verschiedenen Stellen eingeht. Demgegenüber spielen Venn, Peano bzw. Frege bei Whitehead (1898) keine nennenswerte bzw. überhaupt keine Rolle.

²⁸⁸⁷ Vgl. V. Lowe (1962: 139).

²⁸⁸⁸ Vgl. auch V. Lowe (1962: 139).

²⁸⁸⁹ Whitehead (1929a: 90 f.).

²⁸⁹⁰ Vgl. hierzu auch McHenry (1986).

der *Logical Construction* nach Aussagen Russells (1924: 328) von seinem akademischen Lehrer Whitehead. Hierbei bemerkt Russell zur logischen Konstruktion der Atome:

»If your atom is going to serve purposes in physics [...], your atom has got to turn out to be a construction, and your atom will in fact turn out to be a series of classes of particulars. The same process which one applies to physics, one will also apply elsewhere.«²⁸⁹¹

Dabei besteht der Prozess der logischen Konstruktion bei Whitehead in der fundamentalen Verbindung von mathematischer Logik und den beiden Grundpfeilern der modernen Physik, nämlich der Quantenphysik und der Relativitätstheorie, die für ihn als in der mathematischen Physik geschultem Logiker und Mathematiker naheliegt. Somit wird die Quantentheorie nicht erst durch Schrödinger (1957: 193) als jüngste Variante des Atomismus verstanden, sondern bereits in spezifischer, nämlich logico-mathematischer und damit informatorischer Auslegung durch Whitehead (1929a). Mit Blick auf das platonistische mathematische Universum und gewissermaßen ergänzend zu den "*footnotes to Plato*" bemerkt er:²⁸⁹² »Newton would have been surprised at the modern quantum theory [...]; Plato would have expected it.«²⁸⁹³ In diesem Zuge werden bei Whitehead – wie bei Russell – aus den Atomen der Quantenphysik bei ihm *logische Atome in Raumzeit*, worin sich sein mathematischer Strukturalismus begründet. Somit gilt: »Actual entities atomize the extensive continuum«,²⁸⁹⁴ womit sich insgesamt eine neue *Weltauffassung* konstituiert:

»The philosophy of organism starts by agreeing with 'the vulgar' except that the term 'sensible object' is replaced by 'actual entity'; so as to free our notions from participation in an epistemological theory as to sense-perception. When we further consider how to adjust Newton's other descriptions to the organic theory, the surprising fact emerges that we must identify the atomized quantum of extension correlative to an actual entity, with Newton's absolute place and absolute duration.«²⁸⁹⁵

In diesem binären Sinne wird auch verständlich was Whitehead (1929a: 35) meint, wenn er feststellt: »the ultimate metaphysical truth is atomism«. Es geht also darum, Atome als *Informationsatome* aufzufassen, indem ein Bit mit C.F. von Weizsäcker (1974: 46) als "einzelne Ja-Nein-Entscheidung" zu interpretieren ist. Wheelers (1990: 5) "*It from bit*" geht also unmittelbar auf Whitehead zurück, wenn es logico-mathematische *Ereignisse* sind, die »answers to yes-or-no questions, binary choices, bits« bilden. Insofern verlangt der Ereigniskalkül auch nach einer universalen Ereigniskategorie für eine »atomic entity, which is both process and outcome.«²⁸⁹⁶ Auch das ist wiederum im Zeichen der Ontologisierung der Booleschen Logik zu verstehen. Dieser mathematische Strukturalismus findet sich bei seinen beiden direkten Schülern Russell und Quine genauso wieder wie in Carnaps (1928a) *logischen Aufbau der Welt*, wobei nicht umsonst Russell ein prägender Einfluss auf Carnap zugeschrieben wird.²⁸⁹⁷ Russells Logischer Atomismus wäre ohne die logische Konstruktion Whiteheads kaum in dieser Form möglich gewesen; genauso wird gerade in den Reihen der Analytischen Philosophie übersehen, wie grundlegend Whitehead

²⁸⁹¹ Russell (1919c: 370).

²⁸⁹² Vgl. Whitehead (1929a: 39).

²⁸⁹³ Vgl. Whitehead (1929a: 94).

²⁸⁹⁴ Vgl. Whitehead (1929a: 67).

²⁸⁹⁵ Whitehead (1929a: 73).

²⁸⁹⁶ Vgl. Whitehead (1929a: 84).

²⁸⁹⁷ Vgl. Pincock (2002); vgl. für eine weitaus skeptischere Sichtweise A. Richardson (1990).

für Quine ist. Whiteheads Klasse-4-Metaphysik besitzt dabei gegenüber Russells Klasse-2-Metaphysik, die rein *a priori* ist, den unschätzbaren Vorteil, dass sie in ihrem *Ratio-Empirismus* das Wechselspiel mit den Erfahrungswissenschaften beibehält. Russell aber lehnt den Empirismus ab.²⁸⁹⁸ Whiteheads Atomismus bringt also die Positionen von Aristoteles und Platon zusammen und hat gewiss unmittelbare Relevanz für die physisch-empirische Sphäre der Quantenmechanik, die damit metaphysisch fundierbar ist. An dieser Überlegenheit des Whiteheadschen *Ratio-Empirismus* kommt sowohl Russells *Rationalismus* wie auch Quines *Empirismus* nicht vorbei; sie laufen jeweils zu kurz – während sie in ihrem perdurantistischen Kern allein auf dem spekulativen Entwurf Whiteheads gründen können.

Russells (1927a: 400 f.) Materieverständnis als "*system of events*" ist nicht nur als Kontraposition zu Bunge für die Ontologiediskussion von eminenter Bedeutung. Das gilt vielmehr schon insofern, als es Russell ist, der die Leitlinie für Carnap und Quine vorgibt, während Quine wiederum mit Mealy (1967), McCarthy/Hayes (1969) bzw. McCarthy (2000) für das Ontologieverständnis der Informatik von konstituierender Relevanz ist. Mit Bunge verschiebt sich Descartes' (1644a) Dualismus von *res cogitans* und *res extensa* letztlich genauso einseitig zu letzterer, wie es bei Berkeley (1710) in umgekehrter Richtung der Fall ist. Allerdings besteht dabei der entscheidende Unterschied, dass Berkeleys extremer Idealismus im Gegensatz zu Bunges emergentistischen Materialismus – jenseits von Mach (1918) – keine nennenswerte wissenschaftliche Rezeption besitzt. Bunge (1979a: 146) räumt selbst ein, dass für den Materialisten gilt: »the *res cogitans* is a *res extensa*«. Auch wenn der Cartesische Dualismus als metaphysischer Dualismus nur auf metaphysischer Basis überwindbar ist, wird er durch die Metaphysik Bunges auf diese Weise natürlich nicht überwunden. Tatsächlich und *einzig* überwindbar wird dieser erst auf einer anderen Grundlage, nämlich durch Whiteheads und Russells *neutralen Monismus*,²⁸⁹⁹ der im Whitehead/Russellschen mathematisch-strukturwissenschaftlichen Sinne Leibnizens alles Materielle wie alles Geistige durch *mathematische Logik* repräsentierbar macht. Insofern wird der Cartesische Dualismus schon durch Leibniz bewältigt; diesem Umstand wird gerade im Hinblick auf das Leibnizprogramm als Ursprungsparadigma der Informatik nicht die eigentlich angemessene Beachtung geschenkt. Demgegenüber besitzt die heute so selbstverständliche universalontologische Behandlung von AL-Forschung (Materie) und AI-Forschung (Geist) genau hier ihre Wurzel. Entsprechend wird auch im Kontext der Automatentheorie bzw. *Theorie zellulärer Automaten* klarer, dass die gesamte Informatik zuvorderst auf Leibnizens *Metaphysica* und ihrem *Automatenuniversum* steht, die in dieser Tradition auf eine Computer- bzw. Digitalmetaphysik Whiteheadscher Provenienz hinausläuft. Es sind Whitehead und Russell als die beiden größten mathematischen Metaphysiker des zwanzigsten Jahrhunderts, die explizit auf Leibniz wie auf Boole aufbauend die gesamte Metaphysik als *ereigniszentrierte* Programmatik in ganzer Breite gegen die tra-

²⁸⁹⁸ Vgl. hierzu auch Ushenko (1944) sowie ergänzend Chisholm (1944).

²⁸⁹⁹ Vgl. hierzu Russell (1913: 15 ff.; 1927a: 382 ff.); vgl. hierzu ergänzend W.T. Stace (1944).

dierte Substanzmetaphysik neu begründen.²⁹⁰⁰ Dabei schaffen sie mit der Verknüpfung ihrer *Principia Mathematica* und ihrer *Ereignisontologie* erst die fundamentalen Grundlagen der Automatentheorie als Kerntheorie der Informatik. Somit ist unschwer zu erkennen, dass allein in einem solchen *Logizismus* die zentrale Grundvoraussetzung einer echten Einheit der Wissenschaft, oder noch weiter gefasst: die ontologische Einheit von Wissenschaft, Technologie und Praxis, bestehen kann, die für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wie für die Informatik insgesamt vorauszusetzen ist. Vor diesem Hintergrund ist ergänzend darauf hinzuweisen, dass der Logizismus Russells – wie Linsky (1999) richtig konstatiert – nicht etwa als sprachphilosophischer Logizismus fehlgedeutet werden sollte. Vielmehr verkörpert er einen *metaphysischen Logizismus*, der weit radikaler ist als jener Whiteheads, indem erst letzterer die wegweisende *ratio-empirische* Synthese markiert.²⁹⁰¹

Ad (v) ist schließlich festzustellen, dass Whiteheads monumentales Werk gerade ein Synthesedenken auszeichnet. Mit diesem steht sowohl außer Frage, dass seine Entstehung nicht möglich gewesen wäre ohne die Vielzahl ihm vorauslaufender Denker, als auch, dass dieses Werk letztlich nicht verstehbar ist, ohne die jeweiligen Positionen dieser Denker im Kern verstanden zu haben, indem Whitehead auf ihnen in kritischer Weise aufbaut. Das schließt gerade auch solche Positionen wie die Cartesische ein, die durch Leibniz wie Whitehead grundsätzlich in Frage gestellt werden. Gewiss haben auch die Defekte bei Descartes dazu beigetragen, dass Leibniz bzw. Whitehead auf das logico-mathematische prozessuale Automatenuniversum als Synthese kommen konnten. Auch sonst vereinigt die Whiteheadsche Prozessmetaphysik eine Vielzahl über Jahrhunderte entwickelte elementare philosophische Ideen in sich. Zu ihnen gehören das Prozessmoment (Heraklit), das Fallibilitätsmoment (Sokrates), der Antimaterialismus bzw. das mathematische Universum (Platon), der Realismus und das teleonomisch umfunktionierte Teleologiemoment (Aris-

²⁹⁰⁰ Vgl. dazu auch Basile (2008).

²⁹⁰¹ Beide Ansätze sind von der *Principia Mathematica* her zu verstehen. In Whiteheads metaphysischer Weltauffassung spielt die mathematische Logik eine ebenso unverzichtbare Rolle, doch ist sein Logizismus ein anderer: Denn der Whiteheadsche Ansatz verfolgt keinen Monismus in dem Sinne, dass die Logik einfach vollends an die Stelle von Geist und Materie rückt, sondern vielmehr, dass seine Prozessmetaphysik die Einheit der Natur konstituiert, welche auf Prinzipien beruht, die einer logisch-mathematischen Repräsentation unmittelbar zugänglich sind. Bei Russell ist dies jedoch anders, indem er die Überzeugung vertritt, dass nicht die Materie in der physikalischen Welt das wahrhaft "Reale" sei, sondern die Materie als eine *logische Konstruktion* zu erachten ist, vgl. Russell (1952: 136). Russells (1918, 1919a, 1919b, 1919c) *Logischer Atomismus* zielt konsequenterweise keineswegs auf physikalische Atome, sondern vielmehr auf *logische* Atome, vgl. Russell (1918: 497). Der Ansatz Whiteheads ist insofern weitaus weniger radikal als jener seines Schülers Russell, als Whitehead in seinem Ratio-Empirismus sowohl logische wie auch physikalische Atome berücksichtigt. Für die Analytische Philosophie war der Umstand wegweisend, dass der Logische Atomismus mit Russell (1918, 1919a, 1919b, 1919c) und Wittgenstein (1921) davon ausgeht, dass gewöhnliche Gesetze auf logisch-formale Sprachen zurückgeführt werden können, deren Essenz aus atomischen, nicht weiter reduzierbaren logischen Fakten besteht. Dabei eröffnet dieser Atomismus eine Forschungsstrategie der Reduktion, wie sie insbesondere anhand des methodologischen Naturalismus Carnaps und Quines deutlich wird. Im grundsätzlichen Unterschied zum komplexen Systemdenken Whiteheads wird mit Russells "Logischen Atomismus" oder "absoluten Pluralismus" zwar behauptet, dass es »viele Dinge gibt«, aber er leugnet, dass es »ein Ganzes gäbe, das sich aus diesen Dingen zusammensetzt«, entsprechend gibt es für Russell »nichts derartiges wie ein 'Universum'« vgl. Russell (1952: 111), wohingegen Whitehead mit seiner Kosmologie völlig andere Positionen vertritt.

toteles), der Rationalismus (Descartes) bzw. Empirismus (Hume), das Automatenuniversum, mögliche Welten, formallogische Grundlagen sowie der metaphysische Logizismus (Leibniz), der Agentengedanke mit seinem subjektivistischen Moment, das organismische Systemprinzip, das Gebot zur ratio-empirischen Metaphysik (Kant), das kosmologische Evolutionsmoment (Schelling, Hegel), das Emergenzmoment (Britischer Emergentismus), das logico-mathematische Ereignismoment (Boole, S. Alexander) sowie der Gedanke der *Logical Machines* (Peirce). Diese philosophischen Ideen werden bei Whitehead mit den Erkenntnissen der modernen Naturwissenschaft verschmolzen; diese reichen etwa von Darwins Evolutionstheorie über Maxwells Theorie elektromagnetischer Felder über Plancks Quantenhypothese bis zu Einsteins 4D-Raum-Zeit-Kontinuum der Relativitätstheorie. Schließlich wird all das im Zeichen von Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* interpretiert, in die formallogische Synthese von Whiteheads (1925) *zellulären Organismen* transformiert und schließlich kosmologisch-universal zu Whiteheads (1929a) techno-wissenschaftlicher Digitalmetaphysik vereinheitlicht.

Whitehead (1929a: 208) eröffnet seine Prozessdiskussion im Rekurs auf Heraklits epochaler Sentenz, »[t]hat ‘all things flow’«:²⁹⁰² Anstelle der Vorstellung einer bleibenden und klar umgrenzten Naturordnung tritt die Vorstellung eines entwicklungsgeschichtlichen Prozesses, die Entwicklung eines neuen Denkens, das die Natur, wie schon bei Hegel als Historizität auffasst. Entsprechend bestehen zahlreiche Parallelen zwischen Whitehead und Hegel.²⁹⁰³ Bei Whitehead steht der gesamte philosophische Ansatz im Zeichen des "Werdens", denn »Existence is activity ever merging into the future«,²⁹⁰⁴ und das Prinzip, »how an actual entity becomes constitutes what that actual entity is«, besagt, »that the *being* of a *res vera* is constituted by its ‘becoming’«.²⁹⁰⁵ Dabei ist der Gesamtzusammenhang des Seienden bei diesem Prozessprinzip Whiteheads (1929a) von vornherein dadurch gegeben, dass die *actual entity* als Ereignis grundsätzlich in Einheit ihrer Bezogenheit auf andere Ereignisse gedacht wird.²⁹⁰⁶ Diese Einheit der aufeinander bezogenen Ereignisse wird bei Whitehead als *nexus* bezeichnet,²⁹⁰⁷ der zu den acht Existenzkategorien des Whitehead-

²⁹⁰² Toulmin/Goodfield (1965) sehen darin zu Recht den gerade zentralen kosmologischen Gedanken.

²⁹⁰³ Vgl. hierzu Whitehead (1947: 7, 115 f., 131); vgl. hierzu ferner Whitemore (1956), Hocking (1961: 512), D. Williams (1975), Christensen (1981), R. Ellis (1981), G.R. Lucas (1986, 1990b), H.-C. Lucas (1986), Wolf-Gazo (1986), Kline (1990), Rockmore (1990), J.E. Smith (1990), Welker (1990) sowie Van der Veken (1990). Demgegenüber ist das Verhältnis Whiteheads zum *deutschen Idealismus* mehrdeutig, und somit in den Kontext seiner einzelnen Ansätze zu setzen, vgl. zu diesem Verhältnis G.R. Lucas (1989: 73 ff.; 1990a) sowie Braeckman (1990). Dabei sind die größten Übereinstimmungen zwischen Whitehead und dem frühen Schelling auszumachen, vgl. auch Van der Veken (1984: 45). Das gilt auch dann, wenn es – etwa bei Whitehead (1920) – selten eine explizite Referenz auf Schelling gibt.

²⁹⁰⁴ Vgl. Whitehead (1934a: 46).

²⁹⁰⁵ Vgl. Whitehead (1929a: 166); vgl. zum *Prozessprinzip* ähnlich Whitehead (1929a: 23).

²⁹⁰⁶ Whitehead (1929a) verwendet alternativ die Begriffe *actual entity* und *actual occasion*; entsprechend wird auch hier – je nach Kontext – alternativ von *wirklichem Einzelwesen* oder von *Ereignis* gesprochen.

²⁹⁰⁷ Vgl. Whitehead (1929a: 24): »[A] nexus is a set of actual entities in the unity of the relatedness constituted by their prehensions of each other, or – what is the same thing conversely expressed – constituted by their objectifications in each other«.

schen deduktiven Kategoriensystems gehört.²⁹⁰⁸ Mit diesem verbindet sich gleichzeitig im Kontext der internen Relationen die Diskussion um Teil und Ganzes.^{2909, 2910} Mit dem Entwicklungsprinzip, das sich bei Whitehead wie schon bei Hegel auf allgemeine Organismen bezieht,²⁹¹¹ wird die Offenheit des Universums vorausgesetzt, was sich bei Whitehead mit einem prinzipiellen kausalen Indeterminismus verbindet;²⁹¹² in Bezug auf den metaphysischen Freiheits- und Determinismusaspekt ist für Whitehead wie schon bei Hegel eine teleologische Selbstdetermination kennzeichnend.²⁹¹³ Die dem Universum inhärente Freiheit beruht also auf dem allgemeinen Moment der Selbstverursachung, auf dem Spinozistischen Impetus des *causa sui*,²⁹¹⁴ womit für Whitehead wie für Hegel gilt, dass alle kosmische Entwicklung Selbstentwicklung ist.²⁹¹⁵

Dennoch steht Whitehead primär in der Linie von Platon und Leibniz,²⁹¹⁶ womit das Universum als *mathematisches Universum* adressiert wird, das Whitehead (1929a) mit dem aristotelisch *physisch-empirischen Universum* in seiner Kosmologie *Process and Reality* zu einer Einheit verschmilzt. Er schafft damit tatsächlich die Synthese von Platon und Aristoteles, nämlich mit den in Pkt. 3.1 erörterten *Ratio-Empirismus*, der bei ihm auf ein beständiges »interplay between science and metaphysics« hinausläuft.²⁹¹⁷ Allerdings ist Whitehead als in der mathematischen Physik geschultem führenden Logiker und Mathematiker bewusst,²⁹¹⁸ dass das universale Prinzip bei Platon bzw. Leibniz liegt und nur hier liegen kann, und es in Form der Booleschen *mathematischen Logik* materialisierbar ist.²⁹¹⁹ Dabei bleibt Whiteheads Synthese nicht bei Platon und Aristoteles stehen, sondern er überwindet zugleich den *Cartesischen Dualismus* wie damit zusammenhängend die *Subjekt-Objekt-Dichotomie*. Selbst hier endet die Synthese nicht, indem Leibnizens *Monadologie* Berücksichtigung findet wie auch Kants *Kopernikanische Wende*, die in Form des *Subjekt-Superjekts* durch eine zweite Kopernikanische Wende absorbiert wird, genauso wie Hegels *Weltprozess*. Whitehead vereint im Kern gerade die größten deutschen Philosophen. Mit dem logico-mathematischen Automatenuniversum ist Whitehead ein refor-

²⁹⁰⁸ Vgl. Whitehead (1929a: 22).

²⁹⁰⁹ Vgl. zu den *internen Relationen*, die sich bei Hegel wie bei Whitehead finden, Vlastos (1937).

²⁹¹⁰ Vgl. zu der Diskussion um *Teil und Ganzes* bei Whitehead insbes. Whitehead (1929a: 287); vgl. zu diesem Diskurs im Kontext der *internen Relationen* Whitehead (1929a: 288); vgl. hierzu weiter Whitehead (1929a: 96 f.).

²⁹¹¹ Vgl. Hegel (1816: 271 ff.) und Whitehead (1929a); vgl. hierzu auch G.R. Lucas (1983: 101 f.).

²⁹¹² Vgl. hierzu auch Popper (1982a).

²⁹¹³ Vgl. G.R. Lucas (1979: 13); vgl. in Bezug auf Whitehead auch G.R. Lucas (1983: 30 f.).

²⁹¹⁴ Vgl. Whitehead (1929a: 88, 150, 222); vgl. in Bezug auf Hegel Rotenstreich (1974: 15).

²⁹¹⁵ Vgl. in Bezug auf Hegel K. Fischer (1911: 443); vgl. Whitehead (1929a: 222).

²⁹¹⁶ Das Universum ist bereits bei Leibniz zuvorderst ein platonisches, wenn auch Leibniz aristotelische Zentralgedanken wie jenen der Substanz oder der Entelechie inkorporiert, vgl. hierzu etwa Mercer (2001). Entscheidend ist jedoch, dass Leibniz dem platonischen Gedanken des *intelligiblen Universums* folgt, indem es ihm um ein logico-mathematisches Universum, weniger um ein aristotelisches *materielles Universum* geht. Das wird nicht nur an Leibnizens *möglichen Welten* deutlich, sondern auch an seinen *Monaden*, die für ihn *intelligible, selbstorganisierende wie wandelnde Substanzen* darstellen.

²⁹¹⁷ Vgl. Whitehead (1933: 164).

²⁹¹⁸ Zu Zeiten von Whiteheads Studium der Mathematik umfasst diese gleichzeitig die *mathematische Physik*, vgl. hierzu Keeton (2004).

²⁹¹⁹ Bei B.L. Clarke (1981, 1985) wird Whiteheads System in modifizierter Form logisch axiomatisiert.

mierter Leibniz, wobei diese Reformation wiederum maßgeblich auf Kant zurückgeht. Das betrifft die Ersetzung des Mechanismus durch den systemischen Organismus, die Ersetzung der Monade durch den subjektivistischen Agentengedanken, sowie die Implementierung des empirischen Moments direkt in die Metaphysik, also die Forderung nach *ratio-empirischer* Metaphysik. Demgegenüber erneuert Whitehead mit seiner zweiten Kopernikanischen Wende wiederum das Kantische Werk, indem wiederum das Primat der Ontologie gilt. Ergänzt wird das Ganze um den prozessualen kosmologischen Evolutionsgedanken Schellings und Hegels,²⁹²⁰ der zusammen mit Booles Erneuerung der logico-mathematischen Grundlagen Leibnizens ereigniszentrisch kosmologisch universalisiert wird.

Die Prozessmetaphysik Whiteheads bildet gewissermaßen die Synthese der gesamten Philosophie, was auch daran deutlich wird, dass sie jenseits Leibnizens auf dem deutschen Idealismus aufbaut, der mit Kant (1781) seinen Ausgangspunkt nimmt. Dabei erfolgt das bei Whitehead insbesondere in Bezug auf Hegel zum einen direkt, zum anderen aber auch indirekt über den britischen Idealismus, der wiederum etwa mit den britischen Philosophen F.H. Bradley oder McTaggart direkt beim deutschen Idealismus, insbesondere bei Hegel anknüpft.²⁹²¹ Tatsächlich ist dabei der Ursprung des Whiteheadschen *kosmologischen* Evolutionsprinzips beim deutschen Idealismus, und nicht etwa beim *biologischen* Pendant Darwins (1859) zu sehen, der für Whitehead im Zeichen seiner ratio-empirischen Universalien-synthese allenfalls von ergänzendem Stellenwert ist. Aber nicht nur Hegels (1807) *Phänomenologie des Geistes* ist in dieser Sache von Relevanz, sondern vielmehr ist festzustellen, dass sich das *organismisch-systemische Denken*, wie es sich bei Whitehead (1929a) und später darauf aufsetzend auch in Bertalanffys (1950a) *Allgemeiner Systemtheorie* findet, auch schon bei Kant (1790) findet. Dieser ist dabei im naturphilosophischen Sinne ganz auf das Physische konzentriert; für ihn sind Dinge als Naturzwecke *organisierte Wesen*,²⁹²² *Organisation* ist für ihn »innerer Zweck der Natur«.²⁹²³ Um ein Ding oder Körper als *Naturzweck* beurteilen zu können, »wird erfordert, daß die Teile desselben einander insgesamt, ihrer Form sowohl als Verbindung nach, wechselseitig und so ein Ganzes aus eigener Kausalität hervorbringen«.²⁹²⁴ Damit schließt sich für Kant das *Selbstorganisationsprinzip* unmittelbar an:

»In einem solchen Produkte der Natur wird ein jeder Teil, so wie er nur durch alle übrigen da ist, auch als um der anderen und des Ganzen willen existierend, d. i. als Werkzeug (Organ) gedacht: [...] als ein die anderen Teile (folglich jeder den anderen wechselseitig) hervorbringendes Organ [...]; und nur dann und darum wird ein solches Produkt als organisiertes und sich selbst organisierendes Wesen ein Naturzweck genannt werden können.«²⁹²⁵

Für Kant (1790) gilt dieses Selbstorganisationsprinzip für alle Sphären der Natur, für den gesamten Kosmos.

²⁹²⁰ Der frühe Schelling ist gerade in dieser Sache für Whitehead mindestens so relevant wie Hegel, auch wenn es – etwa bei Whitehead (1920) – nur vereinzelt eine explizite Referenz auf Schelling gibt.

²⁹²¹ Vgl. dazu F.H. Bradley (1883, 1893, 1914) sowie McTaggart (1908, 1921, 1927).

²⁹²² Vgl. Kant (1790: B 289 ff.).

²⁹²³ Vgl. Kant (1790: B 309).

²⁹²⁴ Vgl. Kant (1790: B 291).

²⁹²⁵ Kant (1790: B 291 f.).

»Ein organisiertes Wesen ist [...] nicht bloß Maschine, denn die hat lediglich bewegende Kraft, sondern es besitzt in sich bildende Kraft, und zwar eine solche, die es den Materien mitteilt, welche sie nicht haben (sie organisiert), also eine sich fortpflanzende bildende Kraft, welche durch das Bewegungsvermögen allein (den Mechanismus) nicht erklärt werden kann.«²⁹²⁶

Schelling (1799) baut schließlich auf dem Kantischen *Selbstorganisationsprinzip* auf; für ihn geht es darum, die Natur als Wirklichkeit zu rekonstruieren, sie als "unbedingte Realität" begreifen zu wollen. Dazu stellt er fest, dass ihre Gesetze dieser selbst immanent sind, sie also »ihre eigne Gesetzgeberin« ist, womit ihre "Autonomie" vorauszusetzen sei.²⁹²⁷ Damit zusammenhängend gilt zweitens, dass alles, was »in der Natur geschieht, [...] sich auch aus den thätigen und bewegenden Principien erklären lassen« muss, also anhand von Prinzipien, »die in ihr selbst liegen«, was für Schelling ihre "Autarkie" bedingt.²⁹²⁸ Dabei besteht das erste oder oberste Prinzip im Kontext der fort dauernden Naturtätigkeit in ihrer *Selbstorganisation*, was Schelling entsprechend hinzufügt: »die Natur hat ihre Realität aus sich selbst – sie ist ihr eignes Produkt – ein aus sich selbst organisirtes und sich selbst organisirendes Ganzes«.²⁹²⁹ Diese *selbstorganisatorische Beschaffenheit der Natur* spiegelt sich für Schelling (1797) in jedem ihrer *organischen Produkte* wider:

»Die Organisation [...] producirt sich selbst, entspringt aus sich selbst [...]. Jedes organische Produkt trägt den Grund seines Daseyns in sich selbst, denn es ist von sich selbst Ursache und Wirkung. Kein einzelner Theil konnte entstehen, als in diesem Ganzen, und dieses Ganze selbst besteht nur in der Wechselwirkung der Theile.«²⁹³⁰

Wie später bei Whitehead (1929a), steht der *Selbstorganisationsgedanke* bei Schelling (1799) im Zeichen einer *unendlichen produktiven Tätigkeit* der Natur;²⁹³¹ die »Produktivität der Natur ist absolute Continuität«.²⁹³² Auch wenn all ihre individuellen Produkte vorübergehen, hört die Natur »deßwegen nie auf thätig zu seyn«.²⁹³³ Denn die »Natur ist schlechthin thätig, wenn in jedem ihrer Produkte der Trieb einer unendlichen Entwicklung liegt«.²⁹³⁴ Darin besteht genau das, was oben bei Kant (1790) unter *in sich bildender Kraft* verstanden wird, die im Unterschied zum Mechanischen für Kant gerade das *Organismische* ausmacht. Auch Schelling (1799) sucht die »Stufenfolge der Organisationen nicht mechanisch, sondern dynamisch« zu analysieren;²⁹³⁵ wobei dies treffender als *organismisch-prozessuale Analyse* hätte bezeichnet werden können – oder kurz: als *Selbstorganisation*, denn Dynamik findet sich in Form bewegender Kraft natürlich auch in mechanischen Ansätzen. Die Natur ist für Schelling vor diesem Hintergrund dadurch charakterisiert, dass sie sich unentwegt und stetig produktiv erneuert, sich beständig reproduziert, nämlich in Form und »durch das unendlich werdende«.²⁹³⁶ Allerdings steht der unendli-

²⁹²⁶ Kant (1790: B 292 f.).

²⁹²⁷ Vgl. Schelling (1799: 17), ohne Hvh. des Orig.

²⁹²⁸ Ibid.

²⁹²⁹ Ibid., S. 17, Fn. 1.

²⁹³⁰ Schelling (1797: 690), ohne Hvh. des Orig.

²⁹³¹ Vgl. Schelling (1799: 53).

²⁹³² Ibid., S. 54, fortgesetzte Fn. 2 von S. 53.

²⁹³³ Ibid., S. 53.

²⁹³⁴ Ibid., S. 19.

²⁹³⁵ Ibid., S. 54, fortgesetzte Fn. 2 von S. 53.

²⁹³⁶ Vgl. Schelling (1799: 15), ohne Hvh. des Orig.

chen *Produktivität* bei Schelling ihre ebenso unendliche *Hemmung* als zweites Moment entgegen;²⁹³⁷ und es ist dieses zweite Moment, auf das die Bestimmtheit hin drängt, was die Herausbildung von Ordnungsstrukturen meint. Denn »Organisation ist [...] nichts anderes als der aufgehaltene Strom von Ursachen und Wirkungen.«²⁹³⁸ Und somit gilt für Schelling insgesamt: »Kein Produkt in der Natur ist [...] fixiert, sondern in jedem Augenblick durch die Kraft der ganzen Natur reproducirt. (Wir sehen eigentlich nicht das Bestehen, sondern das beständige Reproducirtwerden der Naturprodukte)«.²⁹³⁹ Damit handelt es sich auch bei Schelling nicht um ein *statisches Sein*, sondern um *ein Sein, das sich konstituiert und konkretisiert durch ein Werden*.²⁹⁴⁰ Diese Zusammenhänge illustriert Schelling anschaulich anhand der Bildung von Strömungswirbeln:

»Man denke sich einen Strom [...], wo er einem Widerstand begegnet, bildet sich ein Wirbel, dieser Wirbel ist nichts Feststehendes, sondern in jedem Augenblick Verschwindendes, in jedem Augenblick wieder Entstehendes. [...] An jedem [...] [Hemmungspunkt] bricht sich der Strom (die Produktivität wird vernichtet), aber in jedem Moment kommt eine neue Welle, welche die Sphäre erfüllt.«²⁹⁴¹

Vor dem Hintergrund eines *aktiven Universums* schlägt Schelling (1799) bereits den Bogen von der Selbstorganisation zur Komplexitätentstehung:

»Keine Materie der Natur ist einfach. Denn da ein allgemeiner Zwang zur Combination der Elementar-Aktionen in der Natur herrscht, so kann keine Aktion für sich eine Form oder Gestalt produciren, jede Materie ist durch Combination entstanden.«²⁹⁴²

Abschließend bleibt nochmals auf die Rehabilitierungssache Whiteheads zurückzukommen und es gilt zu hinterfragen, wie das Whiteheadsche Werk auf Basis der hier vollzogenen Reflexion zu bewerten ist. Das hängt davon ab was der richtige Maßstab zur Beurteilung einer Metaphysik ist. Die Antwort ist einfach, denn sie kann im Sinne der Ersten Philosophie nur in der *Universalität* bestehen, die sie jeweils als *metaphysica generalis* wie als *metaphysica specialis* besitzen muss. Indessen ist festzustellen, dass nur zwei Metaphysiken diese doppelte Universalität tatsächlich besitzen, nämlich jene von Leibniz und jene Whiteheads. Legt man diesen Maßstab an, ist demnach zu konstatieren, dass bis auf diese beiden Ausnahmen die gesamte über die Jahrhunderte entwickelte Metaphysik mindestens inferior, letztlich aber ungeeignet ist. – Betrachten wir die *metaphysica generalis*, so muss jede Metaphysik zwangsläufig *reale Kosmologie* sein; dabei muss sie das universale Prinzip des Kosmos genauso wie den "Urstoff" des Universums herausarbeiten. Dabei ist wesentlich, dass das Ergebnis nicht im Widerspruch zum anerkannten Stand der Wissenschaften steht, und insofern muss jede *reale Kosmologie* den *Ratio-Empirismus* vollziehen. Systematisch vollzogen wird dieser jedoch überhaupt nur in zwei echten Metaphysiksystemen, nämlich in der Bungeschen wie der Whiteheadschen Kosmologie. Ungeachtet der Tatsache, dass erste partiell im Widerspruch zur "*New Physics*" bzw. zur "*New Biology*"

²⁹³⁷ Vgl. Schelling (1799: 16 ff.).

²⁹³⁸ Vgl. Schelling (1798: 417), ohne Hvh. des Orig.

²⁹³⁹ Vgl. Schelling (1799: 18, Fn. 2).

²⁹⁴⁰ Vgl. hierzu auch Schelling (1799: 65).

²⁹⁴¹ Schelling (1799: 289); vgl. zu diesem Beispiel auch *ibid.*, S. 18, Fn. 2.

²⁹⁴² Schelling (1799: 34).

steht und als *metaphysica generalis* insofern auch nicht richtiggehend universal ist, als sie keinen Zugang zu H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* eröffnen kann, fehlt ihr die zweite große Metaphysikkomponente komplett.

Eine faktische Vereinigung von *metaphysica specialis* und *metaphysica generalis* finden sich nur in der Klasse-4-Metaphysik Whiteheads, wobei die techno-wissenschaftliche Metaphysik genau auf den gleichen Prinzipien steht wie die Digitalmetaphysik. Im Fall der *metaphysica specialis* ist eine tatsächliche Universalität dann gegeben, wenn alle möglichen Welten universal adressierbar sind, und dabei dem gleichen universalen Prinzip wie der aktuellen Welt folgen. Nur dann sind die Welten im *cyber-physischen* Sinne verschaltbar, und somit ist auch nur dann jene Universalität, die eine Metaphysik in der Gänze überhaupt erreichen kann, tatsächlich erreicht. Metaphysik ist die Disziplin, deren Gegenstand in der Klärung der fundamentalen Strukturen *realer* bzw. *möglicher* Welten besteht, und damit gibt es keine guten Gründe, diesen Bewertungsmaßstab für alle Metaphysiksysteme nicht zu teilen; er ist neutral und objektiv. Auf Grundlage dieses einfachen Bewertungsmaßstabs wird deutlich, dass keine einzige Metaphysik auch nur annähernd den Stand Whiteheads erreicht. Am ehesten ist dies noch bei Leibniz gegeben, die als Blaupause für jene Whiteheads zu erachten ist. Allerdings kann Leibniz *per se* nicht die Universalität Whiteheads erreichen, als die Ausdifferenzierung der Erfahrungswissenschaften wie die Fortschritte in den Formalwissenschaften gerade erst in der Zeit nach ihm einsetzen. Insofern war es Leibniz zwar möglich, mit seinem Automatenuniversum die generelle Bedeutung der mathematischen Logik herauszustellen. Allerdings fehlen ihm zwangsläufig jene wissenschaftlichen Erkenntnisse, die Whiteheads Ereigniszentrismus, Systemismus, Emergentismus und Perdurantismus begründen sollen. Ihr Einbezug macht jedoch eine Synthese nicht unbedingt einfacher. Die größten metaphysischen Werke sind gewiss jene von Platon, Leibniz und Whitehead, indem diese erkannt haben, dass im cyber-physischen Sinne mehr existiert also nur das Materielle, ohne dessen Maßgeblichkeit zu verkennen. Indem Universalität jedoch mit der zu erbringenden Integrationsleistung umso schwieriger ist, muss in der Whiteheadschen (1929a) Prozessmetaphysik im Aufbau insbesondere auf Platon bzw. Leibniz das integrativste und damit schließlich auch das kompletteste aller metaphysischen Werke gesehen werden. Mit ihm wird eine universale ontologische Erklärungskraft in nie dagewesenem Ausmaß geschaffen, indem die wichtigsten Überlegungen der größten metaphysischen Denker in Kombination mit mathematischen wie erfahrungswissenschaftlichen Aspekten zu einem einzigen Denkansatz vereint werden, auf den sämtliche Disziplinen transdisziplinären Bezug nehmen können.

Fassen wir abschließend in zehn Punkten nochmals zusammen, warum die *Metaphysik der Informatik* in der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik und insbesondere in der Whiteheadschen Kosmologie auszumachen ist:

1. Die Informatik benötigt grundsätzlich eine Metaphysik, indem die sachgerechte *Konzeption der Realität* für alle Agenten universal wie objektiv zu klären ist.

Anders gewendet besitzt zwar jeder Agent seine eigene Agentenwelt, aber keine eigene Metaphysik. Vielmehr ist die Realitätsfrage im cyber-physischen Sinne synthetischer Realität ratio-empirisch zu veranlassen, womit bei maschinellen Agenten ggf. eine entsprechende *Belief Revision* zu vollziehen ist. Die bisher bestehende ontologische Konfusion, die mit mehreren Dutzend "general world views" einher geht, ist im cyber-physischen "Reality Computing" inakzeptabel, indem dieses immer als *Autonomic Computing* zu verstehen ist. Dabei ist evident, dass fremde Agenten bei ihren Interaktionen den "general world view" weder ad hoc aushandeln können noch diesen überhaupt lokal bzw. regional zu entwickeln vermögen. Mit anderen Worten kann die AI-Disziplin nicht auf einer induktiven Metaphysik aufbauen. Vielmehr ist der "general world view", wie es die weiter unten erwähnte Whiteheadsche Flugzeugmetapher des Ratio-Empirismus treffend veranschaulicht, als *globales Weltmodell* zu entwickeln. Damit zusammenhängend wird mit der in Pkt. 1 skizzierten dritten AI-Generation deutlich, dass vor allem die in Pkt. 2 umrissene *globale Intelligenz* für tatsächliche *Superintelligenz* im Sinne von Pkt. 6.3 elementar ist.²⁹⁴³ Vor diesem Hintergrund wird mit Pkt. 6.2.6 deutlich, dass Realismus und Konstruktivismus nur bedingt einen Widerspruch markieren; im Kantischen Sinne ist die Agentenwelt im Zeichen des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* konstruktivistisch; davon unabhängig gibt es jedoch eine Realität als solche, womit der Realismus prinzipielle Gültigkeit besitzt. Das Moment der *Belief Revision* der Informatik ist insbesondere bzgl. der physischen Realität in diesem Sinne zu verstehen. Die Metaphysik besitzt nach Kant ein "Zensoramt", und genau diese Konzeption findet sich in Whiteheads Kosmologie, womit sie als gleichzeitige *Metaphysik der Erfahrung* als einziges Metaphysiksystem den Kantischen Metaphysikanforderungen vollständig entspricht.²⁹⁴⁴

2. Die elementare Rolle der Metaphysik begründet sich ferner nicht nur durch die *Agenteninteraktion in resp. mit der Realität* (Agency), sondern genauso in Bezug auf die fundamentalen Kategorien. Entsprechend besitzt die Metaphysik nicht nur Relevanz für das maschinelle Lernen, sondern genauso für KR-Zwecke. Die Wissensontologie baut also notwendig auf der metaphysischen Ontologie auf, und das gilt selbst für die *Commonsense Metaphysics* bei Hobbs et al. (1987), aus der wissensontologisch auch nicht mehr folgen kann als *Common Sense*. Somit gilt generell: »metaphysics constrains semantics«; ganz speziell indes für die Whiteheadsche Metaphysik. Denn die Semantik ist hier tatsächlich

²⁹⁴³ Vgl. dazu Pkt. 6.3.

²⁹⁴⁴ Unter anderem im Zeichen des Ratio-Empirismus, seines universalen Strukturalismus sowie seiner evolutorischen Kosmologie geht Whitehead (1929a) in seiner transdisziplinären Totalsynthese auch in elementarer Weise über die Kantische Metaphysik Körners (1984) hinaus. Insofern kann auch diese keine Alternative zu Whitehead bilden.

im Sinne der Cyber-Physik universal; sie entspricht dem Stand der Erfahrungs- wie der Strukturwissenschaften und ist in ihrem evolutionären Grundcharakter immer im Sinne *komplexer Systeme* auszulegen. Insofern sind prinzipiell Ereignisse primär; Objekte sekundär, was nicht heißt, das letztere unbedeutend wären.

3. Vollmers (2000) Forderung nach *Minimalmetaphysik* lässt sich allein vor dem Hintergrund der Kantischen Metaphysikkritik sachgerecht diskutieren. Denn mit Einstein (1934) geht es letztlich um die empirische Verkopplung der Metaphysik, etwa in Form der Durchgängigkeit zur Physik wie zu allen anderen Wissenschaften, Technologien sowie zur Technopraxis. Wie tief vor diesem Hintergrund eine solche *Minimalmetaphysik* gehen muss, zeigt Whiteheads *Metaphysik der Erfahrung*, indem sich diese Erfahrung nicht nur auf die perzipierenden lokalen bzw. regionalen Agenten bezieht, sondern vor allem auch auf das globale ratio-empirische Weltmodell: Zur Veranschaulichung dieses *Ratio-Empirismus* bringt Whitehead seine berühmte Flugzeugmetapher ins Spiel. Demnach gleicht das metaphysische Unterfangen in einem zirkulären Sinne dem Flug eines Flugzeuges; es hebt ab, um zu einer *transdisziplinären Totalsynthese* bzw. zum "*general world view*" kommen zu können; dann aber landet es wieder auf dem Boden der einzelnen Tatsachen, auf dem sich diese Totalsynthese in wissenschaftlicher, technologischer und praktischer Hinsicht fortan zu bewähren hat: »The true method of discovery is like the flight of an aeroplane. It starts from the ground of particular observation; it makes a flight in the thin air of imaginative generalization; and it again lands for renewed observation rendered acute by rational interpretation«. ²⁹⁴⁵ Entsprechend differenziert sich der Whiteheadsche Ratio-Empirismus in eine empiristische Universalsynthese, auf der eine rationalistische Interpretation aufbaut. Eine andere Möglichkeit zu einem transdisziplinären Schema zu gelangen, das sowohl mit den Erfahrungs- als auch mit den Strukturwissenschaften konform geht, gibt es letztlich nicht. Superintelligenz der dritten AI-Generation ist mit Pkt. 6.3 dann abschließend erreicht, wenn maschinelle Agenten selbst in der Lage sind, eine solche transdisziplinäre Totalsynthese zu vollziehen und vor diesem Hintergrund reflexive Intelligenz vollends zur Entfaltung zu bringen. Prinzipiell ist das möglich, allerdings nur auf Basis einer speziellen und höchst diffizilen Agenten- und Ontologiearchitektur, mit der sich sowohl wissenschaftliche und technologische als auch metaphysische, epistemologische und methodologische Bereiche erschließen lassen. Indem die Informatik nicht nur im Sinne komplexer Systeme, der Mathematik bzw. der formalen Logik eine Strukturwissenschaft darstellt, sondern mit H.A. Simon (1995a) im perzeptiven resp. sensorischen Sinne genauso eine Erfahrungswissenschaft verkörpert, kommt die Informatik nicht an dieser metaphysischen To-

²⁹⁴⁵ Vgl. Whitehead (1929a: 5).

talsynthese vorbei. Das gilt auch in der Hinsicht als beides im Sinne Cyber-physischer Systeme (CPS) zusammenspielt, indem die Cyber-Physik letztlich eine inhaltlich kompatible Physik und Informatik notwendig voraussetzt.

4. Die Informatik sucht sich bisher von Mealy (1967) bis McCarthy (2000) mitunter auf die Ontologie Quines zu stützen, für die der Empirismus maßgeblich ist. Wie in Pkt. 5.1 im Kontext Quines erörtert wird, kann sich die Informatik aber nicht auf Quines Zurückweisung der Metaphysik einschließen. Vielmehr muss die Disziplin von Quine zurück zu Whitehead, da sie sowohl für die reale Agenteninteraktion wie auch für KR-Belange der transdisziplinären Totalsynthese bedarf. Dabei ist die in Pkt. 5.1 näher diskutierte These von der *Minimalmetaphysik* im Zeichen der ratio-empirischen Flugzeugmetapher insofern nicht aufrechtzuerhalten, als die Metaphysik nicht nur alle Wissenschaften, Technologien und Technopraxis fundieren können muss, sondern darüber hinausgehend natürlich als *Erste Philosophie* genauso die philosophische Disziplin selbst.
5. Die Neubegründung der Philosophie durch eine adäquate wie tatsächlich universale Metaphysik erscheint umso dringender, als bereits mit Verweis auf Pkt. 5.6 Heidegger (1966, 1972) die Ansicht vertritt, dass die Philosophie in die Kybernetik übergeht. Wenn die Philosophie aber so gesehen am Ende ist, dann lässt sich Heideggers Kapitulationserklärung in Wahrheit unmittelbar auf falsche philosophische Positionen zurückführen. Dabei steht außer Frage, dass die Kybernetik nicht mehr am gängigen philosophischen Grundstoff der Materie ansetzt, sondern im kausalen Sinne gerade an jenem der *Information*. Insofern liegt es nahe, die Position Heideggers vor dem Hintergrund der in Pkt. 8.3 erörterten "*Philosophy of Information*" zu reflektieren, indem letztere nicht nur für einen "Informational Turn in Philosophy" eintritt, sondern nicht weniger als eine "Revolution in Philosophy" proklamiert. Tatsächlich passt eine Philosophie, die mit Heidegger am Ende ist mit einer fundamentalen philosophischen Revolution zusammen. Natürlich ist sie überfällig, allerdings spüren Philosophen traditionell kaum Handlungsdruck zur Revision ihrer unhaltbaren Ideen. Wie in Pkt. 8.3 dargelegt, ist die These von einem "Putting Information First" zwar genauso richtig wie die damit zusammenhängende These von der notwendigen Neubegründung der Philosophie, doch liegen sowohl Heidegger als auch die Protagonisten der "*Philosophy of Information*" insofern gänzlich falsch, indem sie weder das Leibnizsche noch insbesondere das Whiteheadsche Metaphysikprogramm tatsächlich in der ganzen digitalmetaphysischen Tiefe verstanden haben können. Denn in Wirklichkeit ist die fraglos erforderliche "Revolution in Philosophy" in dieser philosophischen Synthese und nirgends anders grundgelegt. Heidegger übersieht zudem sträflich, dass die Kybernetik inhaltlich wie faktisch auf der

Whiteheadschen Cyber-Physik aufbaut,²⁹⁴⁶ während die Verfechter der "*Philosophy of Information*" nicht über einen eklektizistischen Zugang zur Informationstheorie hinauskommen. Diese Debatte um diese "*Philosophy of Information*" ist für den Diskurs um die *Metaphysik der Informatik* deshalb elementar, weil diese Strömung selbst den Anspruch stellt, die Informatik insgesamt wie speziell die AI-Disziplin fundieren zu können. Dass diese jüngere philosophische Strömung indessen an diesem Anspruch in grundsätzlicher Weise scheitert und dass auf Basis der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik demgegenüber die einzige in Frage kommende Grundlegung der Informatik gegeben ist, wird in Pkt. 8.3 näher dargelegt. Insofern besteht nicht nur im *Empirismus* Quines keine Alternative zur Whiteheadschen *Metaphysik der Informatik*, sondern genauso wenig im informatorischen *Rationalismus* der "*Philosophy of Information*". Denn entscheidend ist ein *informatorischer Ratio-Empirismus* als transdisziplinäre Total-synthese, mit der alle AI-relevanten Aspekte im universalen Sinne des Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversums zu definieren sind. Das erstreckt sich auf alle Aspekte, angefangen von der Perzeption und Kognition über Intelligenz, Adaption, Interaktion und Komplexität bis hin zu einem integrierten Daten-, Informations- und Wissensbegriff. Darin, nicht in dem verfehlten eklektizistischen Informationsverständnis der "*Philosophy of Information*" bestehen die Grundvoraussetzungen für eine sachgerechte Fundierung der Informatik als transdisziplinärer Schlüsseldisziplin.

6. In der Tat sind es Leibniz bzw. darauf aufbauend Whitehead, die den kosmologischen Grundstoff nicht mehr – wie etwa bei Descartes oder später bei Bunge – in der Materie, sondern in der *Information* sehen. Der zentrale Grund ist im Leibnizschen Automatenuniversum zu suchen, das neben natürlichen Automaten auch explizit auf artifizielle Automaten abstellt. Beide Cyber-Physiker vertreten eine relationale bzw. Systemontologie, wobei diese bei Leibniz noch eher mechanistisch und damit weniger im Sinne komplexer Systeme konzipiert wird, während sich bei Whitehead ein organismisches Automatenuniversum findet, mit dem das Denken in *komplexen Systemen* in fundamentaler Hinsicht begründet wird. Dabei sind diese Systeme bei Whitehead nicht nur adaptiv, sondern grundsätzlich als Cyber-physische Systeme (CPS) konzipiert. Die fundamentalen Grundlagen der Informatik gehen nicht nur etwa über McCulloch, J. von Neumann oder Ulam explizit auf Whitehead und über diesen auf Leibniz zurück. Vielmehr kann die Informatik, die universal am *cyber-physischen "Reality Computing"* anzusetzen hat, allein auf Grundlage der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik begründet werden.

²⁹⁴⁶ Mit Verweis auf Fn. 1379 sieht Wiener (1948) nicht nur den »patron saint for cybernetics« in keinem anderen als in Leibniz, sondern er beschäftigt sich darüber hinaus bereits in seinen Erstwerken umfassend mit Whitehead, vgl. etwa N. Wiener (1913).

7. Die Whiteheadsche Metaphysik ist in ihrem wissenschaftlichen Rekurs etwa auf die Quantenphysik oder die Relativitätstheorie und schließlich als 4D-basierte Ereignismetaphysik zeitbedingt moderner als die an prozessualisierten Monaden orientierte Leibnizsche Ursprungsfassung. Sie ist besser bzw. konkreter auf AI-Belange bzw. auf Peirces (1887) *Logical Machines* ausgelegt, indem etwa an die Stelle der "fensterlosen" Monaden zelluläre Automaten als *Subjekt-Superjekte* treten, die als Whiteheadsche Agenten alles andere als "fensterlos" sind. Genauso wenig lässt sich die Realität der Informatik im Kontext etwa von IoV-Szenarien mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 noch im endurantistischen Sinne, sondern lediglich im perdurantistischen 4D-Sinne begründen.
8. Das Whiteheadsche organismische Automatenuniversum eröffnet unmittelbar den CPST- resp. IoX-Hyperspace. Seine Cyber-Physik bedingt den CPS-Aspekt; seine globale Intelligenz das SEA-Moment sowie seine Agenteninteraktion in komplexen Systemen den CAS/MAS-Konnex.
9. Im Sinne des Wechselspiels von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz wird mit Whitehead im Zeichen von CYPO FOX deutlich, dass es nicht nur einer hybriden Agentenarchitektur, sondern auch einer integrierten Ontologiearchitektur bedarf. Agenten besitzen prinzipiell einen induktiven wie einen deduktiven Lernmodus; im Whiteheadschen evolutorischen Schema ist für sie verkoppeltes *Machine Learning* und *Ontology Learning* gleichermaßen essentiell.
10. Die Whiteheadsche Cyber-Physik stellt als evolutionäres Computing-Paradigma nicht nur das *Ontological Computing Framework* (OCF) der Informatik als solches, sondern sie ist darüber hinaus auch als neues ereigniszentriertes evolutionäres "*Coding Paradigm*" zu begreifen. Bereits mit Henry/Geertsen (1986) bzw. G.C. Henry (1993) wird deutlich, dass Whiteheads Digitalmetaphysik mehr ist als ratio-empirische Kosmologie, indem sie in ihrem universalen Strukturalismus zugleich auf das eigentliche evolutionär-prozessuale Programmierparadigma der Informatik hinausläuft. Im OCF-Sinne setzt dieses schließlich auf der Architektur von CYPO/IMKO auf.

4.3 Automata Theory/Complex Adaptive Systems als CYPO/IMKO-Mittler

»Complex systems are certainly changing the way scientists look at science, but it also modifies the way non-scientists look at reality.«
— Brian L. Keeley/Eric W. Bonabeau (1993: 619)

Jeder Algorithmus, jedes Byte und jede relationale Datenbank, jedes Multiagentensystem (MAS) bzw. jedes Multisensorsystem und nicht zuletzt das *Internet of Everything* (IoX) zeigen, dass für die Informatik das *Relationale* entscheidend ist. Wenn in diesem Zusammenhang zu fragen ist, *was es gibt*, können folglich allein eine *Relationenontologie* und damit ein *universaler Strukturalismus* entscheidend sein. Dabei gilt: Alles *was es gibt*, ist nur im Prozess, mithin im Zeichen der Prozessmetaphysik zu begreifen, denn in der Informatik ist das *Relationale* im Zeichen des *Information Processing* niemals statisch, sondern allein im evolvierenden Sinne emergenter Ordnungsmuster zu begreifen. Aus Relationalität und Prozess folgt Komplexität, und damit ist nicht nur die Komplexitätsforschung mit Pagels (1988) oder Casti (1997) als *Computerwissenschaft* zu deklarieren, sondern vielmehr gilt umgekehrt, dass die Informatik in ihrer Eigenschaft als Strukturwissenschaft letztlich eine Disziplin der Komplexitätsforschung markiert. Denn sowohl ihre theoretische als auch ihre pragmatisch-operationale Basis ist in *komplexen Systemen*, speziell in *Complex Adaptive Systems* (CAS) zu sehen, wie sie nicht umsonst etwa bei Poole/Mackworth (2010) im MAS-Kontext berücksichtigt werden. Denn CAS sind in ihrem Adaptionvermögen *agentenspezifisch* veranlagt. Für CPS gilt im *Internet of Everything* dabei immer dieser MAS/CAS-Konnex. Die Komplexitätsforschung ist jedoch nicht nur in digitaler Hinsicht als transdisziplinär zu erachten, sondern genauso unter techno-wissenschaftlichem Aspekt. Daraus folgt, dass *komplexe Systeme* auch das Mittel der Wahl sind, um *Cyber-physische Systeme* (CPS) in kausal-realer Hinsicht methodologisch auf eine gemeinsame Basis zu stellen. Über den mathematisch-empirischen Aspekt hinausgehend ist die *Theorie komplexer Systeme* mit H.A. Simon (2000: 4) bzw. Mainzer (2005c) dabei gerade auch selbst als Technologie zu verstehen,^{2947, 2948} die insbesondere auf das Problem einer adäquaten Systemgestaltung bzw. auf die Frage der Komplexitätsreduktion zielt.²⁹⁴⁹

Im Whiteheadschen (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« benötigt jede ratio-empirische Metaphysik einen Mittler, und dieser kann bei einer *Klasse-4-Metaphysik* allein in der Komplexitätsforschung bzw. in der *Theorie komplexer Systeme* bestehen. Diese Funktion besitzt sie einerseits im Zeichen des *Ratio-Empirismus* in Form der empiristischen Universalsynthese als auch andererseits als Übersetzer der metaphysischen Ontologie in die Methodologie. Die *Theorie komplexer Systeme* ist im Kern *methodologisch*; doch genauer besehen kommt keine Methodologie ohne metaphysische Dispositionen aus, was bereits bei der Voraussetzung beginnt, dass die behandelten Entitäten methodologisch als *relationale Elemente* erachtet werden können. Metaphysik im kritischen Re-

²⁹⁴⁷ Der hier verwendete *Technologiebegriff* entspricht jenem von Agassi (1966) oder Bunge (2001c).

²⁹⁴⁸ Dieser Technologiebezug ist etwa auch bei Bibel (2004: 172) oder bei Mainzer (2005c) erkennbar.

²⁹⁴⁹ Vgl. hierzu auch Bibel (2004: 166).

alismus Whiteheads bzw. Poppers behauptet auch nichts, sondern sie setzt hypothetisch bzw. fallibilistisch voraus; und jede Methodologie verfährt letztlich nicht anders. So gesehen stellt sich die Debatte um die Gültigkeit des Strukturrealismus auch wenig problematisch dar, wenn der Unterschied zwischen dem Metaphysiker als kritischem Realisten und dem strikten Empiristen insofern mehr oder weniger nivelliert, als der Empirist als Konzeptualist oder Nominalist methodologisch komplexe Strukturen voraussetzt. Nicht zuletzt für die Hypothese, dass das Universum ein *mathematisches Universum* ist, gilt für den kritischen Realisten strikt der Fallibilismus. Wie mit Pkt. 5.1 gezeigt, wird Quine letztlich auch als Realist verstanden, wenngleich er sich strikt als Empiristen und Nominalisten sieht. Wenn Quine einen mathematischen Strukturalismus verfolgt und einen exklusivistischen 4D-Perdurantismus bzw. einen reinen Ereigniszentrismus voraussetzt, kann man das als methodologische Annahmen deklarieren. Allerdings besteht letztlich kaum ein Unterschied zur Voraussetzung metaphysischer Dispositionen, wenn es sich dabei um eine ratio-empirische *Klasse-4-Metaphysik* handelt, für die strikt die Perspektive des kritischen Realismus und somit der Fallibilismus gilt. Vielmehr besteht das eigentliche Problem in dem durch Carnap et al. diskreditierten Ruf aller Metaphysik, der mit Einstein et al. unberechtigt ist. Nur muss die Metaphysik richtig verstanden sein, d.h. als *Klasse-4-Metaphysik* konzipiert werden.

Indem letztlich alle Wissenschaft und alle Technologie Metaphysik voraussetzt, relativiert sich selbst die Debatte um das Ausmaß erforderlicher Metaphysik, worauf wir in Pkt. 5.1 im Kontext Quines mit Wendels (1993: 104) »Minimum an Metaphysik« zurückkommen. Es kann aber mit der am Ende von Pkt. 4.2 aufgegriffenen Differenzierung von *metaphysica generalis* und *metaphysica specialis* bereits festgestellt werden, dass diese Frage wiederum im Kontext der Universalität der Metaphysik zu sehen ist. So gesehen geht es gar nicht um die Frage des Maximums oder Minimums an Metaphysik, sondern vielmehr um gute oder schlechte Metaphysik mitsamt der Lösung des Fallibilismusproblems.²⁹⁵⁰ Insofern sei nochmals an Bunges (1967a: 92) Postulat erinnert, das gerade auch für die Informatik zentral ist: »[W]e have not the choice of making metaphysical commitments or of avoiding them, but of adopting a good or a bad metaphysics«. Damit sollte deutlich geworden sein, inwiefern tatsächlich von einem interdependenten Verhältnis der universal strukturalistischen ratio-empirischen *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads und der Komplexitätsforschung als Methodologie ausgegangen werden kann. Dabei steht außer Zweifel, dass bei den anderen in Pkt. 4.1 abgegrenzten Metaphysikklassen gerade nicht von einer solchen Interdependenz gesprochen werden kann.²⁹⁵¹ Das gilt insbesondere für

²⁹⁵⁰ Gute Metaphysik ist *per se* im Zeichen von Kants (1781) Metaphysikkritik *ratio-empirische* Metaphysik, indem damit der Fallibilismus Einzug in die Bestimmung metaphysischer Dispositionen hält. Insofern kann gute Metaphysik – objektiv mit Kant – allein *revisionäre Metaphysik* sein, niemals aber *deskriptive Metaphysik*, die sich auch noch gerade – in anderer Hinsicht – explizit auf Kant beruft, vgl. Pkt. 6.2.2.

²⁹⁵¹ Für die *Klasse-3-Metaphysik* gilt das insofern, als sie rein wissenschaftlich, und nicht techno-wissenschaftlich ist, bzw. indem sie materialistisch, nicht strukturalistisch ist. Für die *Klasse-2-* bzw. *Klasse-1-Metaphysik* gilt dies, indem sie nicht ratio-empiristisch bzw. nicht strukturalistisch konzipiert sind.

jene OLP-Ansätze der Klasse-2-Metaphysik, die auf Normalsprache basieren, mit der sich komplexe Systeme kaum sachgerecht beschreiben lassen. Russells Klasse-2-Metaphysik entspricht in ihrer Begründung der ILP-Tradition zwar der Strukturwissenschaft, ist aber gerade nicht empirisch gerichtet. Insofern kann diese auch kaum als adäquat für die *Theorie komplexer Systeme* gewertet werden, wenn diese mit Mainzer (2007a) als »mathematical, empirical, testable, and heuristically economical methodology« zu definieren ist.²⁹⁵² Eine universale strukturalistische Ontologie ist auch mit dem Materialismus der Klasse-3-Metaphysik nicht zu machen, sondern sie ist vielmehr für die *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads konstituierend, für die die relationale Cyber-Physik kennzeichnend ist.

Wie in Pkt. 4.2 dargelegt, ist diese Interdependenz auch insofern angelegt, als mit Poser (2005, 2007) das Komplexitätsparadigma letztlich Whiteheads Kosmologie in ihrer Eigenschaft als Digital-, Prozess- bzw. Komplexitätsmetaphysik sowie als logico-mathematischer Relationenontologie entspringt.²⁹⁵³ Whiteheads (1925) *zelluläre Organismen*, die im digitalistischen Sinne als logico-mathematisch verankerte ereigniszentrische *zelluläre Automaten* zu verstehen sind, bilden entsprechend die eigentliche ontologische Grundlage der *Theorie zellulärer Automaten*. Das gilt auch dann, wenn im Folgenden deutlich wird, dass diese in methodologischer Hinsicht variantenspezifisch in vielfältiger Weise abgewandelt werden. Es besteht also eine unmittelbare Kompatibilität sowohl zu Leibnizens Automatenuniversum, zu Booleschen Netzwerken als auch zum Gedanken der *Logical Machines* bei Peirce et al. Mit Pkt. 4.2 wurde zudem deutlich, dass Whitehead (1925, 1929a) das Leibnizsche (1714a) Automatenuniversum auf die bei Kant (1790) geführte Debatte um die *mechanistische vs. organismische Weltauffassung* projiziert; er transformiert Leibnizens Automatenuniversum in Kants *organismisch-systemische Weltauffassung*, ergänzt diese um Schellings und Hegels Gedanken der selbstorganisatorischen kosmologischen Evolution und verbindet all das zu seinen mathematisch-strukturalistischen *zellulären Automaten*. Insofern diese die Basis für den prozessualen universalen Strukturalismus bilden, besteht in ihnen nicht weniger als die eigentliche Kernidee des Whiteheadschen Werks: »The philosophy of organism is a cell-theory of actuality. Each ultimate unit of fact is a cell-complex, not analysable into components with equivalent completeness of actuality«.²⁹⁵⁴

Der Leibniz-Whiteheadsche Automatengedanke repräsentiert das erforderliche cyberphysische Bindeglied. Schon McCarthy/Hayes (1969: 469) halten im AI-Kontext ein System interagierender diskreter Automaten für eine metaphysisch adäquate Repräsentation. Genauso sieht Bunge (1973: 154) in der Automatentheorie eine adäquate Grundlage für die wissenschaftliche Metaphysik: »Automata theory has been with us for some time waiting

²⁹⁵² Vgl. Mainzer (2007a: 434), ohne Hvh. des Orig.

²⁹⁵³ Poser (2006: 968) sieht in den diversen Komplexitätstheorien die formale Seite von Whiteheads (1929a) neuer Weltansicht, die diese ohne einen direkten Bezug auf diesen prozessmetaphysischen Unterbau entwickelt hatte. Mit Blick auf die explizite Referenz von Bertalanffy, Prigogine, McCulloch und anderen auf Whitehead scheint letzter Aspekt jedoch kaum haltbar.

²⁹⁵⁴ Vgl. Whitehead (1929a: 219).

for metaphysicians to pick it up: [...] it has proved to be so extremely general as to cover all kinds of system, regardless of their nature«. ²⁹⁵⁵ Es ist wiederum Mealy (1955), der auch hier Pionierarbeiten leistet, indem er die *Finite-state Automata* (FSA) in Form der *Mealy Machine* in die Automatentheorie einbringt. Diese ist jedoch nicht nur für die Informatik universal; ²⁹⁵⁶ sie ist auch nicht nur technologisch universal. Vielmehr ist sie techno-wissenschaftlich wie kosmologisch universal und markiert damit das zentrale Theoriefragment der *Klasse-4-Metaphysik*. Denn gerade in der auf die Kantisch-Whiteheadsche organismische Weltauffassung zurückgehende zellulären Variante (CA), wie sie auch Wolframs (2002) *New Kind of Science* kennzeichnet, ist sie allgemein voraussetzbar. Das trifft auch auf die Digitalmetaphysik bzw. den CPST-Hyperspace zu, indem mit Gershenfeld (1999b) gilt: »[C]ellular automata are computationally universal: they can compute anything«. ²⁹⁵⁷ Diese Universalität der *Theorie zellulärer Automaten* liegt darin begründet, dass sie neben ihrem universalen Strukturalismus allein logico-mathematische Grundlagen voraussetzt.

Hollands (1962) "*adaptive systems*" stehen letztlich auf ähnlicher Basis, jedoch ist der CA-Kern insofern universaler als der CAS-Gedanke, als letzter das *interne* Moment der Adaption wesentlich adressiert. Holland (1995a: 46) bringt als Pionier auf dem Gebiet *agentenbasierter Modelle* entsprechend den Agentengedanken ins Spiel. Dabei können mit Blick auf die notwendige Differenzierung der Agentenklassen, die etwa zwischen maschinellen und natürlichen Agenten divergent sind, darauf bezugnehmende Aussagen nur für die jeweilige Agentenklasse als solche gelten. Denn das jeweilige Adaptions- bzw. Intelligenzvermögen variiert zwischen solchen Klassen regelmäßig in erheblicher Weise. Letztlich ist jedoch beides notwendig, sowohl metaphysisch wie auch informatorisch, indem Whitehead das Universale eröffnet, während verwandte Denker wie Hartmann mit Pkt. 6.2.7 im Zeichen der Mehrebenenontologie das Spezifische adressieren. Vor ihrem Hintergrund ist für das Studium komplexer sozialer Systeme die Feststellung wesentlich, dass sich *rationale* Agenten höherer natürlich-sozialer bzw. artifiziell-sozialer Systeme nicht einfach nur als Teile *verhalten*, wie etwa Moleküle in einer Flüssigkeit. ²⁹⁵⁸ Gerade hier gilt, dass sich das makroskopische Systemverhalten aufgrund entsprechender Rückkopplungen nicht hinreichend studieren lässt, ohne die mikroskopischen Prozesse zu verstehen. Holland (1999: 117) spricht von *Agenten* in Form von Individuen, die *Pläne* in *sozialen Institutionen* verfassen und umzusetzen suchen, was letztlich dem Agentenverhalten auf Basis der vier CYPO-Welten entspricht:

»Because the actions of the individual agents are conditioned by the immediate surroundings (other agents and objects in the environment), there is no easy way to predict the overall behavior by looking at the behavior of an 'average' individual. The difficulty increases enormously when indi-

²⁹⁵⁵ Mit Bunge (1985a: 302) ist die Automatentheorie *unwiderlegbar*, wenn gilt: »automata theory [...] is empirically untestable«, Hvh. im Orig. Demgegenüber hält sie Bunge (1983c: 25) für das beste Beispiel einer kausalen Theorie.

²⁹⁵⁶ Bspw. wird das Verhalten von *Adaptive Business Objects* (ABO) auf Basis der *Mealy Machine* definiert, vgl. Nandi/Kumaran (2005).

²⁹⁵⁷ Vgl. Gershenfeld (1999b: 108).

²⁹⁵⁸ Eine solche Position wird durch Haken (1998: 58) bezogen.

vidual agents can learn or adapt. Then an agent's strategy is not only conditioned by the current situation, it can also change over time [...]. As the difficulties increase, so do the possibilities for emergent behavior.«²⁹⁵⁹

Indem Whitehead von der mathematischen Physik kommt und die physikalischen Schlüsseltheorien berücksichtigt, liegt mit Pkt. 4.2 auch der kosmologische Ursprung der *Physik der Evolutionsprozesse* bzw. Komplexitätsphysik, also der "*New Physics*" bei keinem anderen als bei Whitehead. Im Einklang mit seiner Digitalmetaphysik wird daraus eine *cyber-physische Metaphysik*, wie sie für *Cyber-physische Systeme* (CPS) im *Internet of Everything* vorauszusetzen ist. Denn "*Cyber*" bedeutet im Kern nichts anderes als mathematische Logik, die wiederum im Zeichen von Boole, Peirce, Shannon und anderen ontologisch unter den Aspekten der *Logical Machines* bzw. *Switching Circuits* zu verstehen ist. – Dass die Grundlagen der *Theorie zellulärer Automaten* tatsächlich bei Whitehead liegen, erkennen gerade jene an, die am besten mit den Anfängen der Automatentheorie vertraut sind. Entsprechende Hinweise auf Whitehead finden sich bei McCulloch (1954), der mit McCulloch/Pitts (1943) wesentliche Vorarbeiten für die Entwicklung der Automatentheorie leistet, genauso wie etwa bei Ulam (1976), der neben J. von Neumann als zentraler Entwickler der *Theorie zellulärer Automaten* zu sehen ist. Insofern ist auch klar, dass die Whiteheadsche (1929a) Prozessmetaphysik im Kern eine organismische Computer- bzw. Digitalmetaphysik verkörpert, die im Zeichen der mathematischen Physik den Übergang zu Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* zu bewerkstelligen versteht.

Nicht nur entspringt die Idee *zellulärer Automaten* der Whiteheadschen Prozessmetaphysik; vielmehr sind sie allein hier für die Informatik richtig konzipiert, nämlich tatsächlich in *cyber-physischer* Weise. Demgegenüber spielen die physikalischen Zusammenhänge zwar noch bei J. von Neumann (1932) eine Rolle, treten jedoch bei den Computerpionieren Turing und Zuse deutlich in den Hintergrund. Allerdings sind sie natürlich in Zuses (1982) *Computing Universe* gewiss existent. Richtig ist vielmehr die Feststellung, dass der *cyber-physische* Zusammenhang der *Theorie zellulärer Automaten* durch die anfängliche Konzeption von Computern als reine "*Cyber Machines*" verlorengegangen ist, während er mit Computern als IoX-basierte *cyber-physische "Reality Machines"* einerseits und mit der zunehmenden Bedeutung des *Quantencomputing* andererseits im Zeichen einer Rückbesinnung auf Leibniz und Whitehead zurückkommt. Tatsächlich werden die Leibniz-Whiteheadschen fundamentalen Grundlagen der *Theorie zellulärer Automaten* mehr denn je relevant, indem evident ist, dass es bei ihr etwa im Zuge der AL-Forschung vor allem um Computergrundlagen geht. Diese können jedoch genauso wenig wie die physikalische Quantentheorie bei *Cyber-physischen Systemen* (CPS) Orientierung bieten, indem es gerade um systemische Wechselwirkungsprozesse geht, die ein *universales Weltmodell* erfordern. Damit ist klar: wenn McCarthy (1995) nach dem für die Informatik adäquaten "*general world view*" fragt und die philosophische Disziplin in dieser Sache um Rat er sucht, kann die Antwort allein sein: ihre Grundlagen sind vollständig wie systematisch in

²⁹⁵⁹ Holland (1999: 118).

der Whiteheadschen Prozessmetaphysik gegeben. Damit ist evident, dass genau hier, und zwar in expliziter Tradition zu Leibniz, dem Leibnizprogramm wie dem Leibnizschen Automatenuniversum alle eigentlichen fundamentalen Grundlagen der Informatik liegen.

Zelluläre Automaten (CA) bedeuten in der organismischen Philosophie Whiteheads unmittelbar einen universalen Strukturalismus, der ein logico-mathematischer Strukturalismus ist. Damit sind die Kategorien der Whiteheadschen *Klasse-4-Metaphysik* transdisziplinäre Kategorien, die im Zeichen der Relationalität, des Systemismus wie des Strukturalismus cyber-physischer zellulärer Automaten stehen. Darüber hinaus wird vor dem Hintergrund des Emergenzprinzips mit Pkt. 6.2.7 deutlich, dass die Ontologie der Informatik letztlich notwendig auf eine *emergentistische Mehrebenenontologie* hinauslaufen muss, die eine *Ontologie komplexer IoX-Systeme* verkörpert. Das wurde bereits oben mit Hollands (1995a: 46) divergenten Agentenklassen deutlich. Die Whiteheadsche Digitalmetaphysik eröffnet jedoch nicht nur agentenbasiertes Computing, sondern genauso *Quantencomputing*. Denn das *cyber-physische Computing Universe* gründet universal auf Informationsverarbeitung. Entsprechend bilden die Atome, um die es bei Whitehead geht, *Informationsatome*, nämlich *Bits*, auf die C.F. von Weizsäcker (1974) genauso aufbaut wie Wheelers (1990: 5) *"It from bit"* – alles Sein ist *informatorisches Sein*, insofern es mit Whitehead auf *informatorischen Ereignissen* basiert. Tatsächlich gibt es in der Whiteheadschen (1929a) organismisch-prozessualen Perspektive, die Schrödingers (1944) *"What is Life?"* kosmologisch absorbiert und damit auf eine höhere Ebene bringt, kein Sein ohne Informationsverarbeitung bzw. –übertragung. Das Universum ist ein aktives Universum, das im Zeichen des *Sense-and-Respond Model* auf physischen Signalen aufbaut, die als elektrische Signale und damit schließlich mit Whitehead (1929a) als Daten zu verstehen sind. Insofern wird deutlich, dass das Bit als physisches Signal bzw. Datum das universale Element bildet, auf dem die *Klasse-4-Metaphysik* als techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik in transdisziplinärer Weise gründet.

Die *Theorie zellulärer Automaten* ist für die Ontologiedebatte insgesamt grundlegend, insbesondere aber für jene der Informatik und speziell bezogen auf ihre vernetzten IoX-Strukturen. Das beginnt bei der Identifikation der elementaren Kategorien, ihrer Verhältnisbestimmung sowie ihrer universalen Definition. Mit ihr wird im Whiteheadschen (1929a) Sinne deutlich, dass die fundamentale Kategorie im Ereignis besteht und dass Objekte durch diese konstituiert werden. Sie hilft darüber hinaus, Ereignisse universal, d.h. tatsächlich CPSS-adäquat zu definieren: jedes *Signal* bzw. jede *Sequenz von Signalen* bildet ein *Ereignis*.²⁹⁶⁰ Die gängige linguistische Ereignisdefinition erweist sich damit für die Informatik insofern als grundsätzlich unbrauchbar, als sie sich nicht zur grundsätzlichen Bestimmung der Ereigniskategorie und damit auch nicht hinsichtlich der Verhältnisbestimmung bezüglich der Objektkategorie heranziehen lässt. Darüber hinaus verdeutlicht die *Theorie zellulärer Automaten* im Kontext interaktiver Relationen, dass *Komplexität*

²⁹⁶⁰ Vgl. A. Mukhopadhyay (1968).

eine fundamentale ontologische Bewandnis besitzt, womit die *Theorie komplexer Systeme* entsprechend zentrale Relevanz für die Ontologiedebatte besitzt.

Mit dem Moment des Relationalen, das dem Whiteheadschen universalen Strukturalismus genauso inhärent ist wie der darauf aufsetzenden *Theorie zellulärer Automaten* kommt der Komplexitätsgedanke in umfassender Weise ins Spiel. Indem der Komplexitätsbegriff äußerst heterogen definiert wird, da hinter diesem ganz unterschiedliche Traditionen, Technologien und Disziplinen stehen, sei er kurz konkretisiert. Im CPS/MAS-Kontext des IoX-Hyperspace ist analog der ontischen und epistemischen Ontologie neben der ontischen auch die epistemische Komplexität von Relevanz.²⁹⁶¹ Dieser Zusammenhang zeigt sich bereits im Zuge der Debatte um *Simplizität vs. Komplexität*, indem diese ebenso eine ontologische, epistemologische wie methodologische Dimension aufweist.²⁹⁶² Komplexität ist wesentlicher Aspekt ontologischer Strukturen und manifestiert sich in komplexen Entitäten. Entsprechend ist ein objektiver wie ein subjektiver Komplexitätsbegriff von Interesse.²⁹⁶³ Dennoch verbleiben auch nach dieser ersten Konkretisierung unzählige Komplexitätsbegriffe,²⁹⁶⁴ wie sie in den Reihen der Allgemeinen Systemtheorie,²⁹⁶⁵ Kybernetik,²⁹⁶⁶ Biokybernetik,²⁹⁶⁷ modernen Evolutionstheorie,²⁹⁶⁸ Chaos- und Katastrophentheorie,²⁹⁶⁹ Komplexitätstheorie,²⁹⁷⁰ Theorie dissipativer Systeme,²⁹⁷¹ Synergetik,²⁹⁷² oder aber der The-

²⁹⁶¹ Vgl. zu dieser Unterscheidung Rescher (1998).

²⁹⁶² Vgl. hierzu im Hinblick auf die verschiedenen Dimensionen Lindsay (1937), N. Goodman (1943, 1950, 1959), Feuer (1957, 1959), H.R. Post (1960), Rudner (1961), Bunge (1962, 1963), Ackermann (1963), Good (1968, 1974), Arnheim (1974), Suppes (1976a) sowie R.J. Nelson (1976). Dass sich dabei die Dimensionen nicht auszuschließen brauchen, zeigt etwa die Position Poppers, der ontologisch Komplexität als irreduzibel voraussetzt, vgl. Popper (1974a), mit Blick auf die Falsifizierbarkeit von Theorien in wissenschaftstheoretischer Hinsicht jedoch für Einfachheit eintritt, vgl. Popper (1994c); vgl. hierzu auch H.R. Post (1962) und Turney (1991). Nicht zuletzt auf der Grundlage der Booleschen Entscheidungslogik, insbesondere im Hinblick auf zelluläre Automaten, ist evident, dass zwischen der Voraussetzung ontologischer Komplexität und methodologischer Einfachheit kein Widerspruch bestehen muss.

²⁹⁶³ Vgl. zu einem *subjektiven Komplexitätsbegriff* etwa Rosen (1977), insbes. p. 229. Dieser ist insofern gerechtfertigt, weil die Komplexität einer Struktur ohne Frage wesentlich von seiner Beschreibung abhängt und es dabei gelten muss, eine sachgerechte Repräsentation der Struktur zu finden, vgl. Simon (1962: 481). Entsprechend heißt es bei Casti (1994: 269): »complexity is an inherently subjective concept; what's complex depends upon how you look«, und damit ist nachvollziehbar, wenn mit Van Gigh (1991: 171) gilt: »Complexity is one of the aspects of systems hardest to characterize«.

²⁹⁶⁴ J. Horgan (1995) kritisiert nicht ganz zu Unrecht die mindestens einunddreißig verschiedenen Komplexitätsdefinitionen, mit denen die Komplexitätsforschung heute operiert. Bei Bar-Yam (1997: 703) heißt es etwa: »Complexity is a measure of the inherent difficulty to achieve the desired understanding. Simply stated, the complexity of a system is the amount of information necessary to describe it. This is descriptive complexity«. Ein weiteres Beispiel besteht in der im Zeichen des *algorithmischen Informationsgehalts* stehenden *Effective Complexity* bei Gell-Mann (2002). Dabei ist die *effektive Komplexität* einer Entität gegeben durch die Länge einer sehr exakten Beschreibung ihrer Regelmäßigkeiten, vgl. hierzu auch Gell-Mann/Lloyd (1996, 2003).

²⁹⁶⁵ Vgl. hierzu Bertalanffy (1968).

²⁹⁶⁶ Vgl. Wiener (1948) sowie Ashby (1947, 1957, 1963).

²⁹⁶⁷ Vgl. Vester (1980, 1999).

²⁹⁶⁸ Vgl. Bateson (1972, 1979), Maturana/Varela (1980), mit anderer Akzentuierung Gould/Lewontin (1979).

²⁹⁶⁹ Vgl. Thom (1976) sowie Mandelbrot (1979, 1993).

²⁹⁷⁰ Auf die *Komplexitätstheorie* ist im Kontext von U-PLM-Systemen insofern besonders einzugehen, weil sie mit Blick auf ihre historische Entwicklung zum einen für die richtige Perspektive auf *komplexe Cyber-physische Systeme* unabdingbar ist, zum anderen für die richtige Perspektive auf *komplexe adaptive Systeme* (CAS) wesentlich ist. Demgegenüber bedeutet die Komplexitätstheorie, die in ihrer heutigen

orie komplexer adaptiver Systeme gebräuchlich sind.^{2973, 2974} All diese Ansätze kumulieren in der *Theorie komplexer Systeme*,²⁹⁷⁵ die mit Mainzer (2005c: 73 f.) die »wissenschaftstheoretische Antwort auf die zunehmende Komplexität [...] der modernen Lebenswelt« bildet, und dabei auf eine »Methodologie zur Modellierung nichtlinearer Prozesse in Natur und Gesellschaft« hinausläuft. Sie repräsentiert nicht nur mit Mainzer (2007a: 434) ein *interdisziplinäres* Forschungsprogramm, sondern stellt darüber hinaus mit Mainzer (1993) einen *transdisziplinären* Ansatz dar,²⁹⁷⁶ der eine disziplinenübergreifende Perspektive auf

Fassung auf den Ressourcenverbrauch von Algorithmen zielt, im Rahmen der Softwareentwicklung eher ein Spezialgebiet für PLM-Softwarelösungen. Ihre Entstehungsgeschichte ist jedoch Grundvoraussetzung, um ein sachgerechtes Verständnis für Closed-loop U-PLM-Systeme in ihrer Eigenschaft als *Cyberphysische komplexe adaptive Systeme* zu entwickeln. Sie ist mit der Church-Turing-Hypothese und dem Konstrukt des universellen Computers unmittelbar verbunden. Die Church-Turing-These, die auch als *Churchsche These* bezeichnet wird, lautet: »A function computable in any reasonable computational model is computable by a Turing machine«, vgl. Du/Ko (2000: 11), ohne Hvh. des Orig. Bei Boolos/Jeffrey (1974: 52) heißt es etwas anders: »Put very broadly, Church's thesis says that any mechanical routine for symbol manipulation can be carried out in effect by some Turing machine or other«. Ein solcher universeller Computer ist im Sinne der Church-Turing-These in der Lage, jeden Prozess zu emulieren: »A natural generalization of the Church-Turing Thesis to the physical world is that every physically realizable system is formally equivalent to a symbol system [...]«, vgl. Harnad (1994: 295). Eine solche Verallgemeinerung setzt allerdings einen entsprechenden Begriff der *Berechenbarkeit* voraus, der dann nicht zu eng gefasst sein darf, vgl. hierzu Boolos/Jeffrey (1974: 19). Der *universelle Computer* ist auf das Engste mit der mathematischen Logik verknüpft; seine Entstehungsgeschichte vollzieht sich von Leibniz über Boole, Frege, Cantor, Hilbert und Gödel bis hin zu Turing, vgl. hierzu M. Davis (2001). Vgl. zur Church-Turing-Hypothese die Originalarbeiten des US-amerikanischen Mathematikers, Logikers und Philosophen A. Church (1932, 1936a, 1936b, 1937a, 1937b, 1941) sowie des britischen Logikers und Mathematikers Turing (1936, 1937). Mit diesen Arbeiten begründeten Church und Turing die theoretische Informatik. Entsprechend einer Verallgemeinerung der Church-Turing-Hypothese kann die universelle Turingmaschine nicht nur jede mathematische Maschine nachahmen, sondern auch sämtliche physisch-realen Prozesse, einschließlich menschlicher Denkprozesse, vgl. zu letzteren Turing (1950). Vgl. zur Funktionsweise der *Turingmaschine* M. Davis (1958), Newell/Simon (1976: 117), Benioff (1982: 178 ff.), Kim (1996: 80 ff.) sowie Hopcroft/Ullman (2000: 157 ff.). Es existieren zahlreiche Variationen der Turingmaschine, vgl. zu Modifikationen etwa Hopcroft/Ullman (2000: 170 ff.); eine wichtige Unterscheidung ist jene zwischen *deterministischen* und *indeterministischen* resp. *nichtdeterministischen Turingmaschinen*, vgl. hierzu etwa Du/Ko (2000: 7 ff., 14 ff.) sowie Hopcroft/Ullman (2000: 175). Diese Grundlagen der Informatik sind aus dem Grunde für die *Theorie komplexer Systeme* wesentlich, weil eine direkte Verbindung gegeben ist zwischen Turings universellem Computer und der insbesondere auf J. von Neumann (1951, 1966) zurückgehenden *Theorie zellulärer Automaten*. Die Automatentheorie ist wiederum Ausgangspunkt wichtiger Strömungen der Komplexitätsforschung, die etwa über Hollands (1962) *Adaptive Systeme* und Kauffmans (1969, 1993) *NK-Modell* zu intelligenten Agenten und damit wiederum zur agentenbasierten *Theorie komplexer adaptiver Systeme* (CAS) reicht.

²⁹⁷¹ Vgl. Jantsch (1980), Prigogine/Stengers (1984) sowie Prigogine (1997).

²⁹⁷² Vgl. Haken (1978).

²⁹⁷³ Vgl. Holland (1975, 1987, 1992, 1995a, 1995b, 1999), Gell-Mann (1992, 1994, 1995a, 1995b) sowie Schuster (2001).

²⁹⁷⁴ Vgl. zu weiteren Ansätzen P.W. Anderson (1994).

²⁹⁷⁵ Vgl. hierzu Mainzer (2005c, 2007a, 2007b).

²⁹⁷⁶ Das *Transdisziplinaritätskonzept* stammt ursprünglich von Jantsch (1970, 1972) und damit von einem prominenten Vertreter der Komplexitätsforschung; vgl. hierzu ferner D'Ambrosio et al. (1999), Mittelstraß (2002) sowie Nicolescu (2002, 2008). Maßgeblich ist hier von Anfang an das *Systemdenken*, das Jantsch (1972: 107) als »systems approach« mitunter in Anlehnung an Churchman (1968) entwickelt. An der Herausbildung des Transdisziplinaritätskonzepts beteiligt sind bezeichnenderweise daneben mit Piaget (1972) auch Vertreter des Strukturalismus; für Piaget (1972: 138 f.) ist der Transdisziplinaritätsbegriff entsprechend als »general theory of systems or structures« definiert. Damit wird deutlich, dass der Transdisziplinaritätsgedanke auf die *Komplexitätsforschung* wie auch auf die *Strukturwissenschaften* weist, vgl. zu letzteren B.-O. Küppers (2000). Wenn bereits C.F. von Weizsäcker (1974: 22 f.) die Informatik mit zu den Strukturwissenschaften zählt, und es sich bei der Komplexitätsforschung primär um

komplexe IoX-Systeme ermöglicht. Mit den all diesen Traditionen steht der Komplexitätsbegriff im Zeichen des Systembegriffs, wobei der hier interessierende Gedanke des *offenen Systems* erstmals explizit bei Bertalanffy (1940) konzipiert wird. In dieser Sache räumt Bertalanffy (1949a) selbst ein, dass sein System- und Komplexitätsdenken mit seiner Inspiration durch Whiteheads (1929a) systemische Prozessmetaphysik und Hartmanns (1912) Systemansatz wiederum aus der philosophischen Ontologie stammt. Somit besitzt das Denken in komplexen Systemen die gleiche Basis wie die *Top-level Ontologie* der Informatik; werden sie richtig konzipiert, gründet beides in der *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads, und ihre Ontologie läuft auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hinaus.

Zwar eignen sich verschiedene Komplexitätsbegriffe für *komplexe IoX-Systeme*, wie etwa in Detailfragen jener der Komplexitätstheorie, doch besteht vor allem in Bertalanffys Allgemeiner Systemtheorie eine geeignete, einfache Grundlage für die Definition des Komplexitätsbegriffs. Bei ihr handelt es sich um einen logico-mathematischen Ansatz,²⁹⁷⁷ der durch die *Mathesis universalis* Leibnizens inspiriert ist,²⁹⁷⁸ die bei diesem wiederum im Kontext der *Metaphysica* und *Scientia generalis* steht,²⁹⁷⁹ wobei hier wie da und auch in der Komplexitätsforschung insgesamt die Frage der *Einheit der Wissenschaften* einschließlich der Technologien im Mittelpunkt des Interesses steht.²⁹⁸⁰ Dabei geht es bei all diesen für die Informatik wie auch für die Ingenieurwissenschaften elementaren Strömungen um einen sämtliche Disziplinen transzendierenden Ansatz, um *Transdisziplinarität*.²⁹⁸¹ Diese gilt angefangen bei der Systemtheorie über die Strukturwissenschaften und Komplexitätsforschung bis hin zur Ontologie. Insofern verlangt auch jedes allgemeine Verständnis und jede allgemeine Beschreibung realer wie virtueller Strukturen nach einer *universalen* Ontologie, die im CPST-Hyperspace allein in der *Top-level Ontologie* gegeben sein kann.

Während Bertalanffys (1928a) erstmalige Verwendung des Systembegriffs im Zeichen Hartmanns (1912) steht, ist seine spätere Konzeption vor allem durch Whitehead (1929a) geprägt: Systeme sind bei Bertalanffy nichts weiter als »sets of elements standing in inter-relation«;²⁹⁸² sie bestehen also schlicht aus »parts ‘in interaction’«.²⁹⁸³ Der Komplexitätsbegriff wird dabei im Sinne Whiteheads direkt aus den Systeminteraktionen abgeleitet, wie es nicht nur der Automatentheorie, sondern auch dem *Internet of Everything* (IoX) entspricht. Allerdings gilt dabei mit Barabási (2003: 69): »Advances in many fields faced with

eine *Computerwissenschaft* handelt, vgl. Pagels (1988) sowie Casti (1997), schließt sich der Kreis. Dabei geht es insbesondere um Computereperimente und Computersimulationen, vgl. etwa Holland (1987), Wolfram (1988a) und Mainzer (1999b), mit denen das Systemverhalten komplexer Systeme erst umfassend in universaler Weise untersucht werden kann.

²⁹⁷⁷ Vgl. Bertalanffy (1968: 259).

²⁹⁷⁸ Vgl. Bertalanffy (1951b, 1957, 1968); vgl. zur *Mathesis universalis* auch Mainzer (1978).

²⁹⁷⁹ Vgl. hierzu Russell (1903).

²⁹⁸⁰ Vgl. hierzu Bertalanffy (1947, 1951b) sowie Mainzer (2000a).

²⁹⁸¹ Vgl. etwa Nicolescu (2002: 44): »As the prefix *trans* indicates, transdisciplinarity concerns that which is at once between the disciplines, across the different disciplines, and beyond all discipline. Its goal is the understanding of the present world, of which one of the imperatives is the unity of knowledge«.

²⁹⁸² Vgl. Bertalanffy (1968: 38).

²⁹⁸³ *Ibid.*, S. 19.

complex systems [...] are hindered by the limited understanding of the complex webs that characterize the interactions between the system's constituents«. Abhilfe können hier die mathematische Graphentheorie und andere Netzwerkanalysen schaffen.²⁹⁸⁴ Der Systemgedanke wird bei Bertalanffy (1968: 19) im organismischen Sinne Whiteheads mit *organisierter Komplexität* gleichgesetzt,²⁹⁸⁵ für die starke Wechselwirkungen der Elemente konstituierend sind. Demnach lässt sich ein *System* mit Bertalanffy wie folgt definieren:

»A system can be defined as a set of elements standing in interrelations. Interrelation means that elements, *p*, stand in relations, *R*, so that the behavior of an element *p* in *R* is different from its behavior in another relation, *R'*. If the behaviors in *R* and *R'* are not different, there is no interaction, and the elements behave independently with respect to the relations *R* and *R'*.«²⁹⁸⁶

Für die Systembeschreibung sind bei Bertalanffy (1968: 54) die Zahl der Elemente, ihre Art sowie die zwischen ihnen bestehenden Relationen grundlegend.²⁹⁸⁷ Bereits bei H.A. Simon (1962) findet sich eine ähnliche Auffassung von Komplexität, die im methodologischen Sinne durch führende Komplexitätsforscher wie Mainzer oder Haken geteilt wird.²⁹⁸⁸

»Roughly, by a complex system I mean one made up of a large number of parts that interact in a nonsimple way. In such systems, the whole is more than the sum of the parts, not in an ultimate, metaphysical sense, but in the important pragmatic sense that, given the properties of the parts and the laws of their interaction, it is not a trivial matter to infer the properties of the whole.«²⁹⁸⁹

Später stellt H.A. Simon auf das Systemverhalten im Wechselspiel seiner Elemente ab:

»[W]e can regard a system as complex if it can be analyzed into many components having relatively many relations among them, so that the behavior of each component depends on the behavior of others.«²⁹⁹⁰

Dabei besteht ein direkter Zusammenhang von Interaktion und Komplexitätsentstehung:

»[C]omplexity is not located at a specific, identifiable site in a system. Because complexity results from the interaction between the components of a system, complexity is manifested at the level of the system itself. There is neither something at a level below (a source), nor at a level above (a meta-description), capable of capturing the essence of complexity.«²⁹⁹¹

Daneben ist bei solchen Systemen das Moment der Selbstorganisation entscheidend:

»[A] system [...] is *complex*, in the sense that a great many independent agents are interacting with each other in a great many ways. [...] [T]he very richness of these interactions allows the system as a whole to undergo *spontaneous self-organization*.«²⁹⁹²

Bei der Herausbildung spontaner Ordnungen spielen nicht nur räumliche Aspekte eine Rolle; vielmehr sind es damit zusammenhängend vor allem zeitliche, indem mit Rescher (1987a: 48) gilt: »Even a system that is finitely complex both in its physical makeup and in its basic law structure might yet be infinitely complex in its actual operations over time«. In dieser Linie konstatiert Wolfram (1986a: 385): »Nature provides many examples of

²⁹⁸⁴ Barabási (2007: 41) postuliert dabei richtigerweise die notwendige Integration beider Forschungszweige.

²⁹⁸⁵ Bertalanffy (1968: 34) setzt diese explizit Weavers (1948) *unorganisierter Komplexität* der klassischen Wissenschaft entgegen.

²⁹⁸⁶ Bertalanffy (1968: 55 f.).

²⁹⁸⁷ Bar-Yam (1997: 5) konkretisiert diese Systembeschreibung *komplexer Systeme* zur Quantifizierung ihrer Eigenschaften anhand folgender Charakteristika noch weiter: Elemente (und ihre Anzahl), Interaktionen (und ihre Stärke), Anordnung resp. Operation (und ihre Dauer), Diversität resp. Variabilität, Systemumwelt (und ihre Anforderungen) sowie Aktivitäten (und ihre Ziele).

²⁹⁸⁸ Vgl. etwa Mainzer (1992a, 1994a, 1999b) und Haken (1996a).

²⁹⁸⁹ H.A. Simon (1962: 468).

²⁹⁹⁰ H.A. Simon (1995b: 26).

²⁹⁹¹ Cilliers (1998: 2 f.).

²⁹⁹² Waldrop (1992: 11).

systems whose basic components are simple, but whose overall behaviour is extremely complex«. Da es sich um ein *methodologisches* Komplexitätsverständnis handelt, lassen sich komplexe Systeme auf dieser Grundlage im transdisziplinären Sinne logico-mathematisch in universaler Weise behandeln.²⁹⁹³ Das heißt, dass gleichzeitig die ontische und epistemische Komplexität auf dieser Definition gründen kann. In den meisten Komplexitätsdefinitionen steht die komplexitätsinduzierende Interaktion der Teile wie das Entstehen komplexen Verhaltens auf Systemebene und damit das Beziehungsverhältnis zwischen Teil und Ganzem im Vordergrund.²⁹⁹⁴ Die Komplexität von IoX-Systemen ist damit als Systemeigenschaft zu verstehen, deren Grad von der Anzahl der Systemelemente, ihrer Art, ihrer möglichen Relationen sowie entsprechend aus der daraus letztlich resultierenden Zahl möglicher Systemzustände abhängt. Daraus ergibt sich mit der Varietät ein Komplexitätsmaß, das sich selbst nicht bei Bertalanffy, sondern erst später in der Kybernetik findet. Mit Beer (1979: 32) gilt: »The measure of complexity is called Variety. Variety is defined as the number of possible states of whatever it is whose complexity we want to measure«. ²⁹⁹⁵ Schließlich ist noch mit Blick auf die durch Bertalanffy (1968: 54) hervorgehobene Art der Systemelemente einzugehen, die entweder homogener oder heterogener Art zu sein vermögen. Hier besteht in den Reihen der Komplexitätsforschung wie unter Kybernetikern Uneinigkeit, ob die Systemkomplexität im Zuge der Interaktion *homogener* oder *heterogener* Elemente zunimmt. Teilweise wird dabei die Ansicht vertreten, man solle bei heterogenen Elementen von *komplizierten Systemen* sprechen, wohingegen sich *komplexe Systeme* durch homogene Elemente auszeichneten.²⁹⁹⁶ Eine solche Position erscheint indessen wenig sinnvoll, insbesondere insofern nicht, wenn bei Kybernetikern die Varietät das Komplexitätsmaß darstellt. Tatsächlich hängt eine hohe Komplexität dann nicht nur von der großen Zahl an Verbindungen und Interaktionen ab, sondern genauso von der Heterogenität der Elemente.²⁹⁹⁷ Denn dadurch erhöht sich die Zahl möglicher Systemzustände. Nicht zuletzt ist die Heterogenität der Elemente im Sinne von Schaltzuständen zu sehen, wobei der einfachste Schaltzustand der Elemente der binäre ist, wie er in Booleschen Netzwerken als Binärsystem gegeben ist. In der Komplexitätsforschung repräsentiert die ursprüngliche Variante von Kauffmans (1969, 1993) NK-Modell eine formale Darstellung der Genregulation, bei der die Zustände 0 und 1 inaktive und aktive Gene bezeichnen.

²⁹⁹³ Vgl. etwa Wolfram (1988a), Mainzer (1992a, 1994a, 1999b, 2007a) sowie Haken (1996a).

²⁹⁹⁴ Bspw. stellt Richardson (2005: 619) auf die Interaktion ab, wenn er feststellt: »A complex system is comprised of a large number of non-linearly interacting non-decomposable elements«. Demgegenüber steht bei Kauffman (1995a: vii f.) die Beziehung zwischen Teil und Ganzem im Vordergrund: »[T]he complex whole may exhibit properties that are not readily explained by understanding the parts. The complex whole, in a completely nonmystical sense, can often exhibit collective properties, "emergent" features that are lawful in their own right«. Ähnlich gilt dies für Bar-Yam (1997: 1), wo es heißt: »Qualitatively, to understand the behavior of a complex system we must understand not only the behavior of the parts but how they act together to form the behavior of the whole. It is because we cannot describe the whole without describing each part, and because each part must be described in relation to other parts, that complex systems are difficult to understand«.

²⁹⁹⁵ Ohne Hvh. des Orig.

²⁹⁹⁶ Vgl. etwa Klaus/Liebscher (1976: 314).

²⁹⁹⁷ Vgl. auch Ashby (1958), insbes. p. 95.

Boolesche Regeln geben dabei an, in welcher Weise sich die verschiedenen Gene aktivieren und deaktivieren können. Kauffmans *Complex Switching Circuits* gehen auf den durch J. von Neumann (1951) im Rahmen der Automatentheorie entwickelten Whiteheadschen Gedanken des *Switching Organ* sowie der aus der Booleschen (1854) mathematischen Logik hervorgegangenen *Switching Circuits* Shannons (1938) zurück. Bei der Heterogenität der Elemente zählt jenseits binärer Logik insgesamt die Vielfalt an Verhaltensmöglichkeiten. Aus dieser können wiederum veränderliche Wirkungsverläufe zwischen den Elementen folgen, so dass die insgesamt resultierende Zahl möglicher Systemzustände und damit die Komplexität des Systems zunimmt.

Die *Theorie komplexer Systeme* umfasst zwar höchst heterogene Ansätze; im Grunde lassen sie sich jedoch in zwei große Gruppen unterteilen: zum einen jene, bei denen die Ansätze *komplexer Systeme* faktisch primär auf naturwissenschaftlicher Forschung basieren. Es handelt sich dabei um naturwissenschaftliche Theorien, die mathematisch-strukturalistisch in einer Weise erfasst sind, die universale Gültigkeit beanspruchen kann. Bzgl. dieser ersten Gruppe lässt sich insbesondere Prigogines *Theorie dissipativer Strukturen*, Hakens Lehre von der *Synergetik* oder Eigens *Hyperzyklen* ins Feld führen. Dabei handelt es sich um Ansätze, die in der physikalischen Chemie (Prigogine), in der Laserphysik (Haken) oder in der biophysikalischen Chemie (Eigen) ihren Ursprung besitzen. In der Tat sind diese Theorien als weitgehend universal zu erachten, doch sollte dies nicht über ihren eigentlich naturwissenschaftlichen Status hinwegtäuschen. Inwiefern eine *Theorie komplexer Systeme* tatsächlich universal ist, hängt jenseits der universalen mathematischen Basis schließlich nicht zuletzt vom "Urstoff" ab, auf den sie fixiert ist. Wenn etwa die Synergetik darauf abstellt, dass Materie im Zuge der Selbstorganisation die Fähigkeit zur Selbststrukturierung besitzt,²⁹⁹⁸ wird dies genauso deutlich wie bei Prigogines *Theorie dissipativer Strukturen*, die alle drei relevante physikalische Größen adressiert. Tatsächlich universal ist jedoch nur eine, nämlich die *Information*. Vor diesem Hintergrund ist eine solche von einer Einzeldisziplin ausgehende Universalisierung ungeachtet des Rückgriffs auf die Mathematik nicht unproblematisch. Analoges gilt für die Übertragung naturwissenschaftlicher Konzepte über ein darauf gründendes universalisiertes Evolutionsverständnis und Evolutionsbegriffs in andere Sphären einschließlich der Sozialwissenschaften, wie sie durch Teile der Komplexitätsforschung praktiziert wird.²⁹⁹⁹ Vor dem Hintergrund der Whiteheadschen techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik muss eine solche Praxis der Komplexitätsforschung insgesamt betrachtet als suboptimal erscheinen. Natürlich sind all diese ursprünglich aus den Naturwissenschaften kommenden Ansätze alles andere als irrelevant. Unter *empirischen* Aspekten sind sie geradezu elementar; indessen verlangen komplexe Systeme letztlich nach einem *ratio-empirischen* Aufschluss, indem Strukturwissenschaften und Komplexitätsforschung zusammenfallen. Zentral ist also der Aspekt der Universalisie-

²⁹⁹⁸ Vgl. Haken/Wunderlin (1991).

²⁹⁹⁹ Vgl. P.M. Allen (1981), insbes. p. 25.

nung: Dabei erweisen sich Ansätze mit naturwissenschaftlichem Ursprung mit Verweis auf Pkt. 1.2 insofern als *quer-* und nicht als *transdisziplinär*, indem sie nicht von einer universalen Basis starten; denn diese lässt sich allein durch eine Klasse-4-Metaphysik stellen.

Komplexe Systeme werden im Zuge solcher Übertragungen universal verstanden als »carriers, or even 'power relays,' of evolution«.³⁰⁰⁰ Selbstorganisation, Evolution, Zeitlichkeit oder die Offenheit von Systemen werden als Brückenkonzepte zwischen den Natur- und Sozialwissenschaften konzipiert und gehandhabt. Erst auf dieser fundierenden Grundlage einheitlich vorausgesetzter metaphysischer Dispositionen lassen sich Konzepte wie Prigogines Prozesse dissipativer Strukturbildung oder Hakens Ordnungsparameter überhaupt von der Sphäre der *res extensa* auf die Sphäre der *res cogitans* übertragen. Doch stehen solche Konzepte mit E. Weizsäcker (1989: 22) »in der Gefahr, bei einer primitiven Übertragung in die Sozialwissenschaft mehr Unheil anzurichten als Nutzen zu stiften«. Für die Diskussion des einheitlichen Evolutionsverständnisses wird daher die Komplexitätstheoretische Auseinandersetzung mit der Selbstorganisation essentiell. Die Auseinandersetzung der Komplexitätsforschung mit dem Selbstorganisationsmechanismus bezieht sich selbstredend immer auch auf jenen sozialer Systeme.³⁰⁰¹ Wenn die Komplexitätsforschung die Rechtfertigung ihres universalen Anspruchs mitunter daran festmacht,³⁰⁰² dass methodologische Prinzipien wie die Irreversibilität von Evolutionsprozessen in allen Sphären von prinzipiell einheitlicher Gestalt seien,³⁰⁰³ dann hat dies offensichtlich zuvorderst kosmologische Ursachen. Insofern wird deutlich, dass alle Fragen zu einem universalen Evolutionsverständnis in das Aufgabengebiet der darauf spezialisierten Metaphysik fallen.

So gesehen schneidet in dieser naturwissenschaftlich motivierten Gruppe von Komplexitätsforschern schließlich Bertalanffy am besten ab, wenngleich dieser nur bedingt zu ihr gerechnet werden kann. Zwar finden sich Momente komplexer Systeme wie der Komplexitäts- und Emergenzaspekt etwa mit der Frage der *Entstehung von Ordnungsstrukturen* auf makroskopischer Ebene oder die Entstehung von Neuem bereits bei Bertalanffy (1968), doch zeigen sie sich hier noch nicht im Einzelnen konzeptionell ausgearbeitet. Bertalanffys Systemkonzept wird im Zuge der Nichtgleichgewichtsthermodynamik durch Komplexitätsforscher wie Prigogine oder Haken erweitert und spezifiziert; hier ist auf Aspekte wie *Nichtgleichgewichtigkeit*, *Nichtlinearität* oder *deterministisches Chaos* zu verweisen.³⁰⁰⁴ Zwar gibt es Parallelen zwischen Bertalanffys (1953) Fließgleichgewichten und den Forschungen Prigogines, doch ist für das universale Moment Bertalanffys etwas anderes entscheidend, nämlich sein enger Rekurs auf Leibniz, Whitehead und Hartmann. Hartmanns

³⁰⁰⁰ Vgl. Jantsch (1981a: 1).

³⁰⁰¹ Vgl. Prigogine/Allen (1982: 5 ff.).

³⁰⁰² Vgl. dazu etwa P.M. Allen (1985: 268): »The fundamental question arises as to how 'choice,' and 'freedom,' and therefore decision can possibly arise in a physical system, or is it necessary to suppose simply that there is a basic separation between the living and the non-living? The new ideas emerging from the study of non-equilibrium physical systems show us that such a separation is not necessary and indicate, furthermore, precisely how this 'freedom' can occur, even in relatively simple chemical systems«.

³⁰⁰³ Vgl. exemplarisch Prigogine (1981b: 73).

³⁰⁰⁴ Vgl. hierzu etwa Prigogine (1993b).

und Whiteheads prozessuale Systemkonzepte werden mitsamt des Strukturalismus bzw. der logico-mathematischen Position Whitehead/Russells zur Überwindung des Cartesischen Dualismus in der Folge durch Bertalanffy aus der Philosophie übernommen, um sie in vereinfachter Form der *Allgemeinen Systemtheorie* für die Wissenschaften nutzbar zu machen.^{3005, 3006, 3007, 3008} Auf diese Leibniz-Whiteheadsche Grundlage wird durch Bertalanffy (1940) der Gedanke *offener Systeme* wie die später so genannte *Biophysik des Fließgleichgewichts* entwickelt,³⁰⁰⁹ das in der Thermodynamik ein Gleichgewicht mit Entropieproduktion bezeichnet.^{3010, 3011} Neben dieser entsteht von den gleichen metaphysischen Grundlagen

³⁰⁰⁵ Vgl. zu diesen Ursprüngen Bertalanffy (1951a: 242; 1968: 208; 1970: 115; 1972a).

³⁰⁰⁶ Eine ähnliche *Systemtheorie* wird schon zuvor als "*Tektology*" durch den russischen Universalgelehrten A. Bogdanov entwickelt, vgl. hierzu Gorelik (1975), Zeleny (1985: 314 f.) sowie Capra (1996: 43 ff.).

³⁰⁰⁷ Es steht außer Frage, dass solche Übernahmen von Konzepten aus der Philosophie (Systeme mitsamt Prozessen, Selbstorganisation, Evolution usf.; Ontologien und Kategorien; epistemologische und methodologische Aspekte etc.) in die Wissenschaften und Technologien nicht als einmaliger Akt misszuverstehen sind. Vielmehr sind sie im Sinne des Whiteheadschen (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« zirkulär, als permanente Reflexion zu verstehen.

³⁰⁰⁸ Es wird bislang übersehen, wie stark Bertalanffy der Tradition von Whiteheads (1920, 1925, 1929a) organismischer bzw. systemischer Prozessmetaphysik verhaftet ist, was somit analog für den wiederum auf Bertalanffy aufbauenden CAS-Gedanken gilt. Bertalanffy (1968: 220) lehnt den *Cartesischen Dualismus* als »incorrect both in the light of direct phenomenological experience and of modern research in various fields« ab; für ihn gilt: diese »conceptualization stemming from 17th-century physics which, even though still prevailing in modern debates [...], is obsolete«. Dabei findet sich diese Zurückweisung im Ganzen bei Whitehead, genauso wie die dazu entwickelte Alternative: Denn diese ist auf Basis des Strukturalismus bzw. der logico-mathematischen Position Whitehead/Russells zu vollziehen, was bei Bertalanffy (1968: 259) entsprechend übernommen wird: »'General System Theory' [...] is a logico-mathematical field whose task is the formulation and derivation of those general principles that are applicable to 'systems' in general«. Es ist offensichtlich, dass es sich dabei um die von Whitehead übernommene (jedoch unzureichend als solche gekennzeichnete) Position handelt. Allerdings zeigt sie sich für die Zwecke von Wissenschaft und Technopraxis letztlich als ungenügend übersetzt, was erst im CPS-orientierten AI-Kontext vollends deutlich wird. Richtig übersetzt ist sie, wenn sie um den CAS-, MAS-, CEP- und CPS-Gedanken ergänzt wird, was sich alles bei Bertalanffy nicht findet. Indessen ist sowohl dies als auch gerade die damit zusammenhängende Überwindung der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* in Form des *Subjekt-Superjekts* sowie der Übergang vom *Sein zum Werden* für die sachgerechte Interpretation des Whiteheadschen Werks wie für eine metaphysische Fundierung insgesamt elementar. Darüber hinaus gilt die Kritik der Systemtheorie Bunges; an ihre Stelle hat die Bungesche *emergentistisch-systemische* Sichtweise zu treten, die ebenfalls dem Whiteheadschen Werk inhärent ist. Hinzu kommt, dass das evolutive Moment, das Sein als "Werden", die Entstehung emergenter Ordnungen mitsamt der Herausbildung des Neuen bei Bertalanffy im Vergleich zu Whitehead deutlich zu kurz kommen. Wenn es bei Bertalanffy um *Evolution* geht, dann um *Evolution der biologischen Organismenwelt*, wobei eine Verbindung zur *Allgemeinen Systemtheorie* allerdings fehlt, vgl. etwa Bertalanffy (1955a). Selbst in dieser rein biologischen Perspektive steht für Bertalanffy nicht die Evolution als solche im Vordergrund, sondern die sehr viel spezifischere Frage des *Wachstums*, vgl. hierzu bereits Bertalanffy (1934, 1938). Entsprechend liegt Bertalanffys (1928a) Fokus vielmehr von Beginn an vorrangig auf den zwischen den Systemelementen ablaufenden Wechselwirkungsprozessen. Diese Fokussierung der Allgemeinen Systemtheorie besitzt ihren Ursprung in Bertalanffys Kritik und Ablehnung des *Vitalismus*; indem dieser gerade nicht auf das *Zusammenspiel von Interaktion und Ordnung* abstellt, manifestiert sich gerade hierin die zentrale Programmatik bei Bertalanffy (1937: 11), vgl. hierzu auch Bertalanffy (1975: 101). Die Fokussierung seines Systemansatzes ist also im Zeichen der durch Bertalanffy (1928a) konstatierten *Krise der Biologie* zu sehen, die sich durch die elementaren Unzulänglichkeiten von Vitalismus wie Mechanistik konstituiert.

³⁰⁰⁹ Der Gedanke offener Systeme ist so zentral, dass die *Allgemeine Systemtheorie* (General Systems Theory) auch unter der Bezeichnung *Theory of Open Systems* firmiert.

³⁰¹⁰ Vgl. zur *Biophysik des Fließgleichgewichts* im Einzelnen Bertalanffy (1953).

³⁰¹¹ Allerdings findet sich in der Biophysik bereits ein ähnliches Konzept zuvor in Gestalt des "*steady state*", vgl. etwa Hill (1931: 55 ff.).

ausgehend mit Wiener (1948) die Kybernetik,³⁰¹² in der *Selbstregulation* im Sinne von Regelkreisen gedacht wird, womit sich eine Reihe technologischer Anwendungsmöglichkeiten eröffnet. Neben der Steuerungs- und Regelungstechnik gehört dazu insbesondere die Informatik. Für Bertalanffy ist insbesondere Leibnizens Gedanke der *Mathesis universalis* wesentlich.³⁰¹³ Wenn das *mathematische* Kategorienschema Quines aus *Partikeln bzw. Elementen* und *Mengen* besteht, wird mit Bertalanffy (1968) deutlich, wie stark die Verwandtschaft zwischen komplexen Systemen und der Ontologie ist. Systeme sind für Bertalanffy (1968: 38) nichts anderes als »sets of elements standing in interrelation«. Systeme werden auch bei Van Gigch (1991) nicht anders verstanden: »A system is an assembly or set of related elements«. ³⁰¹⁴

Damit kommen wir zur zweiten Gruppe, deren Ursprung nicht in der naturwissenschaftlichen bzw. damit verknüpften mathematischen Forschung liegt, sondern in letzter Konsequenz vielmehr im Leibnizschen Automatenuniversum. Diese zweite Theorien-Gruppe der Komplexitätsforschung umfasst alle logico-mathematischen Ansätze, die im Kern tatsächlich universal sind, indem sie am "Urstoff" der *Information* festmachen. Neben Leibniz liegt ihr Ursprung vor allem bei Russell und Whitehead, die Leibnizens Ideen aufgreifen und mit jenen von Boole zusammenbringen. Was Leibniz und Boole bereits vorwegnehmen, bringen Russell und Whitehead zu Ende, indem sie die Ontologisierung der Booleschen Logik vollziehen. Das, was Wheelers (1990: 5) "*It from bit*" in der Quantenphysik ausmacht, hat hier seinen Ursprung. Damit vollzieht sich die Universalisierung genau umgekehrt von der logico-mathematischen Digitalmetaphysik zur Physik und allen anderen Disziplinen – und nur auf diese Weise ist echte Transdisziplinarität zu realisieren.

Die CAS-Forschung geht ganz wesentlich auf die durch Holland (1987) bzw. Gell-Mann (1992, 1995a) skizzierte Forschungsprogrammatische des *Santa Fe Institute* (SFI) zurück.³⁰¹⁵ Allerdings sind – entgegen landläufiger Auffassungen – sowohl der Begriff des *Complex Adaptive Systems* (CAS) als auch sämtliche inhaltlichen Überlegungen ungleich älter. Auf Grundlage der SFI-Programmatische neu ist allein, dass sie systematisch auf Basis von Computersimulationen und -experimenten analysiert werden. Indessen findet sich der CAS-Begriff *explizit* bereits bei Buckley (1968);³⁰¹⁶ in Fragmenten wird er jedoch schon in den 1950er Jahren bemüht, was seine inhaltliche Herkunft und Bewandnis indiziert: metaphysischer Logizismus im Sinne der mathematischen Logik, universaler Systemgedanke und Komplexität. Damit findet er sich *implizit*, nämlich in seinen Bestandteilen bereits bei Whitehead (1929a). Newells (1955) Schachautomaten illustrieren, wie er davon ausgehend

³⁰¹² Diese besitzt wiederum in J.C. Maxwell (1868) einen wichtigen Vorläufer, indem dieser bereits das Zusammenwirken von Regler und Regelstrecke mit Hilfe von Differentialgleichungen untersucht.

³⁰¹³ Locker (1973: 538) sucht darüber hinaus die Interdependenz aller Teile und dem Ganzen bei der *Allgemeinen Systemtheorie* auf die *Monadologie* Leibnizens zurückzuführen.

³⁰¹⁴ Vgl. Van Gigch (1991: 30); vgl. ähnlich Bertalanffy (1949b) sowie Hall/Fagen (1956).

³⁰¹⁵ Vgl. hierzu P.W. Anderson (1992); vgl. ferner Gell-Mann (1988) sowie die im gleichen Sammelband erschienenen zahlreichen Beiträge. Vgl. ergänzend Cowan (1995) sowie L.S. King (2004).

³⁰¹⁶ Buckley (1968) nähert sich der Thematik ausgehend von der Kybernetik und der Informationstheorie.

in den 1950er Jahren auf die AI-Ebene gebracht wird, indem diese Automaten ihre Arbeit im Zeichen eines "Complex Task by Adaptation" verrichten. Indessen stellt bereits Boole (1854) auf die Adaptionfähigkeit von Systemen ab.³⁰¹⁷ Newells (1955) Ausführungen gehen auf konzeptionelle Überlegungen Shannons (1950) zurück, diese wiederum auf die Spieltheorie Neumann/Morgensterns (1944), die bereits die rationale, adaptierende Interaktion von Agenten zum Gegenstand hat. Neben den weiter unten behandelten Systemgesichtspunkten Bertalanffys (1940) und Wieners (1948) bestehen konkrete Vorläufer des CAS-Gedankens daneben in Weavers (1948) im Systemkontext adressierter Komplexität, in Hollands (1962) "*adaptive systems*", in H.A. Simons (1962) "*adaptive systems*" bzw. "*complex systems*", oder in Minskys (1961) "*learning systems*".

Um die im ontologischen Zusammenhang bestehende Notwendigkeit einer metaphysischen CAS-Fundierung sowie die CAS-Mittlerfunktion techno-wissenschaftlicher Metaphysik im Wechselspiel von Metaphysik, Wissenschaft und Technopraxis zu verstehen, bleibt daneben auf den Ursprung der inhaltlichen CAS-Überlegungen abzustellen. Die zentrale Frage besteht darin, warum und inwiefern sich CAS universal anwenden lassen, und wie sie im Sinne einer CPSS-adäquaten integrierten metaphysischen Wissensontologie auf ein einheitliches ontologisches Fundament gebracht werden können. Eine metaphysische bzw. kosmologische Perspektive ist dabei schon deshalb angezeigt, weil sich der CAS-Gedanke auf Basis zellulärer Automaten auch in Zuses (1982) *Computing Universe* findet. Die Antwort auf diese Fragen ist einfach, denn sie weist erneut auf Leibnizens *Metaphysica* zurück, in der der CPS-bezogene Fixpunkt der Automatentheorie wie im Verbund des gesamten Leibnizprogramms das Ursprungsparadigma der Informatik auszumachen ist. Wesentlich sind Leibnizens (1714a) *Monad*en als prozessuale wie selbstorganisatorische Elemente des Automatenuniversums. Davon ausgehend wird bei Kant (1790) oder Schelling (1798, 1799) die Idee kosmologischer *Selbstorganisation* weiterentwickelt.³⁰¹⁸ Damit werden die Grundlagen durch die Philosophie gelegt, während in den Wissenschaften die Adaption- und Evolutionsthematik erst mit Darwin (1859) in rudimentärer Weise beginnt. Diese orientiert sich in ihren biologischen Adaptionprozessen wiederum an den Populationsüberlegungen bei Malthus.³⁰¹⁹ Solche Adaptionprozesse werden mit Blick auf genotypische *Fitnesslandschaften* detailliert durch den Populationsgenetiker S. Wright (1932, 1949) bzw. im Zeichen phänotypischer "*adaptive landscapes*" durch den

³⁰¹⁷ Vgl. Boole (1854: 311): »What I mean by the constitution of a system is the aggregate of those causes and tendencies which produce its observed character, when operating, without interference, under those conditions to which the system is conceived to be adapted. Our judgment of such adaptation must be founded upon a study of the circumstances in which the system attains its freest action, produces its most harmonious results, or fulfils in some other way the apparent design of its construction«.

³⁰¹⁸ Kant (1790) differenziert auf dieser Basis auch bereits zwischen *organismischer und mechanistischer Weltauffassung*; letztere besitzt für ihn keine "*in sich bildende Kraft*", sondern "*lediglich bewegende Kraft*". Für Schelling (1799) besteht das Wesen des Kosmos in der *Selbstorganisation des Lebens*, mithin in der *Selbstorganisation der Natur*, die für ihn ihr oberstes Prinzip markiert.

³⁰¹⁹ Vgl. hierzu Herbert (1971), G. Jones (1980) sowie Popper (1994a: 12 f.).

Paläontologen G. Simpson (1944) untersucht.³⁰²⁰ Im Zuge Boolescher NK-Netze wird nicht nur in der Komplexitätsforschung, sondern genauso im Rahmen der AI- und AL-Forschung auf diese und verwandte Konzepte Bezug genommen. Indem sich solche Adaptions- und Evolutionsprozesse nicht nur in allen Disziplinen, sondern im Kosmos insgesamt gegeben finden, sind sie entsprechend universal auszulegen. Das für die *Einheit der Erkenntnis* wie für die KR-relevante *Einheit des Wissens* erforderliche metaphysische Fundament wird dabei siebzig Jahre nach Darwin durch die organismische bzw. systemische Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) besorgt, der Clayton (2006a: 6) zu Recht bescheinigt, dass es sich bei ihr um »a rigorous metaphysical system of 'emergent evolution'« handelt. Whitehead vollzieht die Synthese, und baut dabei nicht nur auf Leibniz, sondern auch auf N. Hartmann (1912) auf, der die Systemsichtweise bereits mit strukturalistischen formbildenden Prozessen zusammenbringt.³⁰²¹ N. Hartmann (1912) stellt dabei auch bereits explizit auf die *"Selbstregulation"* ab.³⁰²² Indessen ist es der Whiteheadschen (1929a) Synthese vorbehalten, dies dezidiert auf komplexe Systeme und ihre Prozesse zu beziehen und somit das abstrakt gefasste Komplexitätsparadigma mit Poser (2005) zu begründen. Dabei ist die Prozessmetaphysik aus dem Grunde gerade auch für biologische Adaptionsprozesse von Relevanz, als Schrödingers (1944) Frage *What is Life?* durch Neumann (1966) bzw. Langton (1992b) im Sinne Whiteheads dahingehend beantwortet wird, dass alles Leben als *Prozess* zu verstehen ist.³⁰²³

CPS erfordern nach Maßgabe der integrierten metaphysischen Wissensontologie mit den zu integrierenden physisch-realen wie virtuellen Cyberwelten ein universales Verständnis von "Leben".³⁰²⁴ Alles "Leben" im aktiven Universum definiert sich universal über selbstreproduzierende autonome Automaten.³⁰²⁵ Indem solche Automaten in biologischen Zellen genauso gegeben sind wie bei Schachspielern oder bei *Smart Objects* in IoX-Umgebungen, weichen auch die CAS-Konzeptionen nicht unwesentlich voneinander ab. Denn im *Computing Universe* sind selbst Eigens und Prigogines "intelligente" Moleküle sowie Prigogines "Wählen" an den Kontingenzenpunkten mit zu berücksichtigen. Insofern ist auch eine umfassende Differenzierung von Automatenklassen vorzunehmen. Der Physiknobelpreisträger Gell-Mann (1995a) weist entsprechend auf die Unterschiede seines CAS-Verständnisses zu jenem des Informatikers J. Holland hin. Dennoch sind die Grundprinzipien die gleichen, womit insgesamt wiederum eine einheitliche metaphysische Fundierung an-

³⁰²⁰ Von *"fitness landscapes"*, von denen etwa bei Kauffman (1989a, 1995a) die Rede ist, spricht S. Wright (1932) noch nicht; allerdings wird hier ihr Konzept vollständig ausgearbeitet, vgl. hierzu im Einzelnen auch S. Wright (1988).

³⁰²¹ In seinen Grundzügen geht der Systemgedanke bereits auf Aristoteles zurück. Entsprechend ist Bertalanffy (1972a: 18) zuzustimmen, »daß die Idee des Systems in gewissem Sinne so alt ist wie die abendländische Philosophie«.

³⁰²² Vgl. N. Hartmann (1912: 93).

³⁰²³ Dabei versteht Neumann (1966) Leben noch als *physischen* Prozess, während Langton (1992b) in der AL-Forschung Leben als *digitalen* Prozess konzipiert. Es bedarf also einer CPSS-adäquaten Metaphysik.

³⁰²⁴ Vgl. Ruiz-Mirazo/Moreno (2011), Ruiz-Mirazo et al. (2004) sowie ergänzend Ruiz-Mirazo et al. (1998).

³⁰²⁵ Vgl. Ruiz-Mirazo et al. (2004); vgl. ergänzend Ruiz-Mirazo/Moreno (2004).

zustreben ist. Entwicklungsprozesse komplexer Systeme sind Folge unvorhergesehener Ereignisse und laufen allgemein in Richtung höherer Komplexität.³⁰²⁶ Ohne Zufall und Einfall gibt es keine Veränderung und Innovation; damit besteht im Zufall auch der Katalysator für Kreativität und es lässt sich vom *kreativen Zufall* sprechen.³⁰²⁷ Ontologisch setzt der kreative Zufall eine *Ereignisontologie* voraus, indem sich Zufälle mit Mainzer (2008b: 134) auf *Ereignisse* beziehen, und zwar auf solche, die ohne Grund eintreten oder deren Gründe unbekannt sind. Objekte sind also auch in dieser Hinsicht gegenüber Ereignissen nachrangig, während sie gewiss nicht unwesentlich sind. Insofern wird offensichtlich, dass Zufall etwas mit der Unvollständigkeit des Wissens zu tun hat,³⁰²⁸ womit die Annahme begrenzter Rationalität für alle Automaten- bzw. Agentenklassen vorauszusetzen ist.³⁰²⁹ Indem Ontologien Wissen repräsentieren, wird die elementare Bedeutung, die Ontologien für die Adaptionzwecke von Agenten besitzen, vollends greifbar.

Für die CAS-Klasse komplexer Systeme ist kennzeichnend, dass sie ein besonderes interaktives Adaptionsvermögen bzgl. ihrer Umwelt besitzt, was sich in spezifischen internen "Programmen" spiegelt, von denen auch Evolutionsbiologen wie Mayr (1992) sprechen. Damit verbunden halten Holland/Miller (1991) folgende CAS-Aspekte für konstituierend:

»[A CAS] is *complex* in a special sense: (i) It consists of a network of interacting agents (processes, elements); (ii) it exhibits a dynamic, aggregate behavior that emerges from the individual activities of the agents; and (iii) its aggregate behavior can be described without a detailed knowledge of the behavior of the individual agents. [...] A complex adaptive system [...] is a complex system containing adaptive agents, networked so that the environment of each adaptive agent includes other agents in the system.«^{3030, 3031}

Das CAS-Adaptionsvermögen geht – zumindest bei intelligenten Systemen – mit der Fähigkeit einher, auf Erfahrungsgrundlage zu lernen, womit sich eine höhere Fitness bzw. Performanz realisieren lässt. Agenten ändern ihr Entscheidungsverhalten auf Grundlage von Erfahrung.³⁰³² Damit folgt aus dem Lernmoment die Wesentlichkeit der *Induktion*, um die es schon mit Pkt. 1 im Zuge des *Frame Problem* ging.³⁰³³ Insgesamt kommt somit dem Prozess des Lernens zentrale Bedeutung zu: »In a world of change [...] what we need is knowledge about the process of learning«.³⁰³⁴ Agenten besitzen interne Modelle resp. Schemata, die Grundlage für ihre Antizipation sind und ihr Verhalten in regelbasierter Weise steuern: »An internal model can be thought of, roughly, as a set of rules that enables an agent to anticipate the consequences of its actions«.³⁰³⁵ Dennoch ist Holland (1995a: 45)

³⁰²⁶ Vgl. Poser (2006: 968).

³⁰²⁷ Vgl. Mainzer (2007c: 10).

³⁰²⁸ Vgl. Mainzer (2008b: 134).

³⁰²⁹ Vgl. hierzu auch Mainzer (2007c: 215 f.).

³⁰³⁰ Holland/Miller (1991: 365).

³⁰³¹ Vgl. hierzu auch Holland (1995a: 45): »All CAS consist of large numbers of components, *agents*, that incessantly interact with each other«, sowie Holland (1995b: 5): »The task of formulating theory for *cas* is more than usually difficult because the behavior of a whole *cas* is more than a simple sum of the behaviors of its parts; *cas* abound in nonlinearities [...]«.

³⁰³² Vgl. Holland (1999: 59).

³⁰³³ Vgl. Holland et al. (1986).

³⁰³⁴ Vgl. P.M. Allen (2001a: 41).

³⁰³⁵ Vgl. Holland (1995a: 46).

überzeugt, »that there are general principles that govern all CAS [complex adaptive systems, A.d.V.] behavior, principles that point to ways of solving the attendant problems«. Wenn es um interne Programme zur Adaption geht, ist tatsächlich der Gedanke nicht von der Hand zu weisen, dass sich diese durch Lernen verbessern lassen: »[CAS] are systems that have a large numbers of components, often called agents, that interact and adapt or learn«. ³⁰³⁶ Somit hat der CAS-Gedanke die Induktion und darauf aufsetzend Prozesse der Inferenz, des Lernens sowie der Wissensentdeckung zur Konsequenz. ³⁰³⁷

Das Referenzszenario der *Closed-loop U-PLM-Systeme* setzt ebenfalls *Complex Adaptive Systems* (CAS) voraus. Das gilt in vielfältiger Hinsicht, etwa bzgl. ihrer vernetzten IoX-Strukturen oder aber mit Pkt. 2.5 in Bezug auf Abhängigkeitsbeziehungen in PPR-Datenmodellen. Das betrifft bzgl. PPS-Systemen etwa die Relationalität von PPR-Stammdaten wie Stücklisten (Produktdimension), Arbeitsplänen (Prozessdimension) oder Ressourcenlisten mitsamt Kapazitätsdaten (Ressourcendimension). In der Materialwirtschaft gilt analoges etwa für Artikel- oder Teilestammdaten; bei Produktkonfiguratoren betrifft es Produktmerkmale inklusive Merkmalsbeziehungen und zulässigen Merkmalskombinationen. Mit Blick auf die Transaktionsorientierung von ERP-Systemen gilt dies in gleicher Weise für komplexe Abhängigkeitsbeziehungen bei Bewegungsdaten, etwa bzgl. von Bestandsveränderungen; schließlich drittens auch die Kombinationen von Stamm- und Bewegungsdaten, etwa zur Berechnung verfügbarer Kapazitäten. Neben dem vernetzten IoX-Strukturasspekt und der Relationalität von Datenstrukturen ist der Komplexitätsaspekt im Referenzszenario genauso hinsichtlich des MAS-Gedankens relevant; dabei ist dieser universal für alle Agentenklassen voraussetzbar. Auch Innovationsnetzwerke heterogener Agenten verkörpern einen solchen CAS-Aspekt. ³⁰³⁸ Dieser ist mit Pkt. 1.5.3 jedoch vor allem auch in der Hinsicht gegeben, als es bei *U-PLM-Systemen* um prozessuale Wissenssysteme geht. Mitunter lassen sich diese mit Bibel (2007) als *Wissenssysteme zur Komplexitätsbewältigung* verstehen. ³⁰³⁹ Dann geht es mit formalen Ontologien zur Wissensrepräsentation (KR) schließlich um AI-Agenten, die ihrerseits im CAS-Konnex stehen. ³⁰⁴⁰ Solche autonomen Agenten sind für alle Prozesstypen in *U-PLM-Systemen* in ihrer Eigenart als komplexe Systeme von Relevanz, indem diese eigenständige Aufgaben zur Unterstützung übernehmen. ³⁰⁴¹ CAS-Agentensysteme bauen auf Bertalanffys Gedanken offener Systeme auf, ³⁰⁴² nutzen Ontologien zur Wissensteilung, ³⁰⁴³ die auch hier ihre Referenzebene in *Top-level Ontologien* finden, ³⁰⁴⁴ und basieren technisch gegenwärtig auf für U-PLM-Sys-

³⁰³⁶ Vgl. Holland (2006: 1).

³⁰³⁷ Vgl. etwa Holland et al. (1986).

³⁰³⁸ Vgl. hierzu etwa Long/Li (2014).

³⁰³⁹ Vgl. auch Feldhusen/Gebhardt (2008: 20).

³⁰⁴⁰ Vgl. hierzu Poole/Mackworth (2010: 11 ff.); vgl. hierzu auch De Luca/Quattrociochi (2008) oder Paraiso/Malucelli (2011).

³⁰⁴¹ Vgl. hierzu etwa Kauffman (2004).

³⁰⁴² Vgl. Poole/Mackworth (2010: 193).

³⁰⁴³ Vgl. Poole/Mackworth (2010: 549 ff.).

³⁰⁴⁴ Vgl. Poole/Mackworth (2010: 573 ff.).

teme relevanten SW-Technologien wie XML, OWL oder RDF.³⁰⁴⁵ Allgemein betrachtet bilden CAS demnach Prozess- und Wissenssysteme, die wesentlich auf AI-Funktionalitäten aufbauen; dabei orientiert sich umgekehrt ebenso die moderne AI-Forschung am Komplexitätsparadigma.³⁰⁴⁶ Insgesamt gesehen setzen *Closed-loop U-PLM-Systeme* die Emergenz, Adaption und Selbstorganisation komplexer Systeme voraus, wie sie seit langem im Fokus der Komplexitätsforschung stehen.³⁰⁴⁷ Die *Theorie komplexer Systeme*, die wie die Ontologie einen transdisziplinären Zugang zu Wissenschaft und Technologie eröffnet, eignet sich deshalb als grundlegendes Paradigma der Informatik, weil auch diese mit evolutionären Systemen zu tun hat.³⁰⁴⁸

Der Komplexitätsforschung der zweiten, der logico-mathematischen Gruppe kommt für die Informatik nicht nur an sich eine fundamentale Bedeutung zu, sondern auch in wissenschaftstheoretischer Hinsicht. Denn erst mit ihr wird zugleich eine Einheit der Wissenschaften bzw. eine *Einheit des Wissens* möglich, wie sie die Informatik im Zeichen der Realisierung des Leibnizprogramms vorauszusetzen hat. Alle Wissenschaft ist mit Carnap (1928a) ihrem Wesen nach *Strukturwissenschaft* und alle wissenschaftlichen Aussagen sind *Strukturaussagen*; mit Ushenko (1936: 137) gilt entsprechend: »[S]cience is an approximation to an exemplification of a rigorous logical system«; damit besitzt die Informatik als *Strukturwissenschaft* nicht lediglich eine Brückenfunktion zwischen den Natur- und Geisteswissenschaften, sondern sie stellt im Zeichen Leibnizens vielmehr die fundamentale Perspektive.³⁰⁴⁹ Leibnizens *Metaphysica* und das Leibnizprogramm bilden hier die notwendige fundamentale Basis für die Informatik und Komplexitätsforschung. Hält man sich an diese, lässt sich die Einheit der Wissenschaften nicht – wie bisher in der Komplexitätsforschung üblich – rein *methodologisch* verstehen,³⁰⁵⁰ vielmehr ist sie mit Leibniz primär *ontologisch* und *epistemologisch*, d.h. im Ganzen auf Basis der Metaphysik zu vollziehen: Geht es um Kosmologie, lässt sich diese Trias letztlich in keiner Weise trennen. Vom Status kommt die Methodologie vielmehr zum Schluss, indem sie sich maßgeblich durch die Metaphysik und Epistemologie bestimmt zeigt. Carnaps (1930: 78) These, dass »die logische Analyse mit den Mitteln der neuen [der mathematischen, A.d.V.] Logik zur *Einheitswissenschaft* [führt]«, ist also dahingehend zu relativieren, dass sie letztlich das Leibnizprogramm voraussetzt. Konkret läuft diese Einheit auf eine Symbiose der Leibniz-Whiteheadscher Komplexitätsmetaphysik mit der Komplexitätsforschung hinaus.

Insgesamt wird nochmals deutlich, dass die *Theorie komplexer Systeme* ein heterogenes Feld von Ansätzen markiert, die verschiedensten Disziplinen entstammen. Sie beziehen sich auf *komplexe Systeme* bzw. auf *komplexe adaptive Systeme* (CAS), wobei letztere

³⁰⁴⁵ Vgl. Poole/Mackworth (2010: 564 ff.).

³⁰⁴⁶ Vgl. etwa Poole/Mackworth (2010), insbes. pp. 19 ff.

³⁰⁴⁷ Vgl. etwa Holland (1975, 1995b, 1999, 2002) sowie Mainzer (2004a).

³⁰⁴⁸ Vgl. hierzu etwa Mainzer (2002b); vgl. hierzu auch Hofkirchner (2001).

³⁰⁴⁹ Demgegenüber besitzen etwa für B.-O. Küppers (2000) die *Strukturwissenschaften* lediglich ihre Funktion als "Bindeglied zwischen Natur- und Geisteswissenschaften".

³⁰⁵⁰ Vgl. dazu etwa McIntyre (1998).

insofern als speziellere Ergänzung zu erachten sind, indem sie den internen Adaptionsprozess und somit ggf. auch das divergierende Intelligenzvermögen von Agenten berücksichtigt. Mit Hollands adaptiven Agenten ist somit auch in der Komplexitätsforschung mit Pkt. 6.2.7 eine *Mehrebenenontologie* angelegt, indem jede Automatenklasse einer spezifischen Ontologieebene bzw. ontologischen Schicht im Sinne Hartmanns (1940) zuordenbar ist. Im Gegensatz zu den Theorieansätzen der ersten Gruppe steht der CAS-Gedanke mit Cowan/Feldman (1986: 11) ganz im Zeichen intelligenter Informationsverarbeitung und ist somit dem "Urstoff" der *Information* verpflichtet: »complex adaptive systems process information, and can modify their internal organization in response to such information«. Demgegenüber ist zu konstatieren, dass in cyber-physischer Hinsicht im Grunde nur eine einzige *Theorie komplexer Systeme* als logico-mathematischer Ansatz richtiggehend universal anwendbar ist. Dabei handelt es sich um die bei Whitehead (1929a) in fundamentaler Hinsicht vorweggenommene *Theorie zellulärer Automaten* (CA). In diesem Sinne und nur insofern sie universal anwendbar ist, besitzt sie im Zeichen von Leibnizens *Automatenuniversum* bzw. Feynmans *Regeluniversum* metaphysischen Status. Allerdings ist und bleibt sie faktisch Methodologie, die metaphysisch verankert ist. Mit ihrer zentralen Stellung in der Komplexitätsforschung wird die CA-Theorie nachfolgend in ihren Grundzügen exemplarisch illustriert. Das geschieht vor dem Hintergrund, dass es sich (i) um jene Theorie komplexer Systeme handelt, die direkt auf Whiteheads (1925) *zelluläre Organismen* zurückgeht; (ii) sie sich universal auf sämtliche natürlichen, sozialen und artifiziellen komplexen Systeme anwenden lässt, wie sie überblicksartig in der nachfolgenden Abb. 10 dargestellt sind; (iii) es sich um jenen Ansatz handelt, der unmittelbar die primäre Relevanz des 4D-Ereigniszentrismus verdeutlicht; (iv) der CA-Ansatz der informatorischen Cyber-Physik entspricht und regelmäßig mit den meisten anderen *Theorien komplexer Systeme* kombiniert wird; (v) der CA-Ansatz insgesamt mit Mainzer auf das Leibnizsche Automatenuniversum als Ursprungparadigma der Informatik weist; (vi) und der CA-Ansatz schließlich in seiner prozessmetaphysischen Fundierung auch mit der "*New Physics*", "*New Chemistry*" sowie der "*New Biology*" kompatibel ist. Das beginnt beim Selbstorganisationsparadigma, wenn jenseits von Eigens molekularer Selbstorganisation in der physikalischen resp. biophysikalischen Chemie in der physikalischen Forschung die Selbstorganisation von Partikeln untersucht wird,³⁰⁵¹ während sich in der Chemie organische Moleküle inzwischen *zielgerichtet* bewegen lassen.³⁰⁵² Demgegenüber geht es in der biologischen Forschung etwa um die Selbstorganisation von Insektenschwärmen und die Herausbildung entsprechender Ordnungsmuster.³⁰⁵³

³⁰⁵¹ Vgl. Vicsek et al. (1995).

³⁰⁵² Das wurde anhand des durch energetische Betrachtungen konzipierten und anschließend synthetisierten organischen Moleküls 9,10-Dithioanthracen (DTA) gezeigt, vgl. Kwon et al. (2005).

³⁰⁵³ Vgl. Buhl et al. (2006).

<i>Disziplin</i>	<i>Systeme (spezielle Systemtypen)</i>	<i>Systemelemente</i>	<i>Systemdynamik (Phasenübergänge)</i>	<i>Attraktoren (Ordnungsparameter)</i>
<i>Physik</i>	<i>Dissipative Systeme</i>	<i>Partikel</i>	<i>Phasenübergänge fern dem thermischen Gleichgewicht</i>	<i>Makroskopische Muster</i>
<i>Chemie</i>	<i>Dissipative Systeme</i>	<i>Moleküle</i>	<i>Phasenübergänge fern dem thermischen Gleichgewicht</i>	<i>Makroskopische Muster</i>
<i>Biologie</i>	<i>Organismen</i>	<i>Genotyp (RNS, DNS)</i>	<i>Evolution (z. B. Selbstreproduktion, Mutation, Selektion)</i>	<i>Makroskopischer Phänotyp</i>
<i>Ökologie</i>	<i>Populationen</i>	<i>Organismen</i>	<i>Konservative und dissipative Populationsdynamik</i>	<i>Attraktoren ökologischer Dynamik</i>
<i>Informatik</i>	<i>Artificial Life Systeme (z. B. zelluläre Automaten)</i>	<i>Automaten, Prozessoren etc.</i>	<i>z. B. genetische, replikative, mutative, selektive Algorithmen</i>	<i>Attraktoren von Computersimulationen</i>
<i>Gehirnforschung</i>	<i>Gehirn (ZNS)</i>	<i>Neuronen</i>	<i>Synaptische Zellverschaltung</i>	<i>Attraktoren der Gehirndynamik</i>
<i>Neuroinformatik</i>	<i>Neuronale Netze</i>	<i>Technische Neuronen</i>	<i>Lernalgorithmen</i>	<i>Attraktoren neuronaler Netze</i>
<i>Medizin</i>	<i>Patient</i>	<i>Organe, Zellen etc.</i>	<i>Somatische Dynamik</i>	<i>Somatische Attraktoren (Krankheitsbilder)</i>
<i>Psychologie</i>	<i>Patient</i>	<i>Psychische Faktoren</i>	<i>Psychische Dynamik</i>	<i>Psychische Attraktoren (Krankheitsbilder)</i>
<i>Soziologie</i>	<i>Soziale Systeme</i>	<i>Soziale Faktoren (Individuen, Institutionen)</i>	<i>Soziale Dynamik</i>	<i>Soziale Gleichgewichte, Oszillationen, Chaos</i>
<i>Ökonomik</i>	<i>Ökonomische Systeme</i>	<i>Ökonomische Faktoren (Konsumenten, Unternehmen)</i>	<i>Ökonomische Dynamik</i>	<i>Ökonomische Gleichgewichte, Oszillationen, Chaos</i>
<i>Wiss. Forschung</i>	<i>Forschungsfelder, Forschungsgruppen</i>	<i>Forschungsprobleme, Forscher</i>	<i>Forschungs-/ Forscherdynamik</i>	<i>Paradigmen</i>

Abb. 10:³⁰⁵⁴ Komplexe Systeme natürlicher, sozialer und artifizieller Provenienz

Mit der *Theorie zellulärer Automaten* ist die *zentralste aller Theorien komplexer Systeme* unmittelbar auf Whiteheads metaphysische Grundlagen zurückführbar. Das ist bei anderen Theorien wie Prigogines *Theorie dissipativer Strukturen* zwar in dieser unmittelbaren Weise nur bedingt gegeben, doch zeigt sich auch diese explizit durch die Prozessmetaphysik Whiteheads bestimmt. Tatsächlich bezieht sich auch Prigogine auf diese in fundamentaler Hinsicht, indem Prigogines Positionen in allen metaphysischen Belangen mindestens implizit durch Whitehead geprägt sind. Dabei gibt es nicht nur diesen direkten Bezug. Indirekt geschieht dies darüber hinaus über Bertalanffy (1940), auf dessen Gedanken *offener Systeme* wie der *Biophysik des Fließgleichgewichts* Prigogines *Theorie dissipativer Strukturen* aufbaut.³⁰⁵⁵ Als offene Systeme tauschen dissipative Systeme Materie, Energie und Information aus. Es handelt sich um evolvierende Systeme dissipativer Selbst-

³⁰⁵⁴ In Anlehnung an Mainzer (1999b: 27), modifiziert und verkürzt.³⁰⁵⁵ Vgl. hierzu auch Ebeling/Feistel (1982: 42 f.).

organisation, um Nichtgleichgewichtssysteme, deren Ordnungsbildung sich fernab des Gleichgewichts im Fließgleichgewicht vollzieht. Wenn das *Relationale* für komplexe Systeme von besonderer Relevanz ist, zeigen dissipative Strukturen, dass bezüglich der Komplexitätsentstehung die Frage des jeweiligen *Systemtypus* von zentraler Bewandnis ist:

<i>Systemtypus</i>	<i>Austausch von</i>	<i>Gleichgewichtsbezug</i>	<i>Systemklasse</i>
<i>Offenes System (Open System)</i>	<i>Materie, Energie, Information</i>	<i>Dissipative Strukturen: Ordnungsbildung fernab des Gleichgewichtes („Fließgleichgewicht“); Ungleichgewicht; dissi- pative Selbstorganisation</i>	<i>Dissipative Systeme (Nichtgleichgewichts- systeme, evolvierende Systeme)</i>
<i>Geschlossenes System (Closed System)</i>	<i>Energie, Information (jedoch keine Materie)</i>	<i>Gleichgewichtsstrukturen: Phasenübergänge nahe dem thermischen Gleichgewicht; konserva- tive Selbstorganisation mit irreversiblen Prozes- sen auf den Gleichge- wichtszustand hin</i>	<i>Konservative Systeme, (a) irreversibler Typus (Strukturbewahrende, gleichgewichtsorientierte Systeme)</i>
<i>Isoliertes bzw. abge- schlossenes System (Isolated System)</i>	<i>Keinerlei Wechselwir- kung mit der Umgebung</i>	<i>Gleichgewichtsstrukturen: Realisierung des thermi- schen Gleichgewichtes; keine Dynamik, determi- nistisch; statistische Schwankungen in rever- siblen Prozessen</i>	<i>Konservative Systeme, (b) reversibler Typus (Strukturbewahrende, gleichgewichtsorientierte Systeme)</i>

Abb. 11:³⁰⁵⁶ Abgrenzung konservativer und dissipativer Systeme

Wie Abb. 11 illustriert, geht es bei komplexen Systemen im Sinne dissipativer Struktu-
ren um *offene Systeme*, nicht um geschlossene bzw. konservative Systeme.^{3057, 3058} Konser-

³⁰⁵⁶ Quelle: In Anlehnung an Jantsch (1979: 55 ff., 64 ff.; 1989b), modifiziert.

³⁰⁵⁷ Vgl. bereits Bertalanffy (1940; 1949b: 121 ff.); vgl. auch Nakamura/Mori (1999: 91).

³⁰⁵⁸ Zwar können auch geschlossene Systeme Komplexität aufweisen; allerdings entsprechen sie nicht durchweg den universalen Eigenschaften komplexer Systeme. In der Theorie komplexer Systeme bedeutet Offenheit weitaus mehr als Input und Output beziehungsweise "inflow" und "outflow", wie es teilweise bei älteren Systemtheorien konzipiert wird, vgl. etwa Jonas (1951: 332). Offenheit heißt hier, dass komplexe Systeme nicht nur ihre Konfiguration resp. Konnektivität zu ändern vermögen, sondern imstande sind, ihre Struktur selbst und jene ihrer Umwelt grundlegend endogen zu wandeln, vgl. hierzu auch P.M. Allen (2001a). Vor allem aber ist im Kontext der organismischen Weltauffassung und der damit verbundenen Selbstorganisation und –erhaltung entscheidend, »daß alle lebenden Systeme in essentieller Weise offene Systeme sind«, vgl. B.-O. Küppers (1986: 71). Für diese ist entscheidend, dass sie im emergentischen Sinne die Entstehung von genuin Neuem zulassen, was Offenheit im Hinblick auf komplexe Systeme zuvorderst meint. Vor diesem Hintergrund ist auch das allgemeine Computermodell als *Interaktionsmodell* bzw. *offenes System* zu fassen, vgl. P. Wegner (1995) sowie Arbab (2006: 13), wie es auch den MAS-Anforderungen des *IoX-Hyperspace* entspricht. Entsprechend zielen die *Interaction Machines* bei P. Wegner (1995), Arbab (2006) sowie Goldin/Wegner (2006) auf eine Erweiterung der *Turingmaschine*, um sie von einem *geschlossenen* in ein *offenes System* zu transformieren: »An interaction machine is an extension of a Turing machine that can interact with its environment with new input and output primitive actions«, vgl. Arbab (2006: 13). Letztlich ist damit wiederum das Weltmodell Whiteheads maßgeblich;

vative Systeme vermögen zwar grundsätzlich Eigenschaften komplexer Systeme wie Selbstorganisation oder Nichtlinearität aufzuweisen; da sie aber auch abgeschlossene Systeme mit reversiblen Prozessen umfassen, können sie keine universal gültige Systemklasse bilden. Neben dieser auf die Physik bezogenen Differenzierung gilt jenseits des fachspezifischen Zusammenhangs für dissipative Systeme als universale Systemklasse,³⁰⁵⁹ dass sich diese auf alle Systemtypen projizieren lassen. Das trifft auch für soziale Systeme zu.³⁰⁶⁰ Im weitesten Sinne lassen sich gar Kuhnsche (1962) *Paradigmen*, die im Zuge wissenschaftlicher Revolutionen sprunghaft evolvieren, als dissipative Strukturen auffassen.³⁰⁶¹

Dissipative Strukturen sind als durch Wechselwirkungsprozesse hervorgebrachte emergente Entitäten zu verstehen, die einer temporären Beständigkeit unterliegen: »[W]e call the ordered configurations that emerge beyond instability of the thermodynamic branch the *dissipative structures*«. ³⁰⁶² Der Zentralgedanke der Emergenz zeigt sich damit auch für den Prigogineschen Ansatz bestimmend. Derartige evolvierende Strukturen »are formed and maintained through the exchange of energy and matter in non-equilibrium conditions«, ³⁰⁶³ und sie lassen sich durch nichtlineare Gleichungen beschreiben. Damit basiert Ordnung nicht – wie in der klassischen Physik resp. älteren Thermodynamik – auf dem Gleichgewichtsprinzip. Für die *Theorie dissipativer Strukturen* ist vielmehr kennzeichnend, dass sich Ordnungen immerzu fernab des thermischen Gleichgewichts herausbilden; die Theorie basiert also auf dem Faktum, »that non-equilibrium may be a source of order«. ³⁰⁶⁴ Mit dissipativen Strukturen erhalten Prozesse einen grundlegenden, nicht nur abgeleiteten Status, womit die Bedeutung der Prozessmetaphysik im Hinblick auf die universalontologische Auslegung der Prigogineschen Theorie offensichtlich ist. ³⁰⁶⁵ Bei allen Prozessen dissipativer Strukturbildung handelt es sich um selbstorganisierende Prozesse: ³⁰⁶⁶ »Dissipative structures are the manifestation of self-organization«. ³⁰⁶⁷ Die Nichtgleichgewichtsthermodynamik zeigt sich somit unmittelbar mit der Theorie der Selbstorganisation verknüpft.

Die Organisiertheit ist Spiegelbild des Komplexen; entsprechend konstatiert Barrow (1998: 71): »Very complex structures have a general feature: they display complexity because of the intricate organization of a very large number of simple components«; komplexe Strukturen erweisen sich gerade als komplex »because of the way in which its constituent parts are organized, not primarily because of what they are«. Das analytische

denn auf Basis der *Relationenontologie* Whiteheads ist *Information Processing* tatsächlich als *Interaktion* zu verstehen, indem seine interaktiven *zellulären Automaten* im Zeichen von "input events" und "output events" operieren. Diese Interaktionsperspektive kennzeichnet *Computing im IoX-Hyperspace*.

³⁰⁵⁹ Vgl. hierzu auch Fabrizio (1998).

³⁰⁶⁰ Vgl. etwa Reed/Harvey (1992: 358 ff.), Harvey/Reed (1994, 1996: 302 ff.) oder Byrne (1998: 29 ff.).

³⁰⁶¹ Vgl. hierzu Jantsch (1989a: 329); vgl. auch Jantsch (1980), insbes. p. 86.

³⁰⁶² Vgl. Nicolis/Prigogine (1977: 60).

³⁰⁶³ Vgl. Prigogine (1973b: 581).

³⁰⁶⁴ Ibid.

³⁰⁶⁵ Prigogine (1986b: 189) weist im Kontext des universalontologischen Anspruchs der Komplexitätsforschung darauf hin, dass er sich »der Grenzen eines solchen Unternehmens sehr wohl bewußt« ist.

³⁰⁶⁶ Vgl. zu diesem Zusammenhang im Einzelnen Nicolis/Prigogine (1977), Schieve/Allen (1982) sowie Prigogine/Stengers (1993: 91 ff.).

³⁰⁶⁷ Vgl. Prigogine/Allen/Herman (1977: 2).

Konstrukt der dissipativen Struktur entstammt ursprünglich mit der durch Prigogine und Glansdorff begründeten Nichtgleichgewichtsthermodynamik der physikalischen Chemie und bezeichnet die Nichtgleichgewichtsstabilität offener Systeme:

»[F]ar from equilibrium, new types of structures may originate spontaneously. In far-from-equilibrium conditions we may have transformation from disorder, from thermal chaos, into order. New dynamic states of matter may originate, states that reflect the interaction of a given system with its surroundings. We have called these new structures *dissipative structures* to emphasize the constructive role of dissipative processes in their formation.«³⁰⁶⁸

Mit der Nichtgleichgewichtsthermodynamik legen Glansdorff/Prigogine (1971) und Prigogine (1979a) dar, dass sich fast alle tradierten Gesetze der Physik auf geschlossene Gleichgewichtssysteme beziehen, die in der Natur so kaum vorkommen. Die Nichtgleichgewichtsthermodynamik basiert demgegenüber auf offenen Systemen, die einem ständigen Energiefluss unterliegen und sich damit nicht im thermodynamischen Gleichgewicht befinden. Nur außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichts ist Leben möglich, womit sich die Bedeutung dieses Ansatzes für die Selbstorganisation des Lebens resp. der Natur zeigt, in der das Wesen des Kosmos besteht. Mit Prigogine vermögen sich auch offene Systeme zu einer höheren Ordnung zu entwickeln, wobei die Existenz solcher Ordnungen entscheidend von den Systemparametern abhängt. Bereits kleine Variationen können die Ordnung zerstören, wodurch das System in eine chaotische Prozessphase übergeht.

Zwar besitzen dissipative Systeme ihren eigentlichen Ursprung in der *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* der physikalischen Chemie; allerdings werden sie durch Prigogine/Stengers (1981) naturphilosophisch zu fassen bzw. zu universalisieren gesucht. Entsprechend wird auch in den Sozialwissenschaften auf die *Theorie dissipativen Strukturen* rekurriert, was in methodologischer Hinsicht auch durchaus sinnvoll sein kann. In ontologischer Hinsicht wird jedoch im Sinne des IMKO OCF insgesamt eine metaphysische Theorie unabdingbar, die mit ihrem Kategoriensystem schließlich auch für KR-Zwecke nutzbar ist. Insofern verwundert es nicht, dass Prigogine sich wiederholt explizit auf die Kosmologie Whiteheads (1929a) bezieht,³⁰⁶⁹ indem auch für ihn außer Frage steht, dass prozessmetaphysische Theorien prozessuale Ordnungsstrukturen von vornherein universal konzipieren.³⁰⁷⁰ In universalontologischer Interpretation repräsentieren dissipative Strukturen nichtlineare dynamische Systeme, auf deren Grundlage sich die Vorgänge der Evolution in geeigneter Weise erklären lassen, die für jede wissenschaftliche Disziplin im Grunde von Belang sind. Denn das durch Prigogine et al. entwickelte Modell ist auf jedes natürliche oder artifizielle System des Universums anwendbar, ganz gleich, ob es sich dabei um eine Ansammlung von Lebewesen, Informationen oder Molekülen, um Instituti-

³⁰⁶⁸ Prigogine/Stengers (1984: 12).

³⁰⁶⁹ Vgl. etwa Prigogine (1973b: 589; 1977: 31; 1979a: 262 f.; 1997: 17, 59, 72) oder Prigogine/Stengers (1981: 101 ff.; 1984: 93 ff.).

³⁰⁷⁰ Neben Whitehead bezieht sich Prigogine auch auf andere Prozessphilosophen, von Hegel angefangen über Bergson, Heidegger bis zu Teilhard de Chardin; vgl. hierzu etwa Prigogine (1979a, 1985b) sowie Prigogine/Stengers (1984: 89 f.).

onen, den menschlichen Körper oder um Sterne handelt.³⁰⁷¹ Analog zu Jantsch (1979) wird durch Dux (2000) die *Theorie dissipativer Strukturen* auf das Universum projiziert:

»Die immanente Dynamik des Universums wird in der prozessualen Logik der Moderne so verstanden, daß sich in ihm unter wahrscheinlichen/unwahrscheinlichen Bedingungen neue Organisationsformen des Lebens ausbilden können. Als was sie sich ausbilden, entsteht erst aus ihrem Zusammenwirken im Prozeß. Während für das Denken in der traditionellen Logik gilt: Nichts Neues unter der Sonne, gilt für die prozessuale Logik gerade, daß etwas zu entstehen vermag, was es zuvor nicht gab, auch nicht potentialiter. [...] Mit [der Theorie dissipativer Strukturen] ist eine Prozessualität im Universum dokumentiert, für die gerade nicht gilt, daß in der Ausgangsformation angelegt ist, was sich hernach entwickelt.«³⁰⁷²

Andere übernehmen die *Theorie dissipativer Strukturen* partiell für ihren Bereich; Jenner (1994) versteht nicht nur die Ökonomie als Ganzes im Zeichen dissipativer Strukturen, sondern mit Jenner (1998) wird diese Perspektive konsequent für sämtliche Objekte, insbesondere für "*Dissipative Enterprises*" vorausgesetzt. Auch das hat ontologische Konsequenzen, nicht zuletzt mit dem zweiten Teil für die Frage der Konzeption der *Enterprise Ontology* (EO). Prigogines *Nichtgleichgewichtsthermodynamik* besitzt in der Komplexitätsforschung insgesamt einen zentralen Platz,³⁰⁷³ nicht nur unter den physikalisch ausgerichteten *Theorien komplexer Systeme*, sondern auch unter den agentenbasierten CAS-Ansätzen. Ersteres gilt etwa für Eigens (1971) *Hyperzyklen*, indem dissipative Systeme mit Jantsch (1980: 82) generell in Hyperzyklen organisiert sind. Entsprechend überrascht es nicht, wenn die *Theorie dissipativer Strukturen* auch den Kern der *Selbstorganisationstheorie* bei Jantsch (1979) bildet. Letzteres gilt etwa für die *Theorie zellulärer Automaten*, wenn sich Wolfram (1984b, 1984c) nicht nur allgemein an der *Thermodynamik* orientiert, sondern darüber hinaus speziell an den dissipativen Strukturen der Prigogineschen Nichtgleichgewichtsthermodynamik festmacht.³⁰⁷⁴ Es bestehen also nicht nur innerhalb der oben abgegrenzten beiden Theoriegruppen umfassende Beziehungen, sondern auch zwischen ihnen.

Kommen wir somit näher auf die *Theorie zellulärer Automaten* (CA) zu sprechen, deren exemplarische Darlegung auch insofern wesentlich erscheint, als sie die universale methodologische Grundlage verkörpert, die Cyber-physische Systeme (CPS) letztlich einfordern: sie benötigen eine universale Theorie, die sowohl für den physischen als auch für den informatorischen Bereich im Zeichen einer logico-mathematischen Theorie allgemeine Gültigkeit beanspruchen kann: Sie ist es, die dem Leibnizprogramm im Ganzen unmittelbar entspricht, indem sie das Automatenuniversum formallogisch fasst. Hier sucht auch J. von Neumann (1951) anzuschließen:

³⁰⁷¹ Mit seinem Ursprung in der physikalischen Chemie ist das Modell Prigogines ohne weiteres auf eine ganze Reihe von Naturwissenschaften und damit verbundener Technologien anwendbar; vgl. hingegen zu einer Übertragung solcher Selbstorganisationsprozesse auf soziale Systeme Nicolis/Prigogine (1989: 238 ff.); vgl. hierzu auch Prigogine (2000a: 36): »Indeed, the more we understand the structure of the universe, the more it begins to have common elements with human societies«; vgl. zur Übertragung dissipativer Strukturen bspw. auf die Ökonomie Witt (1995, 1997).

³⁰⁷² Dux (2000: 170 f.), ohne Hvh. des Orig.

³⁰⁷³ Das gilt auch dann, wenn Haken/Wunderlin (1991: 446) Fundamentalkritik an den Überlegungen Prigogines üben; umgekehrt beziehen sich Prigogine/Nicolis (1973: 89 f.) auch kurz auf Hakens Laserphysik.

³⁰⁷⁴ Vgl. Wolfram (1983b, 1986a).

»We are very far from possessing a theory of automata which deserves that name, that is, a properly mathematical-logical theory. [...] The theory of automata, of the digital, all-or-none type [...] is certainly a chapter in formal logic. It would, therefore, seem that it will have to share this unattractive property of formal logic. It will have to be, from the mathematical point of view, combinatorial rather than analytical.«³⁰⁷⁵

Indem Leibniz und Whitehead in ihren Digitalmetaphysiken einen metaphysischen Logizismus praktizieren, besitzen CA eine darauf direkt bezugnehmende methodologische Funktion: sie stellen die gemeinsame logizistische Basis von Physik und Informatik, von Metaphysik und allen anderen Disziplinen dar. In ihrer Eigenschaft als mathematische Modelle lassen sich zelluläre Automaten im Grunde auf alle Prozesse des Kosmos anwenden.³⁰⁷⁶ Das gilt letztlich auch für das *Internet of Everything* (IoX), wenn H.A. Simon (1973a: 23) konstatiert: »Everything is connected, but some things are more connected than others. The world is large matrix of interactions in which most of the entries are very close to zero«. Die CA-Entsprechung der Digitalmetaphysik kommt vor diesem Hintergrund nicht von ungefähr: zum einen ist Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik sowie die mathematische Logik anzuführen, zum anderen steht die Entstehungsgeschichte zellulärer Automaten als solcher im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Aufkommen der Computertechnik. Mit Turing, J. von Neumann und Zuse haben ihre drei bedeutendsten Pioniere zugleich maßgebliche Grundlagen zur *Theorie zellulärer Automaten* geschaffen. Diese Beziehung geht darauf zurück, dass zelluläre Automaten – etwa neben der Turingmaschine – eines der theoretischen Modelle für Rechnerarchitekturen darstellen.³⁰⁷⁷ Die von-Neumann-Architektur, die jenseits zellulärer Automaten steht und auf den Arbeiten Turings und Shannons aufbaut, bildet bekanntermaßen die Grundlage für die Arbeitsweise der meisten heute gängigen Rechner.³⁰⁷⁸

Zelluläre Automaten stellen das grundlegendste aller *komplexen adaptiven Systeme* (CAS) dar, und an ihnen wird nochmals deutlich, dass es gelingen sollte, einen universalen Systemtypus komplexer Systeme zu schaffen. Dass dies möglich ist, wird daran ersichtlich, dass die *Theorie zellulärer Automaten* inzwischen in allen Disziplinen eine zentrale Bedeutung besitzt: in der Komplexitätsforschung,³⁰⁷⁹ in der AI- wie AL-Forschung,³⁰⁸⁰ der Digitalen Physik,³⁰⁸¹ aber auch in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften.³⁰⁸² Für die Komplexitätsforschung ist die Schaffung eines solchen universalen Typus insofern unerlässlich, als ihr universalontologischer Anspruch letztlich auch ontologisch einen einheitlichen Systemtypus voraussetzt. Wie Hakens Synergetik verdeutlicht, wird die Entstehung von Komplexität in der mikroskopischen Sphäre ausgelöst, was sich auch anhand zellulärer Automaten und Boolescher Netzwerke anschaulich darlegen lässt. Dabei muss es losgelöst

³⁰⁷⁵ J. von Neumann (1951: 302 f.).

³⁰⁷⁶ Vgl. dazu auch Wolfram (1983b: 641) sowie Toffoli/Margolus (1987: 142 f.).

³⁰⁷⁷ Vgl. hierzu Codd (1968).

³⁰⁷⁸ Vgl. hierzu etwa Coveney/Highfield (1995: 62).

³⁰⁷⁹ Vgl. hierzu etwa Wolfram (1984c) sowie Gutowitz (1995a, 1995b).

³⁰⁸⁰ Vgl. etwa Langton (1986), Dorin (2000) sowie X.-S. Yang (2003).

³⁰⁸¹ Vgl. etwa Toffoli (1982, 1984), Vichniac (1984) sowie Pires et al. (1990).

³⁰⁸² Vgl. Bhargava/Mukherjee (1994), S. Oda et al. (1997), Rouhaud (2000) und Aschenwald et al. (2001).

von konkreten Komplexitätstheorien gelten, primär an der mikroskopischen Sphäre anzusetzen um sich davon zu seinem makroskopischen Pendant vorzuarbeiten.³⁰⁸³ Insofern bietet es sich an, den Fokus auf zelluläre Automaten und Boolesche Netzwerke zu richten, und nicht auf Ansätze, die die Komplexitätsentstehung erst im Zuge der Makrobifurkation auf makroskopischer Ebene konstatieren.

Historisch wie konzeptionell bilden zelluläre Automaten (CA) die elementare Grundform Boolescher Netzwerke, die von wesentlichem Belang für die Komplexitätsforschung sind. In der Tat stellen CA wesentlich auf den Komplexitätsaspekt ab.³⁰⁸⁴ Wenn in Booleschen Netzwerken ein zentraler Integrationsansatz für die Komplexitätsforschung ausgemacht wird, erscheint es entsprechend zweckmäßig, zelluläre Automaten als Ursprungsmodell ausführlicher zu erörtern. Der Neumannsche Zellularautomat ist in seinem Aufbau insofern kompliziert, indem er zur Realisierung seiner neunundzwanzig Zustände ein Aggregat aus zweihunderttausend Zellen benötigt.³⁰⁸⁵ Davon ausgehend wird in späteren Forschungsarbeiten von verschiedener Seite versucht, sehr einfach strukturierte zelluläre Architekturen zu entwickeln.³⁰⁸⁶ Hier ist zwischen zwei wesentlichen komplexitätstheoretischen Forschungssträngen zu unterscheiden: Zum ersten geht es um den Nachweis des Vermögens artifizierlicher Selbstreproduktion, zum zweiten um den Nachweis, dass komplexe Phänomene aus einfachem mikroskopischen Verhalten emergieren können. Für beide Forschungsstränge zeigt sich je ein Ansatz als besonders erwähnenswert: Bezogen auf den Nachweis des Vermögens artifizierlicher Selbstreproduktion ist dies das *Game of Life* des Mathematikers J.H. Conway.³⁰⁸⁷ Dieser greift Ende der sechziger Jahre den Gedanken Neumanns einer hypothetischen Maschine, die imstande ist, sich selbst zu reproduzieren, auf. Conway entwickelt ein mathematisches Modell einer solchen Maschine, das *Game of Life*.³⁰⁸⁸ Bezogen auf die Emergenz von Komplexität aus Einfachheit ist es demgegenüber Wolfram, der zu Beginn der achtziger Jahre eingehend anhand einer Familie einfacher Regeln eindimensionaler zellulärer Automaten ("Wolfram Regeln") aufzeigen kann, dass selbst diese einfachsten Regeln imstande sind, komplexes Verhalten zu emulieren.³⁰⁸⁹ Über die Jahre ist die *Theorie zellulärer Automaten* in vielfältiger Hinsicht ergänzt und modifiziert worden: So wurde gezeigt, dass sich arithmetische Funktionen in zelluläre Automaten

³⁰⁸³ Vgl. hierzu auch Gerhardt/Schuster (1995: 105 ff.).

³⁰⁸⁴ Vgl. bereits J. von Neumann (1966: 80): »There is thus this completely decisive property of complexity, that there exists a critical size below which the process of synthesis is degenerative, but above which the phenomenon of synthesis, if properly arranged, can become explosive, in other words, where syntheses of automata can proceed in such a manner that each automaton will produce other automata which are more complex and of higher potentialities than itself«. Vgl. hierzu ferner Langton (1984, 1990), Wolfram (1984c, 1986a, 1988a) sowie Courtois (1985).

³⁰⁸⁵ Vgl. hierzu N.G. Cooper (1983: 26) sowie Coveney/Highfield (1995: 93).

³⁰⁸⁶ So konstruiert Codd (1968) ein selbstreproduzierendes System mit acht Zuständen, definiert auf einem zweidimensionalen Raumgitter mit von-Neumann-Nachbarschaft.

³⁰⁸⁷ Conways *Game of Life* wurde durch Gardner (1970) vorgestellt; vgl. hierzu ferner Gardner (1971).

³⁰⁸⁸ Vgl. hierzu im Einzelnen Gerhardt/Schuster (1995: 33 ff.).

³⁰⁸⁹ Vgl. hierzu Wolfram (1994).

implementieren lassen.³⁰⁹⁰ Mit *Dissipativen Zellulären Automaten* (DCA) wird die *Theorie dissipativer Strukturen* in die Automatentheorie inkorporiert.³⁰⁹¹ Neben synchronen Automaten gelangen auch *Asynchronous Cellular Automata* (ACA) zur Anwendung.³⁰⁹²

Im Gegensatz zu komplexen Systemen der ersten Gruppierung repräsentieren zelluläre Automaten keine physisch realen, sondern vielmehr abstrakte, in aller Regel computerbasierte komplexe Systeme. Sie sind zu verstehen als einfache mathematische Idealisierungen physisch realer Systeme.³⁰⁹³ Sie bilden einen zentralen Ansatz der *AL-Forschung*, die im Sinne einer Simulation lebender Systeme biologische Konstrukte auf artifizierlicher, computerbasierter Basis nachzubilden sucht. Dazu hat insbesondere Langton wichtige Grundlagenarbeiten geliefert.³⁰⁹⁴ Auch stehen zelluläre Automaten mit Turing und J. von Neumann in einer direkten AI-Beziehung.³⁰⁹⁵ Wie bei Hakens Synergetik sind auch auf der Basis zellulärer Automaten zahlreiche Arbeiten zum assoziativen Gedächtnis und seiner Anwendung im Zuge der Mustererkennung vorgelegt worden.³⁰⁹⁶ Schon für J. von Neumann steht die Fähigkeit von Systemen zur Selbstreproduktion im Mittelpunkt, woran insbesondere die *AL-Forschung* unmittelbar anschließt. Zelluläre Automaten bilden ein Modell organischer Selbstreproduktion im Whiteheadschen Sinne; ihre Teilsysteme resp. Knoten werden Zellen genannt, indem sie den Bausteinen des Lebens entsprechen.³⁰⁹⁷ Der zusammengesetzte Begriff "zellulärer Automat" verdeutlicht, dass es sich bei den einzelnen Instanzen des Zellularautomaten um logisch operierende Teilautomaten handelt, die nach exakt den gleichen Regeln funktionieren. Ein Zellularautomat repräsentiert dabei »a mechanism that is relatively self-operating; a device or machine designed to follow automatically a predetermined sequence of operations or respond to encoded instructions«. ³⁰⁹⁸ Das Attribut "zellulär" hebt eine wesentliche Besonderheit dieser speziellen Gattung von Automaten hervor: sie bestehen aus vielen Komponenten, die als Teilautomaten wie die Zellen eines Organismus wechselwirken, und so den zellulären Automaten als Ganzes konstituieren. Mit Zuses (1982) *Computing Universe* wird deutlich, dass dieser Organismus nicht biologisch, sondern im Kantisch-Whiteheadschen Sinne *kosmologisch* aufzufassen ist.

Zelluläre Automaten lassen sich als Rückkopplungsmaschinen auffassen;³⁰⁹⁹ sie entwickeln sich durch Selbstreproduktion, wobei beim reversiblen Typus dieselben Strukturen immer wiederkehren, während beim irreversiblen Typus immer neue Strukturen entstehen. Die Mathematik übernimmt in der AL-Forschung gewissermaßen eine genetische Rolle, da hier das Leben eine digitale Repräsentation erfährt und zelluläre Automaten eine entspre-

³⁰⁹⁰ Vgl. hierzu Petraglio et al. (1999).

³⁰⁹¹ Vgl. dazu Roli/Zambonelli (2002).

³⁰⁹² Vgl. hierzu K. Nakamura (1974), Ingerson/Buvel (1984), Nehaniv (2003) und Jia Lee et al. (2005, 2007).

³⁰⁹³ Vgl. Wolfram (1983a: 4).

³⁰⁹⁴ Vgl. hierzu etwa Langton (1989).

³⁰⁹⁵ Vgl. hierzu N.G. Cooper (1983).

³⁰⁹⁶ Vgl. etwa Jen (1986b) oder Chady/Poli (1997).

³⁰⁹⁷ Holland (1962) stellt speziell die *biologische Adaptation* in den logischen Kontext der Automatentheorie.

³⁰⁹⁸ Vgl. N.G. Cooper (1983: 22), ohne Hvh. des Orig.

³⁰⁹⁹ Vgl. Peitgen et al. (1994: 571).

chende Wechselwirkung mit der Umgebung besitzen. Erste Simulationen von Zellpopulationen werden in den fünfziger Jahren durch J. von Neumann durchgeführt, der Analogien zwischen der Funktionsweise von Computern und den Gesetzmäßigkeiten der Natur auszumachen sucht. Vor dem Hintergrund zellulärer Automaten läuft Neumanns Kernthese im Sinne von Leibnizens Automatenuniversum darauf hinaus, dass Computer und Menschen unterschiedliche Klassen von Automaten repräsentieren.³¹⁰⁰ Lebende Systeme sind solche, die sich nicht im thermodynamischen Gleichgewicht befinden, und deshalb baut auch das Konzept zellulärer Automaten – analog zu Bertalanffy, Prigogine und Haken – auf dem thermodynamischen Argumentationsschema auf.³¹⁰¹ Wolfram (1983b, 1986a) nimmt expliziten Rekurs auf Prigogine und Haken und mit ihnen auf dissipative Systeme der Nichtgleichgewichtsthermodynamik und auf den damit zusammenhängenden Aspekt der Selbstorganisation. Für Wolfram (1986a: 386) liegt dabei in der Dissipation »a key principle which lies behind much of the robustness seen in natural systems«. Wenn Wolfram die mikroskopisch ansetzenden zellulären Automaten mit der makroskopisch verfassten Thermodynamik kombiniert,³¹⁰² wird mit Verweis auf Prigogine bzw. Haken die Verknüpfbarkeit verschiedener Theorien komplexer Systeme nochmals deutlich. Im engen Zusammenspiel dieser Ansätze besteht ein weiteres Indiz für die Notwendigkeit, einen universalen Systemtypus komplexer Systeme anzustreben. Damit kann die gängige Differenzierung zwischen *komplexen Systemen*, wie sie Prigogine, Haken und anderen Vertretern der ersten Gruppierung zugeordnet werden, und *komplexen adaptiven Systemen*, wie sie sich auf zelluläre Automaten, das NK-Modell Kauffmans (1996, 2003, 2004) und andere Ansätze beschränkt zeigen, im universalen Leibniz-Whiteheadschen Sinne aufgehoben werden.

In zellulären Automaten besteht jener Komplexitätstheoretische Ansatz, der durch seine einfache Konzeption anschaulich die ereigniszentrische Entstehung von Komplexität zu illustrieren vermag.³¹⁰³ Genauso macht er im Sinne der Whiteheadschen Selbstreproduktion deutlich, wie die ereigniszentrische Konstitution von Objekten zu verstehen ist. Insofern wird nochmals deutlich, dass zelluläre Automaten die zentrale methodologische Komponente der sie begründenden Whiteheadschen Prozessmetaphysik verkörpern. Dabei ist diese genauso an der universalen Selbstreproduktion wie an der Komplexitätsentstehung orientiert. Die Popularität dieses Ansatzes geht unmittelbar auf seine Einfachheit zurück. Mit ihm wird vor allem deutlich, dass Komplexitätsentstehung mikroskopisch bedingt ist und dass dabei prinzipiell Mikrobifurkationen entscheidend sind. Während sich die Komplexitätsentstehung bei Prigogine und Haken auf die Makrobifurkation bezieht und entsprechend auch ihre mathematische Fundierung hier ansetzt, zielt die mathematische Grundlegung zellulärer Automaten – wie auch jene Boolescher Netzwerke – auf den mikroskopischen Zusammenhang: »To discover and analyze the mathematical basis for the

³¹⁰⁰ Vgl. hierzu Neumann (1951).

³¹⁰¹ Vgl. bspw. Wolfram (1984b, 1984c).

³¹⁰² Vgl. hierzu Salem/Wolfram (1985).

³¹⁰³ Vgl. Wolfram (1984c: 34).

generation of complexity, one must identify simple mathematical systems that capture the essence of the process. Cellular automata are a candidate class of such systems«.³¹⁰⁴ Historisch wie konzeptionell bilden zelluläre Automaten die elementare Grundform Boolescher Netzwerke. Zelluläre Automaten zeigen sich durch ihre binäre Strukturiertheit geprägt; Boolesche Netzwerke vermögen diese ebenfalls aufzuweisen.³¹⁰⁵ Konkret besteht der Unterschied zwischen ihnen darin, dass die Zellen im Booleschen Netz keinen eindeutigen räumlichen Bezug besitzen und dass jeder Knoten eine unabhängige Funktion aufweist, womit er sich prinzipiell "individuell" verhält.³¹⁰⁶ Boolesche Netzwerke sind streng genommen nichts anderes als zelluläre Automaten mit heterogener Produktionsregel sowie einer heterogenen und asymmetrischen Topologie.³¹⁰⁷ In dieser Form zeigen sie sich auch durch die Integration von Wrights (1932) Gedanken der Fitnesslandschaften und entsprechenden Suchprozessen in Kauffmans NK-Modell im Kontext eines aktiven Universums konzipiert. Richtig ist ihr Verhältnis demnach beschrieben, wenn Boolesche Netzwerke und das auf diesen gründende NK-Modell Kauffmans als Erweiterung zellulärer Automaten aufgefasst werden. Allerdings ist insbesondere in den Jahren nach dem Aufkommen des NK-Modells auch die Theorie zellulärer Automaten dahingehend weiterentwickelt worden, dass die früher bestehenden Einschränkungen zunehmend aufgehoben werden.³¹⁰⁸

Wie dissipative und synergetische Systeme repräsentieren zelluläre Automaten nichtlineare dynamische Systeme,³¹⁰⁹ die ausgehend von ungeordneten Zuständen in irreversiblen Evolutionsprozessen spontan makroskopische Ordnungen herauszubilden vermögen.³¹¹⁰ Zelluläre Automaten simulieren nichtlineare Dynamik und Selbstorganisation im diskreten Modell.³¹¹¹ Sie bestehen aus einer großen Anzahl räumlich angeordneter Zellen, die in ei-

³¹⁰⁴ Vgl. Wolfram (1983a: 3).

³¹⁰⁵ Bei binären Mikrobifurkationen führt die Zelle eine Boolesche Funktion aus, vgl. Kauffman (2000b: 47).

³¹⁰⁶ Vgl. zur Verwandtschaft von zellulären Automaten und Booleschen Netzwerken Kauffman (1984) und Wolfram (1984b); Ingerson/Buvel (1984) argumentieren, dass auch asynchrone zelluläre Automaten denkbar sind und dass diese als adäquat zu erachten sind, um das Phänomen der Selbstorganisation in natürlichen Systemen zu verstehen – unter der Prämisse, dass dies letztlich für alle komplexen Systeme universal gilt, nehmen auch sie damit den Gedanken Boolescher Netzwerke vorweg. Vgl. zu asynchronen zellulären Automaten K. Nakamura (1974), Nehaniv (2003) und J. Lee/Adachi/Peper (2007).

³¹⁰⁷ Die Geometrie eines zellulären Automaten zeigt sich im Allgemeinen dadurch bestimmt, dass sie auf einem spezifischen Umgebungstypus beruht, der zumeist in einer Moore- oder von-Neumann-Nachbarschaft besteht. Dieser Typus charakterisiert den zellulären Automaten in dieser Hinsicht vollständig, womit von einer homogenen Geometrie gesprochen werden kann. Homogenität besteht darüber hinaus hinsichtlich der Überführungsregeln, was zweckmäßig im Begriff des Automaten zum Ausdruck gelangt. Darüber hinaus zeigen sich auch die Wechselwirkungen als symmetrisch. Denn die Umgebung einer Zelle wirkt auf die Zelle ein, aber die Zentralzelle fungiert selbst als Umgebungszelle für die Zellnachbarn. Mit der Einführung von Booleschen Netzwerken besteht die Möglichkeit, die Einschränkungen zellulärer Automaten aufzuheben, und zwar durch heterogene Überführungsregeln sowie durch eine heterogene wie asymmetrische Geometrie der topologischen Relationen des formalen Systems.

³¹⁰⁸ Vgl. zu diesen jüngeren Arbeiten etwa Peper et al. (2002).

³¹⁰⁹ Vgl. Langton (1992c: 42).

³¹¹⁰ Vgl. Wolfram (1984d: 15).

³¹¹¹ Allerdings ist die Anwendung zellulärer Automaten als Modelle *kontinuierlicher* Systeme auch möglich, vgl. hierzu Wolfram (1986b).

nem n -dimensionalen Gitter (Lattice) organisiert sind,³¹¹² die Zellen bilden dabei gewissermaßen die Felder des Gitters. In den verschiedenen Ansätzen zur *Theorie zellulärer Automaten* wird das System in der Regel von einem 1-, 2-, oder 3-dimensionalen Netzwerk aus Zellen geformt, die mit ihren Nachbarn interagieren. Jede Zelle kann einen von m möglichen diskreten Zuständen annehmen. Zelluläre Automaten entwickeln sich räumlich und zeitlich diskret.³¹¹³ Das System folgt einer konkreten Zeitdynamik, wobei die Zellen in diskreten Zeitschritten evolvieren. Damit eignen sich zelluläre Automaten insgesamt in besonderer Weise für computerbasierte Simulationen.³¹¹⁴ Beim Übergang zu neuen Zuständen berücksichtigen die Zellen die Zustände der jeweiligen Nachbarzellen.³¹¹⁵ Bei diesem Procedure kommen zwei bekannte Nachbarschaftsmodelle (neighborhood templates) zum Tragen, nämlich zum einen die von-Neumann-Nachbarschaft, zum anderen – nach E.F. Moore – die Moore-Nachbarschaft, die alternativ auch als fünf- resp. neunzellige Nachbarschaften bezeichnet werden,³¹¹⁶ und weiter unten in Abb. 16 dargestellt sind. Bei der von-Neumann-Nachbarschaft werden von der betrachteten Zelle die vier unmittelbar benachbarten Zellen oben, unten, links und rechts einbezogen.³¹¹⁷ Rechnen neben diesen vier Zellen auch noch die vier diagonal benachbarten Zellen mit, so wird von einer Moore-Nachbarschaft gesprochen. Auf Grundlage von zellulären Automaten ist es möglich, räumlich diskrete dynamische Systeme zu modellieren, bei denen die Entwicklung einzelner Zellen zum Zeitpunkt $t+1$ primär von den Zellzuständen in der vorgegebenen lokalen Nachbarschaft und vom eigenen Zustand zum Zeitpunkt t abhängt. Im Gegensatz zu anderen komplexen Systemen sind nur diese lokale Nachbarschaft und der eigene Zustand entscheidend. Jede Zelle kann sich nur innerhalb einer begrenzten Anzahl definierter Zustände ändern. Der Wert jeder Zelle ändert sich gemäß der gleichen deterministischen Regeln.³¹¹⁸ Jede dieser Zellen kann als ein einzelner Prozessor verstanden werden, der allein mit seinen Nachbarzellen kommuniziert und seinen Zustand gemäß der von diesen erhaltenen Informationen und seinem eigenen gegenwärtigen Zustand aktualisiert. Die Funktion zur Zustandsänderung ist für alle Zellen des Gitters entsprechend dieselbe. Als diskrete Systeme ändern zelluläre Automaten ihren Zustand nur zu bestimmten Zeitpunkten und nur innerhalb einer begrenzten Anzahl definierter Zustände und folgen dabei sehr einfachen Regeln. Das Systemverhalten zellulärer Automaten stellt sich dar als ein räumliches Muster; sie bilden geometrische Muster aus verschiedenen Zuständen räumlich verteilter gleichartiger Zellen. Insbesondere nach den Dimensionen ihrer Ausdehnung kann zwischen verschiedenen Typen zellulärer Automaten differenziert werden.

³¹¹² Prinzipiell kann ein Automat jede Dimension n haben, wobei n eine natürliche Zahl ist, vgl. auch Peitgen et al. (1994: 571, Fn. 13) sowie Hedrich (2002: 2).

³¹¹³ Vgl. etwa Toffoli/Margolus (1987).

³¹¹⁴ Vgl. hierzu Wolfram (1988b).

³¹¹⁵ Vgl. Wolfram (1984b: vii; 1986a: 387), Jen (1986a) sowie Toffoli/Margolus (1990: 230).

³¹¹⁶ Vgl. bspw. Langton (1986: 123); diese Gleichsetzung gilt nur bei einem Radius von 1.

³¹¹⁷ Daneben existieren zelluläre Automaten mit anderen Nachbarschaften, etwa der eindimensionalen Wolfram-Nachbarschaft oder der erweiterten Moore-Nachbarschaft.

³¹¹⁸ Vgl. Wolfram (1984b: vii).

Wie in Abb. 12 dargestellt, zeigen sich bei eindimensionalen zellulären Automaten die Zellen in Kettenform aneinandergereiht. Demgegenüber sind sie bei zweidimensionalen Automaten in einem flächigen Gitter angeordnet, wie es beim Schachbrett anzutreffen ist, während sich dreidimensionale Automaten als Würfel darstellen lassen:

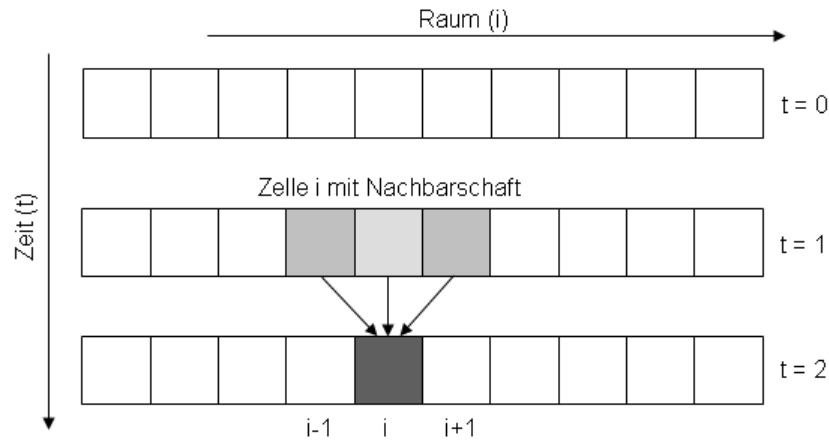


Abb. 12:³¹¹⁹ 1D zellulärer Automat

$a_{i-1}(t)$	$a_i(t)$	$a_{i+1}(t)$	$a_i(t+1)$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Abb. 13:³¹²⁰ Funktionstabelle einer Überföhrungsfunktion für 1D Automaten

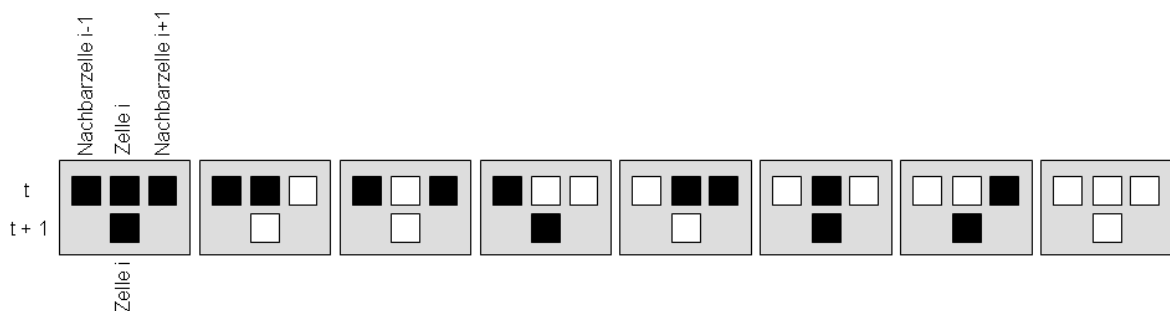
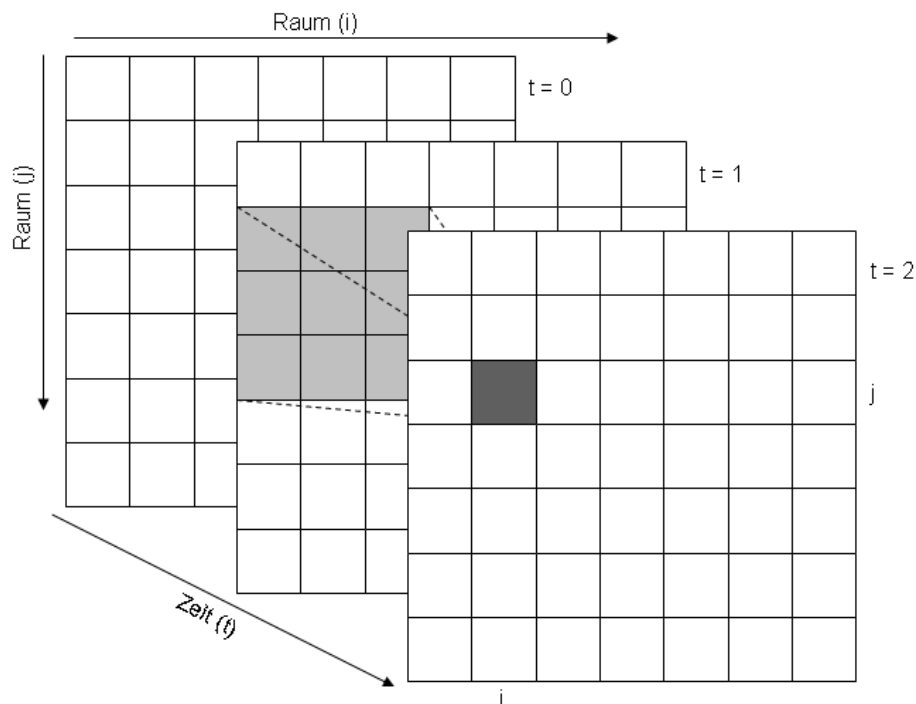


Abb. 14:³¹²¹ 1D zellulärer Automat mit Ausprägungen der Funktionstabelle

³¹¹⁹ Quelle: eigene Darstellung.

³¹²⁰ Quelle: eigene Darstellung.

³¹²¹ Quelle: eigene Darstellung.

Abb. 15:³¹²² Raum und Zeit in einem 2D zellulären Automaten

Vor dem Aufkommen der Komplexitätsforschung und der Entwicklung der Theorie zellulärer Automaten im Besonderen wurde komplexen Phänomenen in aller Regel auch ein komplexer Wirkmechanismus als Ursache unterstellt. Auch Wolfram (2002: 4) konstatiert: »In the existing sciences whenever a phenomenon is encountered that seems complex it is taken almost for granted that the phenomenon must be the result of some underlying mechanism that is itself complex«. Wolfram reklamiert an gleicher Stelle, dass er anhand zellulärer Automaten aufzeigen konnte, dass diese Annahme falsch ist, indem ihm der Nachweis gelang, dass ganz einfache Programme in der Lage sind, eine außerordentliche Komplexität zu erzeugen. Wenngleich die Regeln zellulärer Automaten für gewöhnlich von sehr einfacher Natur sind, kann aus diesen Zustandsänderungen auf globaler Ebene tatsächlich ein hochkomplexes und zumeist unvorhersehbares Verhalten resultieren.³¹²³ Damit steht der für die Komplexitätsforschung entscheidende Emergenzgedanke auch im Zentrum der Erforschung zellulärer Automaten.³¹²⁴ Die Analyse der lokalen Struktur der Regeln ermöglicht eine Beschreibung der globalen Eigenschaften der betreffenden Automaten.³¹²⁵ Entsprechend erweisen sich zelluläre Automaten als geeignete Plattform zum Studium effizienter Formen des *Emergent Computing*. Dahinter steht das Phänomen, dass eine große Zahl einfach interagierender Elemente auf der Basis weniger Informationen imstande ist, ein komplexes und koordiniertes Informationsverhaltensverhalten zu erzeugen. Die konstitutive Eigenschaft zellulärer Automaten besteht in ihrer selbstorgani-

³¹²² Quelle: eigene Darstellung.

³¹²³ Vgl. Kauffman (1984).

³¹²⁴ Vgl. hierzu etwa Langton (1986: 126 ff.).

³¹²⁵ Vgl. hierzu Jen (1986a).

sierten Strukturbildung aufgrund von Übergangsregeln. Die entsprechende in Abb. 13 ersichtliche Überföhrungsfunktion (transition function) determiniert die Zustandsänderungen aller Zellen des Automaten in Abhängigkeit von bestimmten Umgebungsbedingungen. Aus diesen Regeln resultieren qualitativ unterschiedliche räumliche Muster. Formal lassen sich zelluläre Automaten wie folgt repräsentieren:

$$ZA_{i,j} = (Q_{i,j}, I_{i,j}, \delta_{i,j})$$

mit

Zustand $q_{i,j} \in Q_{i,j}$ in der sich die Zelle auf Position i,j zu einem Zeitpunkt befindet

Nachbarschaft $I_{i,j}$ für eine Zelle auf Position i,j

Zustandsüberföhrungsfunktion $\delta_{i,j}$ für eine Zelle auf Position i,j gibt an, wie sich die Zelle aufgrund

- ihres eigenen Zustands sowie
- der Zustände der Nachbarn in $I_{i,j}$

in einem Zeitschritt ändert.

Hinsichtlich der Nachbarschaft $I_{i,j}$ für eine Zelle auf Position i,j bestehen in der von-Neumann-Nachbarschaft und der Moore-Nachbarschaft mit Radius 1 zwei gängige Alternativen für zweidimensionale Automaten:³¹²⁶

von-Neumann-Nachbarschaft

Moore-Nachbarschaft

$$I_{i,j} = \{(i, j + 1), (i + 1, j), (i, j - 1), (i - 1, j)\} \quad I_{i,j} = \{(i, j + 1), (i + 1, j), (i, j - 1), (i - 1, j), (i + 1, j + 1), (i + 1, j - 1), (i - 1, j + 1), (i - 1, j - 1)\}$$

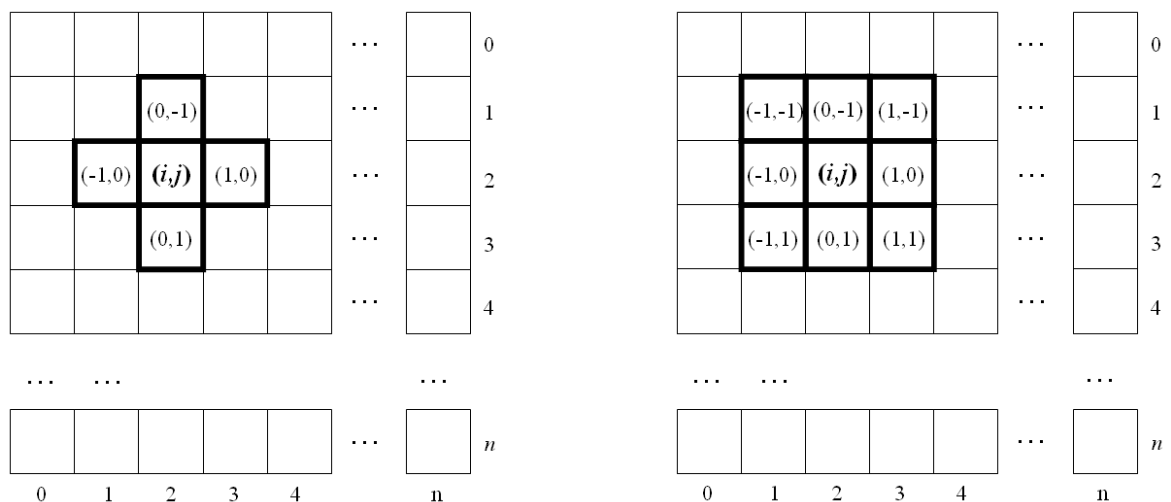


Abb. 16:³¹²⁷ Nachbarschaft $I_{i,j}$ für eine Zelle auf Position i,j

Anhand des erwähnten *Game of Life* Conways lässt sich zeigen, dass ein Modell, das nur aus wenigen Regeln besteht, stark genug ist, um ein lebendiges System zu erzeugen.

³¹²⁶ Bei einem größeren Radius werden entsprechend mehr Zellen betrachtet.

³¹²⁷ Quelle: eigene Darstellung.

Das gilt auch dann, wenn alle Eigenschaften, die man von solchen Systemen erwartet, wie Stabilität, Schwingungen, Selbsterzeugung oder Bewegung berücksichtigt. Der zelluläre Automat, der von Conway als "Game of Life" entwickelt wurde, baut auf diesen Voraussetzungen auf: Er besteht aus einem 2-dimensionalen Raum, auf dem eine Moore-Nachbarschaft mit Radius 1 definiert ist. Jede Zelle kann einen von zwei Zuständen annehmen, die als "tot" oder "lebendig" interpretiert werden können:

- $Q_{i,j} = \{0,1\}$
- Es gilt die Moore-Nachbarschaft mit Radius 1
 $I_{i,j} = \{(i, j+1), (i+1, j), (i, j-1), (i-1, j), (i+1, j+1), (i+1, j-1), (i-1, j+1), (i-1, j-1)\}$
- Daneben gilt die Überföhrungsfunktion $\delta_{i,j}$ für eine Zelle auf Position i,j
 $\delta_{i,j}(q_{i,j}, q_{i,j+1}, q_{i+1,j}, q_{i,j-1}, q_{i-1,j}, q_{i+1,j+1}, q_{i+1,j-1}, q_{i-1,j+1}, q_{i-1,j-1}) =$
 - 1 if $q_{i,j} = 1 \ \& \ (sum = 2 \mid sum = 3)$
 (eine lebende Zelle bleibt am Leben, wenn 2 oder 3 lebende Nachbarn)
 - 0 if $q_{i,j} = 1 \ \& \ (sum < 2 \mid sum > 3)$
 (eine lebende Zelle stirbt, wenn weniger als 2 oder mehr als 3 lebende Nachbarn)
 - 1 if $q_{i,j} = 0 \ \& \ sum = 3$
 (eine tote Zelle wird geboren, wenn genau 3 lebende Nachbarn)
 - 0 if $q_{i,j} = 0 \ \& \ sum \neq 3$
 (eine tote Zelle bleibt tot, wenn nicht genau 3 lebende Nachbarn)

mit $sum = q_{i,j+1} + q_{i+1,j} + q_{i,j-1} + q_{i-1,j} + q_{i+1,j+1} + q_{i+1,j-1} + q_{i-1,j+1} + q_{i-1,j-1}$ Summe der lebenden Nachbarn

Ausgehend von der Physik und Kosmologie im engeren Sinne fragt Wolfram nach den Entstehungsprinzipien für das Auftreten von Komplexität, wie sie überall im Universum zu beobachten ist.³¹²⁸ Dazu werden unzählige Computerexperimente vollzogen: »Perhaps immediately most dramatic is that it yields a resolution to what has long been considered the single greatest mystery of the natural world: what secret it is that allows nature seemingly so effortlessly to produce so much that appears to us so complex«. ³¹²⁹ Vor diesem Hintergrund sucht Wolfram nach allgemeinen Modellen, auf deren Basis sich die vielfältigen makroskopischen Strukturen erklären lassen, die aus der mikroskopischen Wechselwirkung unzähliger Atome, Zellen, Neuronen oder Organismen emergieren. Diese allgemeinen Modelle identifiziert Wolfram in zellulären Automaten. Bei der Untersuchung der eigenartigen Musterszenarien, die makroskopische Ordnungen zellulärer Automaten ausbilden, wird für Wolfram deutlich, dass nicht jede beliebige Menge von Anfangsbedingungen ein Universum erzeugen kann. Daraufhin konzentriert sich Wolfram darauf, sämtliche Strukturen zu untersuchen, die in eindimensionalen zellulären Automaten mit ihren vollkommen deterministischen Regeln auftreten können. Mit Hilfe aufwendiger Computerbe-

³¹²⁸ Vgl. Wolfram (2002: 17 ff.).

³¹²⁹ Vgl. Wolfram (2002: 2).

rechnungen stellt sich heraus, dass alle eindimensionalen Automaten im Hinblick auf ihr qualitatives Verhalten in nur vier verschiedene Klassen eingeteilt werden können, wobei diese Klassifizierung auch auf zwei- und dreidimensionale Automaten übertragen wird:³¹³⁰

1. Automaten der Klasse I entwickeln sich aus beliebigen Anfangszuständen zu einem unveränderlichen Endzustand (homogener Gleichgewichtszustand).
2. Automaten der Klasse II bilden im Laufe ihrer Entwicklung Muster aus, die sich konstant oder periodisch wiederholen (konstanter oder periodischer Endzustand).
3. Automaten der Klasse III zeigen ein chaotisches und unvorhersehbares Verhalten; ihre Muster lassen keine Periodizität erkennen. Gelegentlich tritt Selbstähnlichkeit auf, wie sie bei linearen Fraktalen zu beobachten ist (chaotischer Endzustand fraktaler Dimension).³¹³¹
4. Automaten der Klasse IV entwickeln komplizierte, räumlich voneinander getrennte Strukturen; sie sind instabil und aperiodisch (komplexe Muster als Attraktor). Die Klasse IV repräsentiert vermutlich universale Automaten. Ein Beispiel besteht in den Gleitern in Conways *Game of Life*. Diese Automaten bewegen sich selbstorganisatorisch in Raum und Zeit fort und ihr Verhalten ist nicht vorhersagbar. Diese vierte Klasse verkörpert den Rand des Chaos.

Wie oben festgestellt, entwickeln sich zelluläre Automaten durch Selbstreproduktion, wie sie durch Conways *Game of Life* in einfacher Weise illustriert wird. Dabei kehren beim reversiblen Typus (Klasse I und II) dieselben Strukturen immer wieder, während beim irreversiblen Typus (Klasse III und IV) immer neue Strukturen entstehen. Je nach den Anfangsbedingungen ergeben sich bestimmte Verhaltensweisen, wie die Ausbreitung eines Musters oder dessen zyklische Verwandlung. In anderen Fällen kommt es dazu, dass die entstandenen Muster rasch wieder verschwinden. In wieder anderen Fällen reproduzieren sich die Muster selbst und wandern dabei durch das Gitter. Zelluläre Automaten der Klasse III liefern Erklärungsmodelle für die Evolution des Universums. Ihr Verhalten ist wie bei dissipativen Systemen irreversibel, das heißt zeitlich nicht symmetrisch.³¹³² Automaten der Klasse IV bringen noch komplexeres Verhalten hervor. Hierbei wird angenommen, dass solche Automaten zu universellen Berechnungen fähig sind, womit sie das Verhalten jedes anderen Rechnersystems simulieren können. An das Werk Wolframs knüpfen die Überlegungen von Langton unmittelbar an.³¹³³ Ausgehend von einer formalen Definition eines endlichen zellulären Automaten mit

- einer endlichen Reihe von Zellzuständen Σ mit der Anzahl $|\Sigma|$
- einem endlichen Informationsfluss (input alphabet) α

³¹³⁰ Vgl. hierzu Wolfram (1984c: 4 ff.) sowie Langton (1990: 16 f.; 1992c: 46).

³¹³¹ Vgl. hierzu auch Grassberger (1984).

³¹³² Vgl. Wolfram (1983a).

³¹³³ Vgl. zum Folgenden Langton (1990: 13 f.; 1992c: 43 f.).

- einem Nachbarschaftsmodell \mathcal{N} mit der Größe $|\mathcal{N}|$
- und einer Überföhrungsfunktion Δ

Sei $N = |\mathcal{N}|$:

$$\Delta: \Sigma^N \rightarrow \Sigma$$

Der Zustand einer Nachbarschaft entspricht dem Vektorprodukt der Zustände des endlichen Automaten in den Grenzen des gegebenen Nachbarschaftsmodells

$$\alpha = \Sigma^N$$

Sei $K = |\Sigma|$

dann folgt daraus:

$$|\alpha| = |\Delta| = \left| \Sigma^N \right| = K^N$$

Langton legt dar, auf welche Weise ein Automat nur anhand seiner Produktions- resp. Überföhrungsregel in eine von Wolframs vier Klassen eingeteilt werden kann, und zwar auf der Basis des Parameters λ , der weiter unten definiert wird. Auf diese Weise lassen sich aufwendige Computereperimente vermeiden, da die langfristigen Verhaltensweisen einzelner Überföhrungsregeln auf Basis von λ direkt den vier archetypischen Klassen Wolframs zugeordnet werden können. Wenn gilt, eine Überföhrungsfunktion Δ zu definieren, muss jeder einzelne Zustand in der Reihe der Zellzustände Σ mit jedem möglichen Nachbarschaftszustand verbunden werden. Es wird also jeweils die gesamte Menge möglicher Übergangsregeln betrachtet, die für einen speziellen Zellularautomaten unter Berücksichtigung von N Nachbarzellen und K möglichen Zuständen jeder Zelle angenommen werden können. Entsprechend kann die zu berücksichtigende Nachbarschaft einer fokussierten Zelle prinzipiell K^N verschiedene Zustände annehmen. Da $K = |\Sigma|$ mögliche Zustände im nächsten Schritt für jedes der $\left| \Sigma^N \right|$ möglichen Nachbarschaftszustände gegeben sind, folgt daraus die Existenz von $K^{(K^N)}$ möglicher Überföhrungsfunktionen Δ , die sich entsprechend definieren lassen.

Vor diesem Hintergrund gilt es, den Parameter λ für eine beliebige Überföhrungsfunktion Δ zu ermitteln. Dazu wird ein beliebiger Zellzustand s_q (quiescent state) aus den K Möglichkeiten ausgewählt und analysiert, wie viele verschiedene Nachbarschaftszustände unter Anwendung der Überföhrungsfunktion Δ zu diesem Zustand führen. Diese Zahl ist mit n_q bezeichnet. Der Parameter λ gibt nun den Anteil der übrigen Nachbarschaftszustände an der Gesamtheit der K^N Nachbarschaftszustände an, und es gilt:³¹³⁴

³¹³⁴ Vgl. Langton (1992c: 44).

$$\lambda = \frac{K^N - n_q}{K^N}$$

Je größer der Parameter ausfällt, desto größer ist auch die Zufälligkeit und Heterogenität der durch die betrachtete Überföhrungsfunktion erzeugten Outputs. In dem Spektrum des Parameters λ zwischen 0 und 1 lassen sich die vier oben genannten Klassen Wolframs zuordnen. Langton weist nach, dass Automaten in der Nähe von $\lambda = 0$ der ersten Klasse entsprechen; hier stirbt alles Leben sofort ab.³¹³⁵ Analoges gilt für die Wahrscheinlichkeit $\lambda = 1$, bei der alles Leben dauerhaft erhalten bleibt.³¹³⁶ Automaten der dritten Klasse treten vor allem ab einer Wahrscheinlichkeit von etwa 0,5 auf.³¹³⁷ Hier durchlebt der Automat ein fortlaufendes Wechselspiel von toten und lebendigen Zellen. Die zweite Klasse ist zwischen dem Bereich 0 und 0,3 definiert. Ab einer Schwelle, die sich bei etwa $\lambda = 0,3$ befindet, sind Automaten in die vierte Klasse zu kategorisieren. Mit ihrem komplexen Verhaltensspektrum sind sie zwischen dem periodischen und chaotischen Bereich angesiedelt. Die Reihenfolge der Klassen, die bei einer Zunahme von λ durchlaufen wird, ist somit $I \rightarrow II \rightarrow IV \rightarrow III$.³¹³⁸

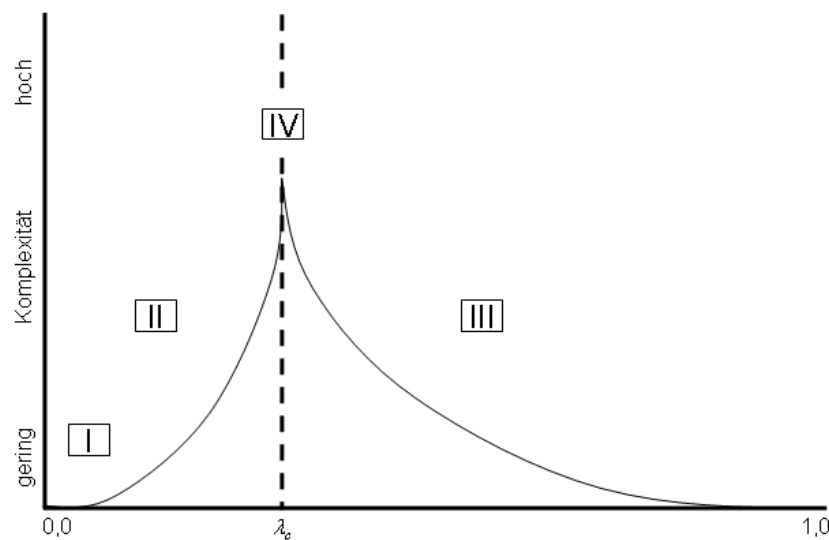


Abb. 17:³¹³⁹ Langtons Topografie zellulärer Automaten

Im Ergebnis zeigt Langtons Topografie zellulärer Automaten, dass ihre Komplexität zunächst mit zunehmender Größe des Parameters λ ansteigt, bei Überschreiten eines kritischen Wertes λ_c jedoch wieder absinkt. Völlige Unordnung (Klasse III), die sich stochastisch abbilden lässt, zeigt sich letztlich als von ebenso einfacher Struktur wie völlige Ordnung (Klasse I und II). Demgegenüber liegt der Bereich komplexen Systemverhaltens

³¹³⁵ Vgl. Langton (1986: 127, 129).

³¹³⁶ Vgl. Langton (1986: 128).

³¹³⁷ Vgl. Langton (1990: 25).

³¹³⁸ Vgl. Langton (1992c: 56).

³¹³⁹ Quelle: eigene Darstellung.

(Klasse IV) auf dem zwischen den Klassen II und III gegebenen schmalen Grat des Phasenübergangs von Ordnung zur Unordnung, dem bekannten Chaosrand ("edge of chaos").

Zelluläre Automaten korrespondieren auch insofern mit Whiteheads prozessualer Digitalmetaphysik als auch sie ereigniszentrisch veranlagt sind und dabei zwischen verschiedenen Ereignistypen differenzieren: Ihre Ordnungsstrukturen sind insgesamt in ihren prozesshaft wechselnden Zuständen als Makroereignisse (States) zu verstehen, die sich auf Mikroebene in Form spezifischer Mikroereignisse darstellen. Diese bilden im Sinne der bereits erwähnten abstrakten *Finite-state Machines* (FSM) bzw. *Finite-state Automata* (FSA) als einfachsten *endlichen Automaten* entweder "input events" oder "output events", welche durch weitere interne Verarbeitungsereignisse zu ergänzen sind. Dabei besteht in diesen "input events" und "output events" die Verkopplung zwischen Makro- und Mikroereignissen, indem alle "output events" zu einem beliebigen Zeitpunkt über die gesamte Netzwerkstruktur hinweg jeweils einen spezifischen Ordnungszustand als Makroereignis bedeuten. Das entspricht den Whiteheadschen (1929a) "*events*" als Ordnungsmuster, indem diese im Zeichen des lat. "*evenire*" im Grunde als prozessualer *Ergebniszustand* zu verstehen sind. Letztlich wird allein diese Sichtweise dem Verarbeitungsgesichtspunkt (*Processing*) der AI-Programmierung gerecht, und sie allein korrespondiert mit dem für die gesamte Informatik wesentlichen *Complex Event Processing* (CEP). In Bezug auf die Sensorik gilt, dass Objekte nicht nur epistemisch, sondern genauso ontisch gegeben sind. Im Whiteheadschen Sinne konstituieren sie sich durch die Reproduktion von Ordnungsmustern. Dementsprechend kommen wir unter Pkt. 6.2.1 nochmals auf den Automatenaspekt im CEP-Kontext zurück.

Im Unterschied zu zellulären Automaten stellt Kauffmans (1969, 1993) *NK-Modell* eine verwandte, jedoch in universaler Hinsicht nicht vergleichbare weitere *Theorie komplexer Systeme* dar. Zwar setzt sie genauso logico-mathematisch an, indem sie auf Booleschen Netzwerken gründet; allerdings gibt es auch hier – wie in der ersten Gruppierung – einen fachspezifischen Kern, indem das *NK-Modell* ursprünglich im Kontext der Genregulation entwickelt worden ist. Kauffmans *Complex Switching Circuits* gehen auf den durch J. von Neumann (1951) im Rahmen der Automatentheorie entwickelten Gedanken des *Switching Organ* sowie der aus der Booleschen (1854) mathematischen Logik hervorgegangenen *Switching Circuits* Shannons (1938) zurück. Dass diese im *ereigniszentrischen* Sinne zu verstehen ist, gilt universal für jede der abgegrenzte Welten; entsprechend lässt sich auf E. Berkeleys (1954) *Algebra of States and Events* aufbauen, mit der die Boolesche Algebra vor dem Hintergrund der Schaltalgebra Shannons (1938) auf einen Ereigniszentrismus fixiert wird:

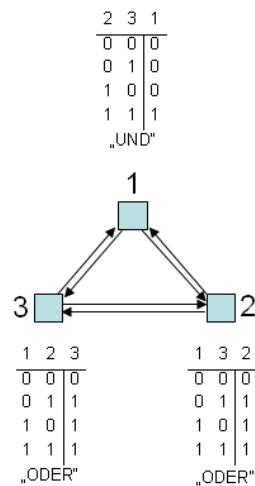


Abb. 18:³¹⁴⁰ Einfaches NK-Modell

Agentenbasierte Modelle bilden mit Holland (1999) und anderen den Kern der Ansätze des *Santa Fe Institute*.³¹⁴¹ Auch das NK-Modell Kauffmans (1996, 2003, 2004) ist in seinen Adaptionprozessen durch diesen Agentengedanken geprägt. Wenn auch nicht immer von *Agenten* die Rede ist, so stehen sie dennoch hinter der Logik der verschiedenen Konzepte. Das ist etwa der Fall, wenn bei *komplexen adaptiven Systemen* (CAS) im Rekurs auf den Populationsgenetiker S. Wright (1932) von *adaptiven Wanderungen*, *Suchprozessen* und *Fitnesslandschaften* gesprochen wird,³¹⁴² was letztlich auf Basis *lern- resp. anpassungsfähiger, intelligenter Agenten* zu sehen ist. Die *adaptiven Landschaften*, die heute durch die *Theorie komplexer Systeme* im Sinne von Fitnesslandschaften adressiert werden, zeigen sich bei S. Wright (1932) im Sinne hügeliger resp. zerklüfteter Landschaften (*rugged landscapes*) konzipiert, die die unterschiedliche Fitness resp. den Reproduktionserfolg unterschiedlicher Genkombinationen repräsentieren. Dabei bedeuten die Täler (*mountain valleys*) einen geringeren Reproduktionserfolg der Genkombinationen, während Hügel für günstigere Genkombinationen stehen.³¹⁴³ Im Zuge der natürlichen Auslese streben die Populationen auf die Gipfel (*peaks*) der Hügel. Da sich die Umwelt aber fortwährend wandelt, verschieben sich die Gipfel beständig, und die Populationen folgen ihnen in einer nie endenden Reise; sie erkunden die Landschaft auf Basis von Versuch und Irrtum:

»The problem of evolution as I see it is that of a mechanism by which the species may continually find its way from lower to higher peaks in such a field. In order that this may occur, there must be some trial and error mechanism on a grand scale by which the species may explore the region surrounding the small portion of the field which it occupies. To evolve, the species must not be under strict control of natural selection.«³¹⁴⁴

³¹⁴⁰ Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Kauffman (1993: 189; 1995a: 76).

³¹⁴¹ Vgl. zu weiteren Ansätzen etwa Arthur (1991, 1993a, 2006) oder Kauffman (1996, 2003).

³¹⁴² Vgl. etwa P. Schuster (1999a).

³¹⁴³ Dieses Konzept lässt sich im transdisziplinär reflektierten Sinne auch etwa auf die Wirtschaftswissenschaften übertragen. Hier zielen Suchprozesse dann darauf ab, wie Produktionsfaktoren im Sinne aller dynamischen Unternehmerfunktionen zu kombinieren sind, so dass sich beständig neue Gipfel entdecken und bezwingen lassen.

³¹⁴⁴ S. Wright (1932: 358 f.).

Dabei lässt sich von *evolvierenden Umwelten* in dem Sinne sprechen, als sich Fitnesslandschaften und Attraktoren wandeln: »Instead of a fixed landscape of attractors, and a system operating in one of them, we have a changing system, moving in a changing landscape of potential attractors«. ³¹⁴⁵ Es gilt: »[a]ny such landscape is a reflection of the environment and of the strategies [or choices, A.d.V.] of the other players [or agents, A.d.V.], and so it never stops changing«. ³¹⁴⁶ Das Konzept der *Fitnesslandschaften* stand ursprünglich im biologischen Kontext resp. in jenem *komplexer adaptiver Systeme*; mittlerweile bildet es ebenso eine mehr oder weniger universale Komponente komplexer Systeme. ³¹⁴⁷

Insgesamt wird deutlich, dass die Komplexitätsforschung eine doppelte Mittlerfunktion für die Klasse-4-Metaphysik besitzt. Diese bezieht sich zum einen auf die empiristische Universalsynthese, die unmittelbar über die *Theorie komplexer Systeme* führt. Zum anderen besteht diese in der methodologischen Übersetzung der prozessmetaphysischen Grundlagen. Entsprechend repräsentiert die Komplexitätsforschung mit dieser Mittlerfunktion im Wesentlichen das Whiteheadsche »interplay between science and metaphysics«. Schließlich lässt sich vor diesem Hintergrund zur Interdependenz zwischen der Klasse-4-Metaphysik Whiteheads und der Komplexitätsforschung folgendes feststellen: Aus Sicht der Prozessmetaphysik gilt, dass die Verbindung zur Komplexitätsforschung mit Blick auf den Ratio-Empirismus unabdingbar ist. Denn eine empiristische Universalsynthese lässt sich kaum anders realisieren als auf Basis der einzelnen Theorien komplexer Systeme. Zudem ist ein Rekurs der Wissenschaften auf die Metaphysik nur dann möglich, wenn es einen unmittelbaren methodologischen Anschluss gibt. Auch diesen stellt die Komplexitätsforschung sicher.

Aber auch umgekehrt besteht diese Interdependenz in vielfältiger Hinsicht. Das beginnt damit, dass ohne Metaphysik nicht die ontologischen Grundlagen der AL-Disziplin zu hinterfragen sind, deren Klärung allgemein gefordert wird. Zudem zeigen bereits Jantsch (1979) oder Zuses (1982) *Computing Universe*, dass die Komplexitätsforschung durchaus einen kosmologischen Anspruch besitzt, der mit Whiteheads (1929a) kosmologischer Komplexitätsmetaphysik grundgelegt wird. Ferner zeigen alle Disziplinen, in denen es zur Anwendung der Theorie komplexer Systeme kommt, dass sie schon allein in wissenschaftlicher Hinsicht eines einigenden Fundaments im Sinne Leibnizens bzw. des IMKO *OCF* bedürfen. Das gilt etwa für die *"New Physics"*, *"New Chemistry"* oder *"New Biology"* – und nicht zuletzt genauso für die Cyber-Physik der Informatik. Sie alle bauen auf dem Komplexitätsparadigma und schließlich faktisch auf dem gleichen metaphysischen Fundament auf, nämlich auf der Kosmologie Whiteheads. Zu Whitehead gibt es keine Alternative, und deshalb kann dies in aller Klarheit festgestellt werden; und es muss in dieser Klarheit konstatiert werden, indem die Wissenschaftler kaum mehr das Ganze sehen – d.h. den Umstand, dass alle Disziplinen inzwischen implizit oder gar explizit die gleiche Kos-

³¹⁴⁵ Vgl. P.M. Allen (2001a: 40).

³¹⁴⁶ Vgl. P.M. Allen (2000: 101).

³¹⁴⁷ Vgl. etwa Feistel/Ebeling (1985).

mologie voraussetzen. Die Informatik gehört zu jenen Disziplinen, in denen dies am wenigsten bemerkt worden ist, wie es etwa die im fünften Teil behandelten Philosophien zeigen, auf die gegenwärtig rekurriert wird. Genauso zeigt es der Streit um die meta-ontologischen Dispositionen im sechsten Teil, der sich genauso erübrigt, wenn man – wie im siebten Teil vollzogen – bei der universalen Anforderungsspezifikation der Informatik ansetzt.

Indem die Suche nach der *Einheit der Erkenntnis* immer ein kosmologisches Unterfangen darstellt, zeigt sich die Interdependenz aus Sicht der Komplexitätsforschung schließlich auch in dieser Sache. Es geht also um ihren transdisziplinären Anspruch, der durch sie unmissverständlich vor dem Hintergrund der Einheit aller Wissenschaften, der Einheit allen Wissens und der Einheit der Erkenntnis artikuliert wird. Mit Mainzer (2012: 12) geht es um eine *integrative Wissenschaft*, die im Zeichen Leibnizens steht, was unmittelbar im Zusammenhang mit Mainzers (1993) *Transdisziplinaritätsgedanken* zu sehen ist. Mit dem Leibnizschen Automatenuniversum, mit seiner formalen Logik und seinem doppelten Ontologieverständnis im Sinne des IMKO *OCF* steht dabei außer Frage, dass diese *integrative Wissenschaft* wiederum in diesem doppelten ontologischen Sinne zu verstehen ist: sie muss mit Leibniz bzw. Wolff auf der gleichen *metaphysica generalis* gründen, indem nicht anders ihre strukturalistische Einheit zu denken ist. Daraus folgt, dass diese strukturalistische Einheit genauso auf der Wissensebene erhalten bleiben muss, damit eine transdisziplinäre Repräsentation im Sinne Leibnizens auch möglich ist. Das aber ist natürlich nicht auf Basis der Grammatik des *RDF Triple* oder von OWL realisierbar, indem dies genau das wäre, was Leibniz rundweg ablehnt. Damit kommen Whitehead und Popper ins Spiel, die in genau der gleichen kosmologischen Linie stehen und mit denen die methodologische Lösung deutlich wird, die einzig dem Leibnizschen Denkansatz gerecht wird. Entsprechend ist evident, dass alles Einheitsdenken, das die Komplexitätsforschung in konstituierender Weise für sich reklamiert, den Wissenschaftsvollzug gemäß dem IMKO *OCF* impliziert. D.h. es bedarf einer *Top-level Ontologie*, die unmittelbar auf die *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads rekurriert und die Scharnierfunktion zwischen metaphysischer Ontologie und Wissensontologie übernimmt. Und es bedarf *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz, die im System der Ontologien primäre Stellung besitzen. Indem die Informatik auf der Komplexitätsforschung aufbaut, läuft ihre universal voraussetzbare Ontologiearchitektur bzw. ihr ontologischer "Gold Standard" auch in dieser Hinsicht auf CYPO/IMKO hinaus.

4.4 Ontologische Dichotomien: Zur Spezifikation von Objekt vs. Ereignis

»Almost everything in metaphysics is controversial, and it is therefore not surprising that there is little agreement among those who call themselves metaphysicians about what precisely it is that they are attempting.«

— William H. Walsh (1967: 300)

Wenn Quine (1948) die ontologische Kernfrage "Was gibt es?" in seinem Realismus mit "Alles" beantworten will und gleichzeitig behauptet, jedermann würde dem mit "wahr"

zustimmen, ist das ein Irrtum. Das gilt analog für ihre Beantwortung mit "Nichts", wie es Nietzsche (1885-87) mit seinem Nihilismus glauben machen will. "Alles" oder "Nichts" sind denkbar schlechte Optionen, wenn es um die Ontologie der Informatik geht. In beiden Fällen hätte sich damit bereits die Kernaufgabe des Ontologen erledigt. Die ontologische Kernfrage wird jedoch im Allgemeinen in völlig anderer Intention gestellt, nämlich dass es "etwas" gibt. Für die große Mehrzahl aller Ontologen, jener der Informatik ohnehin, gilt also die metaphysische Disposition, dass es bestimmte Entitäten der einen oder andern Art gibt:³¹⁴⁸ Nur ausgehend von dieser Hypothese kann Ontologie als *metaphysische Ontologie* wie als Wissensontologie überhaupt sinnvoll sein. Mit Lewis (1990) unterstellen die meisten Ontologen entsprechend weder als "All-ists" die *Existenz aller Entitäten* noch als "None-ists" die Negation dieser Position im Sinne Nietzsches. Vielmehr vertreten sie als "Some-ists" die moderate Haltung zwischen den Polen. Es ist dieses moderate Ontologieverständnis, das für die *universale Ontologie* allein die Richtung vorgibt, indem es mit den regionalen Ontologien und entsprechend mit der Wissenschaftspraxis korrespondiert. Diese wirkt im Sinne des *Ratio-Empirismus* wiederum auf die metaphysische Kategorialanalyse zurück. Demgegenüber spielen metaphysische Kategorien für "All-ists" wie Quine oder "None-ists" wie Nietzsche naturgemäß keine Rolle. Denn "Alles" bzw. "Nichts" lässt sich kaum sinnvoll bzw. nicht kategorisieren.

Erst diese Ausgangshypothese, dass es "etwas" gibt, impliziert den großen Stellenwert der *Ontologie als Disziplin* wie des *Ontology Engineering*, da in diesem Fall zwei umfassende Sachverhalte aufzulösen sind, die mit Pkt. 6.1.3 in direkter Verbindung zur Kategorialanalyse stehen: (i) es ist eingehend zu untersuchen, genau *welche Kategorien von Entitäten* unter welchen Bedingungen existieren und in welcher Relation sie zueinander stehen. Schon diese Frage ist selbstverständlich nicht linguistisch, sondern allein über den *Ratio-Empirismus* der Klasse-4-Metaphysik beantwortbar. (ii) Damit direkt verbunden ist zu klären, was es heißt, *dass es "etwas" gibt*, und hier kommt die zweite Hinsicht ins Spiel, die jede Art von Kategoriensystem bestimmt, nämlich die Frage, *welcher Art* die unter (i) identifizierten Kategorien von Entitäten sind. Gerade auch in dieser Hinsicht unterscheiden sich die konkurrierenden Kategoriensysteme grundsätzlich, was vor allem dadurch bedingt ist, dass es eine ganze Reihe von Dichotomien gibt, anhand derer sich die Antwort auf diese Frage spezifizieren lässt; im Wesentlichen sind dies genau die weiter unten in Abb. 19 dargelegten und im Anschluss diskutierten vier ontologischen Dichotomien. Zweifellos sind mit der unter (ii) gestellten Frage, was es heißt, *dass es "etwas" gibt*, also genau *welcher Art* die unter (i) identifizierten Kategorien von Entitäten sind, die vielfältigsten meta-ontologischen Aspekte berührt, die im sechsten Teil im Einzelnen erörtert werden.

Während sich bei Nietzsche Metaphysik und Ontologie ohnehin erledigt haben, gilt dies letztlich auch für Quine (1948) insofern, als sich sein verfehelter Einstieg in die Ontologie auch nicht im Nachhinein korrigieren lässt: wenn es bei ihm "Alles" gibt, entfällt auch hier

³¹⁴⁸ Vgl. exemplarisch Chisholm (1973a).

die Kärnerarbeit der Ontologie. Eine umfassende ontologische Analyse ist dann genauso wenig erforderlich wie die damit verbundene Spekulation um die sachgerechten Kategorien der Metaphysik; es überrascht entsprechend nicht, wenn letztere für Quine auch *de facto* obsolet ist. Allerdings verhält es sich tatsächlich ganz anders; die Metaphysik ist unabdingbar, um im ratio-empirischen Entwurf zu hinterfragen, *genau welche* Kategorien es gibt und in welcher Relation sie zueinander stehen. Es reicht also nicht, wie Quine die *4D-Ereignisse*, die als seine zentrale Kategorie gerade erst über den Ratio-Empirismus der Prozessmetaphysik Whiteheads gewonnen wurden, einfach aus dieser zu übernehmen und anschließend selbst im Zeichen des Zeitgeistes auf eine antimetaphysische Haltung zu pochen. Quine hat damit eine ganze Generation von Ontologen in die Irre geführt, während sie nicht einmal seine eigene Grundsatzkritik am linguistischen Ontologieverständnis verstanden haben. Mit Gruber (1993, 1995) ist dies für die Ontologie der Informatik unmittelbar relevant; mit der direkten Quine-Rezeption Mealys (1967) oder McCarthys (2000) umso mehr. Vielmehr sind die Quinesche *4D-Ereigniskategorie* und andere Kategorien genau in der Weise zu entwickeln, wie sie im Ratio-Empirismus Whiteheads entwickelt werden. Dass es im Gegensatz zu Whitehead mit Pkt. 5.1 bei Quine nur *Ereignisse* und keine *Objekte* gibt, ist letztlich seiner fehlenden metaphysischen Reflexion geschuldet.

Dabei muss die kategoriale Klärung in einem einheitlichen Ontologieverständnis auf alle Welten zielen.³¹⁴⁹ Denn sie muss für das Universum als solches wie für alle Diskursuniversen (UoD) im Einzelnen gelten können. Der *formale Ontologiebegriff* subsumiert sowohl den philosophischen Ontologiebegriff als auch den AI-Ontologiebegriff, indem sämtliche Diskursuniversen (UoD) Berücksichtigung finden. Mit Boole (1854: 30) wird deshalb explizit auch auf das physische *Universum* bezogen. In dieser Weise wird es auch bei Zuse (1982) konzipiert. Dabei ist in einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption im Zeichen disparater Weltmodelle immer der *Cyberspace* mit einzubeziehen, wenn dieser im kausalen CPS-Sinne gehört offensichtlich zum Universum dazugehört. Indem auch dieser von *logico-mathematischer Struktur* ist, erweist sich ein solcher Einbezug im Sinne formaler Ontologie als unproblematisch. Die Welttypen sind also metaphysisch kompatibel, was Grundvoraussetzung einer integrierten Ontologiekonzeption ist. Vor diesem Hintergrund wird mit Pkt. 5.1 gezeigt, warum sich McCarthy (2000) in seiner Auffassung, wonach sich Quines Ontologieverständnis für die AI-Zwecke am besten eigne, in prinzipieller Weise täuscht. Denn in Sachen von McCarthys (1995) "*general world view*", den Bunge (1983b, 2010) synonym zum Ontologiebegriff nutzt, ist die Informatik mit einem "*All-ist*" in kategorialen Fragen offenbar schlecht beraten.

Die Ontologie der Informatik hat mit Mealy (1967) zu klären "*what exists*"; sie muss mit McCarthy (1980: 31) zunächst "*the things that exist*" identifizieren. Gerade an den Zwecken der Informatik wird deutlich, dass "Alles" bzw. "Nichts" in all ihren Bereichen

³¹⁴⁹ Dies ist im strukturalistischen Sinne gemeint, indem die Welten mit den *logico-mathematischen Strukturen* der aktuellen Welt in Leibnizens Automaten Sinne korrespondieren. Diese Sichtweise entspricht der *Weltauffassung als Diskursuniversum*, wie sie auf die mathematische Logik zurückgeht.

von der Datenmodellierung bis zur Wissensrepräsentation keine akzeptablen Antworten sind. Die Probleme beginnen bereits bei den Unzulänglichkeiten der Alltagssprache, die bereits mit McCarthys (1980: 31) Rede von *"the things that exist"* erkennbar werden. Schon mit *"things"* meint McCarthy etwas anderes als die *"things"* bei Bunge (1977a), womit das problematische Wechselspiel von Sprache,³¹⁵⁰ metaphysischen Kategorien sowie meta-ontologischen Spezifikationen offensichtlich ist. Das Problem liegt indessen weniger bei McCarthy, sondern bei Bunge, der einmal *"things"* mit *Entitäten* gleichsetzt, zum anderen *"concrete object"* und *"thing"* synonym verwendet. Das ist wiederum mit Pkt. 5.3 unmittelbar seinem Materialismus geschuldet. Auf seiner Grundlage ist ein *"thing"* immer ein *konkretes* Objekt, genauso wie es ein materielles Objekt und ein reales Objekt ist. Da bei Bunge die Welt ausschließlich aus materiellen Gegenständen oder Dingen besteht, ist auch *"thing"* und *"entity"* gleichsetzbar. Mit anderen Ontologien ist diese Kategorisierung aufgrund abweichender meta-ontologischer Spezifikationen indes inkompatibel. Wenn McCarthy (1980) mit *"things"* indes *Entitäten* im Allgemeinen meint,³¹⁵¹ ist dies unter Ontologen gängige Praxis.³¹⁵² Selbst in Whiteheads (1929a: 21) Kategorienschema ist von »synonymous terms 'thing,' 'being,' 'entity'« die Rede.

Währenddessen geht es dabei nicht um linguistische Spitzfindigkeiten; vielmehr wird an diesem Beispiel einmal mehr das Inkommensurabilitätsproblem offensichtlich, das nur auf den ersten Blick *linguistischer* Natur ist. Tatsächlich ist dieses Kernproblem *metaphysisch* veranlagt, womit es sich auch nicht durch ein einfaches TLO-Mapping beheben lässt. Dass darin keine Alternative bestehen kann, sei hier konkret anhand der zwei TLO-Ansätze BWW und Cyc kurz gezeigt: Mit der gängigen synonymen Behandlung von *"things"* und *"entities"* bilden erste die explizite Wurzel des Cyc-Kategoriensystems; sie stehen für *Entitäten* im *vorkategorialen* Sinne, und bewegen sich damit auf einer gänzlich anderen Ebene als die *"things"*, die bei der BWW-TLO auf Grundlage der Bungeschen materialistischen Weltauffassung im *kategorialen* Sinne bereits explizit spezifiziert sind. Das führt im Ergebnis dazu, dass bei der Cyc-TLO *Ereignisse* mit gleichem Status unter *"things"* subsumiert werden wie *Substanzen*, während sich bei der BWW-TLO *Ereignisse* immer auf *"things"* als zentrale Kategorie beziehen. Mit anderen Worten sind *"things"* bei Cyc und *"things"* bei Bunge bzw. der BWW-TLO grundsätzlich inkommensurabel. Das liegt weniger in der unterschiedlichen Nomenklatur begründet als dadurch, dass die Cyc-Ontologie weder Bunges Materialismus noch seine Einschränkung auf *konkrete* Objekte teilt.³¹⁵³ Demgegenüber lehnt Bunge umgekehrt *Common Sense-Ontologien* wie Cyc grundsätzlich ab, womit insgesamt gänzlich andere meta-ontologische Spezifikationen ins Spiel rücken.

³¹⁵⁰ Die Rede von *"things"* folgt meist der *Subjekt-Prädikat-Struktur*, vgl. etwa F. Wilson (2007: 364 f.).

³¹⁵¹ So heißt es an anderer Stelle entsprechend allgemeiner: »The ontology of a program is the *set of entities* that its variables range over«, vgl. McCarthy (1984: 190), Hvh. des Verf.

³¹⁵² Vgl. etwa Lenat/Guha (1990) oder Chisholm (1996).

³¹⁵³ Entsprechend hat Bunges Gleichsetzung von *"Entität"* und *"Ding"* nichts mit jener bei der Cyc-Ontologie zu tun. Denn diese ist gerade nicht umgangssprachlich bzw. linguistisch veranlagt, sondern basiert auf seiner materialistischen Position.

Dass in einem Ontologieansatz überhaupt materielle Dinge oder Substanzen vorkommen, ist natürlich keineswegs verpflichtend. Daher ist jedes metaphysische Kategoriensystem und jede *Top-level Ontologie* vielmehr von einem neutralen Ausgangspunkt zu erschließen. Dieser stellt gewissermaßen jene Ebene bzw. Sphäre dar, die außerhalb jeder spezifizierenden Kategorisierung liegt. In dieser Sphäre gibt es allein eines, nämlich *Entitäten*. So gesehen muss Ontologie immer bei null beginnen, indem zu in zirkulärer Reflexion zu analysieren ist, in welcher Weise die Entitäten zu strukturieren sind, damit sie mit den Grundstrukturen der jeweiligen Welt bzw. der Realität im Ganzen korrespondieren. Mit Pkt. 3.4 bilden *Entitäten* (entitas, von "ens" – "seiend") als umfassender ontologischer Begriff im Gegensatz zu anderen *keine* Kategorie; vielmehr stellt Alles überhaupt eine Entität dar. Demgegenüber bilden *Objekte*, was oftmals verkannt wird, genauso wie *Ereignisse*, bereits oberste Kategorien. Es handelt sich um *metaphysische Kategorien*, aus denen im Zuge der Transformation in die *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik *Top-level Kategorien* werden.

Indem die gegenwärtig in der Informatik populären Ontologiekonzepte Grubers oder Quines von jeglichem Erfordernis der eingehenden Kategorisierung von Entitäten absehen, darin jedoch für alle TLO-basierten Ontologiekonzeptionen der elementare Schritt besteht, bleibt ihre Bewandnis zu klären. Dies wird im Einzelnen in Pkt. 6.1.3 vollzogen, lässt sich an dieser Stelle jedoch bereits auf den Punkt bringen: sie ist für die Zwecke der Informatik unabdingbar, indem die Ontologie qua *Heavyweight-Ontologie* in keiner Weise um die Frage der obersten Kategorien umhinkommt. Schon insofern führen die Ontologiekonzeptionen Grubers und Quines in die Irre. Dass es solch oberste Kategorien zwingend geben muss, wird dann ersichtlich, wenn man sich mit Hayes (1979) konsequent von den '*toy problems*' der AI-Disziplin abwendet und sich auf Basis einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption den entscheidenden *nontoy worlds* zuwendet, die durch IoX-Szenarien bzw. CPPS- oder CPSS-Integrationsszenarien gestellt werden. Dabei muss jede Kategorisierung allen vier CYPO-Welten standhalten: Wenn die vier Welten kausal interdependent sind, dann muss dies auch für die Kategorien gelten. Mit anderen Worten lassen sich nicht unabhängig voneinander entwickeln; vielmehr geht es um ein System von Kategorien, das seinerseits auf die Kategorien der *Top-level Ontologie* als "*ontological backbone*" referenziert. Es gibt also interdependente W1-, W2-, W3- und W4-Kategorien, deren metaphysische Korrespondenz durch die fundamentalen TLO-Kategorien besorgt wird.

Wenn die Notwendigkeit solcher obersten Kategorien resp. TLO-Kategorien, außer Zweifel steht, wird die Ontologiedebatte ungleich komplizierter. Denn wenn die zentrale ontologische Frage: "*Was gibt es?*" nicht mit "Alles" oder "Nichts", sondern mit "Etwas" beantwortet wird, kommt somit die Ontologie als *metaphysische Ontologie* erst richtig ins Spiel. Das gilt insbesondere dann, wenn dieses "Etwas" offensichtlich in *universaler* Weise genau mit jenen Sachverhalten zu korrespondieren hat, die entweder Sache der Wissenschaften, der Technologien oder aber der Praxis sind. Natürlich stellt sich die Frage: "*Was*

gibt es?" für all diese Sphären in gleicher Weise, wobei die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* offenbart, dass diese Sphären in direkter Verbindung zueinander stehen. Analoges gilt auch in wissensontologischer Hinsicht, als auch hier jede Ontologiekonzeption darauf ausgelegt ist, *alles Wissen* repräsentieren zu können. Es gibt nur ganz wenige Ontologiekonzeptionen, die sich spezifisch allein auf eine Sphäre einschränken. Das wäre auch insofern falsch, als der Ontologiedanke im Kern an sich *universal* ist. Während der Anspruch an den Ontologiebegriff, das Ontologiekonzept und die alles leitende *Top-level Ontologie* ein universaler ist, lassen im Grunde alle bisherigen Ansätze keine universale Anwendung in dem Sinne zu, dass die jeweils geltenden Anforderungen faktisch erfüllt wären. In aller Regel zeigen sich die Ansätze jeweils für recht spezifische Zwecke entwickelt.

Indem gelten muss, alle Sphären miteinander vereinbar zu machen, zeigt sich die Unmöglichkeit, den universalontologischen Zugang auf Basis von Alltagssprache vollziehen zu wollen, wie es der OLP-Ansatz vorsieht. Für die Informatik steht die Notwendigkeit *universaler Ontologie* außer Frage, und diese *Universalität* besitzt mit dem IMKO *OCF* zwei Dimensionen, nämlich die metaphysisch-weltenbezogene und die wissensontologische. Dabei läuft eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption darauf hinaus, dass sie nicht nur den Zugang zu allen für die Informatik relevanten Welten eröffnen können muss, wobei es dabei um reale Welten wie um den virtuellen Cyberspace geht. Vor allem aber wird im CPS-Sinne deren Integration notwendig. Entsprechend müssen die Entitäten gerade auch in wissensontologischer Hinsicht einheitlich adressierbar sein. Dass dies tatsächlich erforderlich ist, zeigt das U-PLM-Szenario im Zuge von Innovationsprozessen, bei denen Cyberspace-Entitäten unvermittelt Realität werden, genau wie im Rahmen des *Reverse Engineering* in umgekehrter Richtung. Dass man vor diesem Hintergrund mit einem rein linguistischen OE-Verständnis nicht weit kommen kann, erklärt sich dabei eigentlich von selbst. Gleiches gilt für den Umstand, dass die Lösung mit Pkt. 4.1 allein in einer Klasse-4-Metaphysik und einer integrierten Mehrweltenontologie bestehen kann, wie sie in Pkt. 3.5 mit *CYPO FOX* umrissen worden ist.

Ungeachtet dessen bleibt die Herausforderung zu klären, worin die obersten Kategorien bestehen und insbesondere, welche Kategorie die zentralste aller Kategorien ist, auf die alles andere systematisch zu beziehen ist. Genauer besehen handelt es sich dabei um die wesentlichste aller Ontologiefragen, allerdings wird sie bisher eigentlich nicht gestellt; mindestens wird sie kaum in systematischer Weise untersucht. Während viele – insbesondere Gruber – von solchen Fragen gänzlich abstrahieren, werden sie im Rahmen der TLO-Forschung selten hinreichend begründet. In einer Mehrweltenontologie ist dies mit Blick auf jeden Welttypus erforderlich; d.h. für alle vier *CYPO*-Welten, die demgemäß auch eine *Vier-Welten-Semantik* Whitehead-Popperscher Provenienz einfordern. Setzt man die Semantik systematisch zu den Welttypen bzw. zu den fundamentalen Strukturen der Welten in Beziehung, wird für alle Welten die bereits in Pkt. 3.3.2 aufgeworfene Frage nach dem *Verhältnis von Objekt und Ereignis* bestimmend. Die Relevanz dieser Verhältnisbestim-

mung, insbesondere jener von *Objekt und Ereignis*, wird dabei in Philosophie,³¹⁵⁴ Wissenschaft,³¹⁵⁵ wie im CPS-Kontext der Informatik zunehmend erkannt.³¹⁵⁶

Indem die *rein linguistische* OE-Perspektive gegenwärtig in den Reihen der Informatik durch und durch bestimmend ist, während metaphysische Erwägungen allenfalls am Rande behandelt werden, ist nochmals auf die Fundamentalkritik der linguistischen OE-Perspektive zurückzukommen: Normale Systeme in *nontoy worlds* sind *Cyber-physische Systeme* (CPS); Computing ist im Zeichen der Leibniz-Whiteheadschen ontologischen Interdependenz immer als *cyber-physisches "Reality Computing"* auszulegen. Damit markiert der CPS-Fall den Standardfall der Informatik. Selbst rein virtuelle Welten weisen implizit einen wie immer gearteten Realitätsbezug auf, etwa bezüglich kontradiktorischer Annahmen oder in Richtung synthetischer Realität, wie es partiell in der AL-Forschung der Fall ist. Analog gilt dies für die Übergänge zwischen physisch-realen und virtuellen Welten, wie sie in den verschiedensten Konstellationen, etwa von Augmented Reality bis zum 3D-Druck auf verschiedenste Weise vollzogen werden. Insofern sind in einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption auch alle Entitäten universal zu konzipieren. Im CPST-Hyperspace sind im Zuge technologischer Steuerungssysteme Ereignisse und Objekte gerade insofern zentral, als die ganze CPS-Prozessintelligenz in ihren logischen Prozeduren zuvorderst auf ihnen beruht. Mit Pkt. 6.2.1 wird dies anhand des *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) als operationale CPS-Basis besser nachvollziehbar, wobei diese an sich *ereigniszentriert* ist, während IoX-Umgebungen maßgeblich auf *intelligenten Objekten* (Smart Objects) aufbauen. Wenn im GIS-Kontext im CPS-Sinne explizit *natürliche* und *artifizielle* Ereignisse differenziert, jedoch dabei als unmittelbar zusammenhängende Entitäten behandelt werden,³¹⁵⁷ wird das Erfordernis der CPS-Adäquanz der *Top-level Ontologie* unmittelbar nachvollziehbar.

Das Verhältnis von Ereignissen und Objekten ist nur dann richtig bestimmbar, wenn man sich von der fehlleitenden Linguistik bzw. Common Sense-Ontologien abwendet und sich den eigentlichen AI-Grundlagen zuwendet. Genau diesen Schritt geht schon Leibniz, und damit gibt er seiner Disziplin die grundsätzliche Orientierung vor. Indem man das jenseits von Ausnahmen wie Mainzer in der Informatik im Allgemeinen nicht verstanden hat, ist Leibniz insgesamt unverstanden; dann sollte man sich auch nicht auf diesen berufen – oder aber ihre Programmatik in dem durch Whitehead aktualisierten Leibnizprogramm bzw. IMKO *OCF* suchen. Die entscheidende Perspektive der Informatik besteht natürlich weder in Begriffen noch in Alltagssprachengrammatik oder naiven *Belief Systems*. Das alles verkehrt Leibniz ins Gegenteil. Sie besteht vielmehr in komplexen vernetzten Automaten mitsamt ihrer logico-mathematischen und metaphysischen Grundlegung, die alle Disziplinen transzendiert. Mit Blick auf die Repräsentation wissenschaftlichen Wissens

³¹⁵⁴ Vgl. Mayo (1961), Quinton (1979) sowie Hacker (1982a).

³¹⁵⁵ Vgl. etwa Bartels (1999, 2000).

³¹⁵⁶ Vgl. etwa Worboys/Hornsby (2004).

³¹⁵⁷ Vgl. Martinez/Levachkine (2009).

steht eine kognitionswissenschaftliche Grundlegung in Frage, anhand deren Perzeption und Verarbeitungsprozessen ersichtlich wird, dass es mit McCulloch/Pitts (1943) um "*neural events*" geht, die sich bei Minsky/Paperts (1969) *Perceptrons* als "*neuronal events*" bzw. "*chemical events*" wiederfinden.³¹⁵⁸ Das Verhältnis von Ereignis und Objekt ist in der formalen Ontologie auf einfache Weise zu bestimmen, nämlich auf Basis des elektromagnetischen Schreibtelegraphen, den S. Morse in den 1830er Jahren erbaut. An diesem wird zunächst deutlich,³¹⁵⁹ dass formale Ontologie in keiner Weise zwingend etwas mit materialistischer Ontologie zu tun hat, wie sie Bunge (1977a) mit Verweis auf Pkt. 5.3 vertritt und damit die Basis der BWW-TLO stellt. Der Vollzug des Morsealphabets führt zu *Ereignissen*, etwa auf optischer ("Lichtmorsen") oder akustischer ("Gehörmorsen") Weise. Signale lassen sich natürlich genauso in Form von Stromimpulsen übertragen. Jedes Ereignis impliziert Daten und in diesen besteht der Grundstoff jeder Ontologie. Das gilt auch für die Wissensontologie, wobei das Wissen gewiss in den Zusammenhang von Daten und Information zu bringen ist. Für die Informatik wie für Klasse-4-Metaphysiken ist nicht *Komplexität* in Bungeschen (1977a) *materialistischen* Sinne relevant, sondern mit Holland (2001) *Komplexität* im *antimaterialistischen* bzw. *logisch-formalen schaltalgebraischen* Sinne von *Signaling Networks*. Es sind diese, die seinen CAS-Grundgedanken konstituieren. Wissen besitzt mit seiner jeweilig gewählten Repräsentationssprache auch immer eine *sprachliche* Dimension. Allerdings ist diese nicht – wie die Vertreter des linguistischen Ontologieverständnisses bzw. der deskriptiven Metaphysik meinen – primär, sondern natürlich ist sie *sekundär*. Vielmehr sind ontische cyber-physische *Ereignisse primär*, und dabei abgestuft in der CYPO-Welthierarchie stehen. Primär entscheidend sind W1-Ereignisse, allerdings kann sich dies unter kausalem Gesichtspunkt verschieben, indem etwa ein W3-Ereignis einer CPS-Steuerung den entscheidenden Impuls gibt. Diese Primarität der ontischen cyber-physischen Ereignisse ist dabei genauso für die wissenschaftliche Ontologie vorauszusetzen wie für die technologische oder praktische. Mit Whitehead (1929a) lässt sich analoges nicht nur in formaler, sondern auch in materialer Hinsicht darlegen. In semantischer Hinsicht konstituieren sich erst die Objekte auf Basis der Ereignisse bzw. Signale, indem diese gefiltert bzw. auf Basis eines konzeptuellen Schemas interpretiert werden. Sie werden also erst *nachträglich* sprachlichen Objekten *zugewiesen*. Somit muss zunächst die *Ereignisklassifikation* im Mittelpunkt stehen,³¹⁶⁰ wie es für den in Pkt. 6.2.1 behandelten *semantischen CEP-Ansatz* (SCEP) generelle Praxis ist.³¹⁶¹

Dass Ereignisse bzw. Signale den richtigen Ansatzpunkt zum Verständnis formaler Ontologie zeigen, zeigt sich heute von der kognitiven Robotik und Multiagentensystemen (MAS) angefangen bis zur M2M-Kommunikation. Es werden im Allgemeinen keine

³¹⁵⁸ Vgl. hierzu etwa Minsky/Papert (1969: 221, 297).

³¹⁵⁹ Cherry (1951), C.F. von Weizsäcker (1974) und Quine (1987: 103) bringen Morse im Kontext der *Theory of Information* ebenso ins Spiel.

³¹⁶⁰ Vgl. Kaneiwa et al. (2007); vgl. hierzu ergänzend S. Hall/Hornsby (2005).

³¹⁶¹ Vgl. hierzu etwa M. Ma/Wang/Yang/Li (2015).

"Dinge", "Substanzen" oder "Objekte" übertragen, sondern zunächst einmal Signale, auf deren Basis sich die formalen Strukturen, Muster, Bilder oder Objekte erst Stück für Stück zusammensetzen. Diese kann es gerade im CPS-Sinne zwar im materiellen Sinne geben, allerdings ist das keineswegs zwingend. Vielmehr hat ein CPS-adäquates Ontologieverständnis zu berücksichtigen, dass sich Ereignisse und Objektbildung genauso rein virtuell abspielen zu vermögen, was mit Pkt. 5.3 bei der Bungeschen (1977a) Ontologie zum Problem wird. Das gilt insofern, als bei Bunge *Ereignisse* immer auf materielle Dinge bezogen sind, während sie bei Whitehead (1929a) die *elementare* Kategorie *sui generis* bilden, wie es vor dem Hintergrund von mathematischer Logik, formaler Ontologie und den Zwecken der Informatik insgesamt allein richtig sein kann. Ereignisse sind entgegen Bunge weder ding- noch objektbezogen. Vielmehr geht es um cyber-physische Ereignisse, die immer *Computerereignisse* einschließen, um *Events in Computation*, die im strukturwissenschaftlichen Sinne logico-mathematischer Natur sind. Sie stehen mit Winskel (1980, 1987, 2007) im Zeichen der auf Petri-Netzen aufbauenden *Event Structures* bzw. mit Pinna/Poigné (1995a, 1995b) in jenem von *Event Automata*. Diese umfassen auch "*possible events*", die ebenfalls weder mit der Bungeschen Ontologie noch mit strikt aktualistischen TLO-Ansätzen wie der BWW-TLO oder BFO-TLO vereinbar sind. Gleichzeitig wird deutlich, dass *Computerereignisse* ihr methodologisches Fundament allein in einer Disziplin finden können, nämlich in der Komplexitätsforschung bzw. *Theorie komplexer Systeme*, in der die strukturwissenschaftliche Synthese der Informatik besteht.

Der Umstand, dass an Ereignissen bzw. Signalen anzusetzen ist, wird genauso deutlich anhand von Multisensorsystemen, bei denen in HLIF-Prozessen die Datenbasis aus verschiedensten Quellen zum einheitlichen Ganzen aggregiert wird. Damit zusammenhängend geschieht dies analog mit Pkt. 6.2.1 beim *Complex Event Processing* (CEP), wenn sich komplexe Ereignisse aus einfachen zusammensetzen. Indem Sensoren, HLIF, CEP wie die bereits durch Minsky/Papert (1969) herausgestellte Interaktion von Agenten für eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption konstituierend sind, steht außer Frage, dass es *diese* Momente sind, die für das sachgerechte Ontologieverständnis der Informatik und damit für die TLO-Evaluierung richtungsweisend sind. Bereits in Minskys (1974) KR-Framework ist diese *Ereigniszentrierung* existent:

»Almost any event, action, change, flow of material, or even flow of information can be represented to a first approximation by a two-frame generalized event. The frame-system can have slots for agents, tools, side-effects, preconditions, generalized trajectories, just as in the "trans" verbs of "case grammar" theories, but we have the additional flexibility of representing changes explicitly. To see if one has understood an event or action, one can try to build an appropriate instantiated frame-pair.«³¹⁶²

Wenn die Linguistik seit geraumer Zeit *Ereignisse als gesonderte Kategorie* für sich entdeckt,³¹⁶³ stehen diese mindestens indirekt im Sinne der Computerlinguistik im AI-Zu-

³¹⁶² Vgl. Minsky (1974: 27).

³¹⁶³ Vgl. den Whitehead-Schüler D. Davidson (1967, 1969, 1970a, 1970b, 1971, 1980), Montague (1969), Chisholm (1970a, 1976, 1990), Mourelatos (1981), E. Bach (1986b), J.F. Bennett (1988, 1991), Higgin-

sammenhang. Dann aber geht es nicht nur um eine ereigniszentrisch *logische* Fundierung,³¹⁶⁴ sondern zuvorderst um einen transdisziplinär-wissenschaftlichen, realistischen und damit *metaphysischen* Zuschnitt.³¹⁶⁵ In diesen Bereichen sind *Ereignisse als elementare Kategorie* seit langem existent.³¹⁶⁶ Indem *Ereignisse* als fundamentale Kategorie der Ontologie zu erachten sind, kommt die Metaphysik zwangsläufig ins Spiel, um ihre Stellung zu klären. Wenn Hendrickson (2006: 349) konstatiert: »One of the most significant developments in metaphysics during the last four decades is event theory«, dann spiegelt das lediglich die Absorption des Mainstreams, also die Diffusion der ereigniszentrischen Perspektive wider. Denn der Ursprung des Ereigniszentrismus ist ungleich älter als vier Dekaden; er ist vielmehr im Zeichen des Leibnizschen *metaphysischen Logizismus* bei Boole (1854), Peirce (1887), McTaggart (1908) oder Whitehead/Russell (1910-13) zu finden, während seine volle metaphysische Integration Whitehead (1919, 1920, 1929a) besorgt. In die Linguistik bzw. Sprachphilosophie findet die Ereignisperspektive dann über die drei Whitehead-Schüler Russell (1927a) in der ILP-Variante und Quine (1960a) bzw. Davidson (1967) in der OLP-Variante. Allerdings erfährt die bei allen im Sinne des Leibnizschen *metaphysischen Logizismus* richtig gedachte *Ereigniskategorie* mit Verweis auf Pkt. 5.7 dann die verhängnisvolle Fehlinterpretation im Zuge der linguistischen Wende bzw. deskriptiven Metaphysik sowie in Form der Rückbesinnung auf die objektzentrische aristotelische Metaphysik. In beiden Fällen geht es dann weder um Cyber-Physik noch damit verbunden um formale Logik im Leibniz-Whiteheadschen Sinne. Dass die Informatik sich mit Gruber (1993, 1995) bzw. SUMO oder Cyc einerseits an der Computerlinguistik sowie andererseits am dominanten Spektrum neo-aristotelisch geprägter TLO-Theorieanwärtler (BFO, BWW, DOLCE, UFO usw.) orientiert, markiert mit Blick auf die eigentlichen Erfordernisse *Cyber-physischer Systeme* (CPS) ihren ontologischen Kardinalfehler.

Die linguistische Perspektive verursacht also insofern größte Irrtümer im Rahmen des *Ontology Engineering* (OE), als die Verhältnisbestimmung von *Objekt und Ereignis* auf ihrer Basis in einer Richtung vorbestimmt ist, die nichts mit den Erfordernissen einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption zu tun hat.³¹⁶⁷ Wenn andererseits das *Systems Engineering* von IoX-Systemen im CPST-Hyperspace in CM- wie AI-Hinsicht elementar durch Ontologien bestimmt ist, wird das für die Informatik zum grundlegenden Problem. Dass sich die Verhältnisbestimmung von *Objekt und Ereignis* sachgerecht allein *material*, d.h. sachhaltig auf Basis des *Ratio-Empirismus* der Klasse-4-Metaphysik und nicht *linguistisch* vollziehen lässt, offenbart bereits ein kurzer Blick auf die Normalsprache: Quine (1957/58)

botham et al. (2000), Tenny/Pustejovsky (2000) sowie Vinson/Vigliocco (2008); vgl. hierzu auch Lombard (1978).

³¹⁶⁴ Vgl. hierzu den Whitehead-Schüler R.M. Martin (1969, 1978); vgl. ferner E.C. Berkeley (1954), Church (1955), Copi et al. (1958), Kowalski/Sergot (1986) sowie Shanahan (1999).

³¹⁶⁵ Vgl. hierzu etwa J. Kim (1969, 1973, 1976, 1991) sowie Bartels (1999, 2000).

³¹⁶⁶ Vgl. Whitehead (1929a); vgl. hierzu auch M.L. Johnson (1975), Lombard (1979, 1986, 1991, 1998), Worboys/Hornsby (2004), Galton (2005b, 2006a, 2008, 2012), Galton/Worboys (2005), Worboys (2005) sowie Galton/Mizoguchi (2009).

³¹⁶⁷ Vgl. exemplarisch Pustejovsky (1991) sowie Tenny/Pustejovsky (2000).

stellt schon den starken Rückgriff der normalen Sprache auf Objekte heraus, und tatsächlich sind Objekte im sprachlichen Alltagsverständnis bzw. für den naiven *Common Sense* wesentlich. Sie zeigen sich indes im Denkvermögen nur insofern näher als Ereignisse,³¹⁶⁸ als Denken auf Sprache beruht – was nicht zwingend Alltagssprache ist. Das gilt insbesondere dann, wenn diese Ereignisse nicht als isolierte Einzelereignisse zu verstehen sind, wie sie sich sprachlich in Ergänzung von Objekten darstellen, sondern sie richtig im Zeichen physischer wie metaphysischer *Event Streams* aufgefasst werden. Genau in dieser Weise werden sie letztlich in der Quineschen Ontologie verstanden.

Mehr noch: Im Unterschied zu Whitehead gibt es bei Quine nur 4D-Ereignisse, während erster zusätzlich eine Objektkategorie abgrenzt. In dieser Weise ist es wissensontologisch auch erforderlich, wobei es sich um 4D-Objekte handelt, die sich allein durch die Reproduktion ihrer Ordnungsmuster konstituieren. Es geht also um physische wie metaphysische Zusammenhänge, die mit dem normalen Sprachgebrauch nicht korrespondieren. Jede CPSS-adäquate Ontologiekonzeption geht nur mit ersten konform, indem auch diese maßgeblich auf physischen resp. metaphysischen *Event Streams* aufbauen und nicht auf normalsprachlicher Grammatik. Es wäre also abwegig, die Verhältnisbestimmung zentraler TLO-Kategorien auf der Methode der Sprachanalyse fußen zu lassen, wie es für Strawsons (1959) *deskriptive Metaphysik* kennzeichnend ist. Dabei verführt das tradierte *Subjekt-Prädikat-Objekt-Schema* dazu, dass der Kategorie der Substanz ontologische bzw. konzeptuelle Priorität vor der Ereigniskategorie eingeräumt wird. Sie lässt sich auch nicht auf Basis einer Dimensionsanalyse klären, wie es Cassidy (2003) konkret in Bezug auf die Verhältnisbestimmung von *Prozess, Ereignis, Substanz und Objekt* versucht. In der Tat gibt auch die Dimensionsanalyse die falsche Orientierung vor, indem sie die Kategorien *an sich* gar nicht bestimmen kann. Insofern überrascht es nicht, wenn Cassidys (2003) TLO-Synthesevorschlag die zentrale Kategorie im *Objekt* und nicht im *Ereignis* ausmachen will, wobei letzteres auf erstes bezogen ist. Was bleibt ist somit allein ein Weg, und zwar jener des *Ratio-Empirismus* und damit techno-wissenschaftlicher Metaphysik, da ansonsten weder die durch Popper unterstrichene Priorität der *Scientific Ontologies* gewährleistetbar ist noch der Anschluss an die Cyber-Physik möglich ist.

Vor diesem Hintergrund lässt sich im AI-Zusammenhang feststellen, dass menschliches Denken der zugehörigen Automatenklasse sich bislang auf Normalsprache bezieht, die primär objektorientiert ist. Demgegenüber sind bei anderen Automatenklassen die Logikkalküle dafür entscheidend, inwiefern dies der Fall ist; beim Einsatz von SC- und insbesondere EC-Varianten sieht die Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis bereits ganz anders aus.³¹⁶⁹ Neumanns Automatenklassen differieren also in ihrem Inferenzprozedere grundsätzlich, und dabei besteht ein großer Spielraum im Sinne metaphysisch disponierter Logikkalküle. Vor dem Hintergrund prinzipiell variabler Logikkalküle, die bei AI-

³¹⁶⁸ Vgl. hierzu auch Casati (2004).

³¹⁶⁹ Vgl. hierzu Fn. 2169.

Agenten von jenen natürlicher Agenten zu differieren vermögen, steht außer Frage, dass der Umstand, wonach Objekte aus sprachlichen Erwägungen primär sein müssen, umfassender Revision erfordert. Es ist somit zu hinterfragen, ob sich physisch-natürliche Welten wie artifizielle Welten tatsächlich fundamental in genau dieser Weise strukturiert zeigen. Ob also die linguistischen "Ontologien" der menschlichen Agentenklasse tatsächlich ontologisch richtig sind und sich für den Cyberspace bzw. die Cyber-Physik faktisch eignen. Natürlich ist zu dieser Revision die Metaphysik vonnöten, um zu klären, ob sich die fundamentalen Strukturen aller Welten tatsächlich analog der linguistischen Praxis darstellen. Dass dies nicht der Fall ist, steht im Sinne Putnams (1980: 481) zu befürchten, und mit der Erkenntnis endet, »that the universe is not a furnished room«.

Selbst wenn man als Linguist an *furnished rooms* festhalten wollte, wird man einsehen müssen, dass das eigentliche *ontologische* Verhältnis von Ereignissen und Objekten nicht grammatikalisch bestimmbar ist. Es ist auf linguistischer Basis eben auch nur *linguistisch* bestimmbar. Zahlreiche Semantiker in der Informatik haben diesen grundlegenden Unterschied bis in die Gegenwart nicht verstanden. Tatsächlich fällt er bei "*toy worlds*" auch nicht weiter auf; indessen wird bei cyber-physischen "*nontoy worlds*" kaum mehr ein linguistischer Ontologe diesen elementaren Unterschied nivellieren können. Denn dann müssten mit diesem linguistischen OE-Ansatzpunkt cyber-physische Prozesse notwendigerweise der Struktur alltagssprachlicher Grammatik entsprechen, indem sie ansonsten semantisch falsch repräsentiert wären. Das aber ist natürlich nicht der Fall. Vielmehr ist die Realität eine andere; *Cyber-Physical Ecosystems* (CPE) stellen im Kern *komplexe adaptive Systeme* (CAS) dar, die in ihren Interaktionen bzw. Prozessen generell ereigniszentrisch strukturiert sind. Entsprechend lässt sich für RTBDA-Zwecke auch unmittelbar mit dem *Complex Event Processing* (CEP) ansetzen. Natürlich kann die Verhältnisbestimmung zwischen Ereignissen und Objekten nicht methodologisch festgemacht werden, indem sie unmittelbar etwas mit der Strukturkorrespondenz der Realität zu tun hat. Während dies linguistisch unmöglich ist, besteht dazu mit Pkt. 4.1 im *Ratio-Empirismus* wissenschaftlicher Systemontologien der richtige Ansatzpunkt, indem sich hier jene Evolutions- resp. Komplexitätsgesichtspunkte berücksichtigen lassen, die sich gemeinhin wiederum nicht unmittelbar linguistisch erfassen lassen.

Die Frage der Verhältnisbestimmung von *Objekt* und *Ereignis* hat die TLO-Diskussion deshalb bisher wenig bestimmt, weil sie mit dem allgemeinen Votum für linguistische Ontologieansätze bzw. für die deskriptive Metaphysik entschieden schien. Auch die Informatik im Ganzen war lange Zeit objektzentrisch, während es in verschiedener, etwa EA-Hinsicht mit EDA durchaus ereigniszentrische Alternativen gibt. Allerdings gewinnt sie mehr und mehr Relevanz, nämlich je stärker das Computing auch faktisch zum *cyber-physischen "Reality Computing"* avanciert, wie es etwa im Zuge von *Geographic Information Systems* (GIS) der Fall ist.³¹⁷⁰ Im ubiquitären *Internet of Things* (IoT) sind solche GIS-

³¹⁷⁰ Vgl. etwa Worboys/Hornsby (2004), Galton (2005a), Galton/Worboys (2005) oder Worboys (2005).

Funktionalitäten dabei von unmittelbarer Relevanz, wenn es um eine *CPSS-adäquate Ontologie* geht. Tatsächlich weisen alle autonomen CPS-Systeme Komponenten auf, die im Grunde als GIS-Komponenten zu klassifizieren sind. Entsprechend wird der GIS-Aspekt, der in der raumzeitlichen Verortung von Trajektorien bzw. des Flussgedankens und damit grundsätzlich in einer prozessualen Perspektive besteht, zur universalen Anforderung einer transdisziplinären Repräsentation. – Wenn mit allen TLO-Ansätzen zur Ontologie – im Gegensatz zu inferioren Nicht-TLO-Ansätzen wie jenem Grubers (1993, 1995) – außer Zweifel steht, dass Objekte *und* Ereignisse fundamentale Kategorien bilden,³¹⁷¹ lässt sich ihr Verhältnis hinsichtlich ihrer (i) *Primarität* und (ii) *Komplementarität* bestimmen. Getrennt betrachtet ergeben sich daraus folgende mögliche Konstellationen, nämlich ad (i):

- a) *Objekte* sind primär, *Ereignisse* sind sekundär auf diese bezogen (Objekt- resp. Substanzontologie, 3D-Objekt-Monismus)
- b) *Ereignisse* sind primär, *Objekte* emergieren, wandeln und vergehen im Sinne von *Objektlebenszyklen* sekundär mit diesen (Prozessontologie, 4D-Objekt-Monismus)
- c) Weder *Objekte* noch *Ereignisse* sind primär; sie werden dualistisch behandelt (ontologischer Dualismus; 3D-/4D-Objekt-Dualismus)

Ad (ii) gilt bezüglich der Komplementarität, dass diese auf (i) bezogen ist; auch hier ist der in Pkt. 6.2.5 behandelte Gegensatz von *Endurantismus* vs. *Perdurantismus* entscheidend, wobei folgende logische Möglichkeiten bestehen:

- α) Objekte und Ereignisse stehen zueinander in einem komplementären Verhältnis
- β) Objekte und Ereignisse bilden zeitdimensionale Antonyme

Für (a) und (b) gilt dabei (α), indem bei einem ontologischen Monismus Objekte und Ereignisse notwendig in einem komplementären Verhältnis stehen. Demgegenüber zeigt sich (c) durch (β) bestimmt, indem ein ontologischer Dualismus darauf zurückgeht, dass Objekte und Ereignisse in zeitdimensionaler Hinsicht als Antonyme verstanden werden; sie bilden gewissermaßen die Zentralkategorien zweier separat behandelte Ontologiesphären, die entweder nichts miteinander zu tun haben, oder – wie im BFO-Fall – in einem bedingten Zusammenhang stehen. Beide Varianten müssen mit Pkt. 6.2.5 kritisch erscheinen.

Tatsächlich finden sich in den einzelnen Ontologieansätzen in Philosophie und Informatik alle logisch möglichen Verhältnisse, und es gilt: sie sind gerade maßgeblich für ihre Unterschiede bestimmend. Mit anderen Worten bilden sie den sachlogischen Kern des ontologischen Kernproblems, nämlich der in Pkt. 1.2 erörterten *Inkommensurabilität IoX-relevanter Top-level Ontologien*. So zeigt sich etwa die BWW-TLO durch (αα) bestimmt; die CYPO TLO durch (βα), während für die im AI-Bereich führenden TLO-Ansätze, nämlich für BFO und DOLCE, (cβ) konstituierend ist. Einen solchen Dualismus von Objekt und Ereignis propagiert auch Galton (2005a); allerdings mit grundlegend anderer Akzen-

³¹⁷¹ Vgl. etwa Worboys/Hornsby (2004), Galton (2005b) sowie Vinson/Vigliocco (2008).

tuierung als im Fall der BFO-TLO, worauf wir in Pkt. 6.1.1 zurückkommen. An dieser Stelle ist jedoch bereits folgendes zu beachten: der *ontologische Dualismus*, also der 3D-/4D-Objekt-Dualismus wird i.d.R. nicht als metaphysischer Dualismus betrachtet, sondern als etwas, was man als *Gesichtswinkel des Betrachters* (viewpoint) bezeichnen kann. So ist bei Galton (2005a: 300) von Entitäten die Rede, für die gelte, dass »they may present themselves from different viewpoints as either objects or events«;³¹⁷² bei der BFO-TLO wird ganz ähnlich zwischen endurantistischen Kontinuanten (SNAP) und perdurantistischen Okkurrenten (SPAN) differenziert. Wenn also im Zuge der Top-level Ontologie die Kategorisierung von Entitäten unerlässlich wird, ist nicht nur die Frage nach dem Verhältnis von Objekten und Ereignissen zu stellen, sondern zunächst jene nach ihrer Natur.

Auch in dieser Sache obliegen die meisten TLO-Ansätze einem großen Irrtum, indem sie nicht im systematischen Zeichen ratio-empirischer Metaphysik als *allgemeinster Theorie* im Wechselspiel von techno-wissenschaftlicher Metaphysik und Wissenschaften resp. Technologien als Disziplinen stehen. Denn dann wird deutlich, dass es bei der Ontologie nicht um etwas wie "*viewpoints*" geht, sondern um die Frage, wie die Kategorien nach Maßgabe der allgemeinsten Theorie zu konzipieren sind. Denn nur dann können sie kongruent mit jenen Sachverhalten sein, die ontologisch repräsentiert werden. Ontologie handelt also nicht im phänomenologischen Sinne davon, wie dem Subjekt die Sachverhalte erscheinen, sondern wie sie nach Maßgabe der allgemeinsten Theorie im Zeichen des kritischen Realismus der *metaphysica generalis* tatsächlich sind. Alles andere wäre mit dem *Ratio-Empirismus* der Klasse-4-Metaphysik bzw. der in Pkt. 4.1 erörterten *Universal-synthese* unvereinbar. Natürlich ist dabei die phänomenologische Stufe als Poppersche W2-Ontologie mit inkorporiert; sie ist aber hier nicht mehr als ein Zwischenschritt zur objektiven Erkenntnis; umgekehrt zeitigt sie etwas Temporäres in dem Sinne, als sie im Zuge der *Belief Revision* prinzipiell transformiert wird. Vor diesem Hintergrund erklären sich auch die maßgeblichen Unterschiede, wie sie etwa zwischen den *Scientific Ontologies* in der BWW-TLO und jenen der BFO-TLO bestehen. Denn in der BWW-TLO geht es nicht um "*viewpoints*", sondern um faktische Sachverhalte allgemeinsten Theorie. Es ist also offenbar entscheidend, ob hinter der Top-level Ontologie wie im Fall der BWW-TLO eine *revisionäre*, auf die Wissenschaften bezogene *wissenschaftliche* Metaphysik, oder wie im Fall der BFO-TLO eine zwar grundsätzlich wissenschaftsbezogene, jedoch letztlich deskriptive Metaphysik steht, die sie als phänomenologisch geprägter neo-aristotelischer Ansatz verkörpert. Insofern wird einmal mehr deutlich, dass Stückwerktechnologie – wie sie auch Galton praktiziert – keine praktikable Lösung ist. Vielmehr ist sie in ihrer Natur anfällig für meta-ontologische Dispositionen, die sich unter transdisziplinären Aspekten als falsch erweisen. Sie lassen sich nur vermeiden, wenn an die Stelle der – für autonome Systeme bei kritischen Prozessen letztlich fatalen – Stückwerktechnologie ein systematisches Ganzes tritt: die Klasse-4-Metaphysik als techno-wissenschaftliche Metaphysik.

³¹⁷² Hvh. des Verf.

Das Problem der "*viewpoints*", wie sie für den ontologischen Dualismus charakteristisch sind, besteht dabei vor allem darin, dass für Dritte mindestens auf den ersten Blick unklar bleiben muss, inwiefern "SNAP"-Objekte tatsächlich *faktisch* "selbstidentisch" sind. Das ist für U-PLM-Systeme elementar, indem auf Basis solcher dualistischen Ontologien Fehlschlüsse entstehen können, die darauf zurückgehen, dass Objekte *statisch* betrachtet werden statt sie im Sinne von *Objektlebenszyklen* auszulegen. Wenn es bei U-PLM-Systemen um den *PSS-Lifecycle* geht, kann eine statische Objektbehandlung offensichtlich nicht zielführend sein. Analoges gilt für alle anderen wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien; denn die Ontologie hat mit Pkt. 4.1 notwendig im *universalen cyberphysischen Evolutionsparadigma* zu stehen. Wenn das Ziel aller Ontologie mit B. Smith (2008b) tatsächlich in der *Realitätsrepräsentation* besteht (wir ziehen in einer universalen wie integrierten Ontologiekonzeption die Repräsentation aktueller *und* möglicher *Welten* vor), müssen daraus auch die richtigen Schlüsse gezogen werden: dann geht es zunächst um die Strukturen der Realität, also um Metaphysik. Diese lassen sich sachlich nur dann adäquat erschließen, wenn dabei transdisziplinär auf die verschiedensten, allgemein akzeptierten wissenschaftlichen Schlüsseltheorien zurückgegriffen wird, wie es Bunge versucht und Whitehead vollzieht. Demgegenüber muss es als fragwürdiges Unterfangen erscheinen, moderne Ontologie auf Metaphysiken der griechischen Antike basieren zu lassen, wie es eine Reihe von TLO-Ansätzen in ihrem Neo-Aristotelismus explizit vollziehen. Denn dann orientiert man sich zwangsläufig maßgeblich an Objekten, an dem Gedanken der Selbstidentität und bekommt auf Basis der damit verknüpften aristotelischen *Relata* Probleme, wenn es um Relationalität und Komplexität geht. Es ist bezeichnend, wenn diese Relationalität und Komplexität allein für die *systemischen Ontologien* wissenschaftlicher Metaphysik fundamental ist, wie sie im Zeichen Whiteheads und Bunes stehen. Wenn Whitehead (1925) in seinem *Ratio-Empirismus* die Neuinterpretation sämtlicher Fundamentalkategorien fordert, die auf Basis mit dem durch die moderne Evolutions-, Relativitäts- oder Quantentheorie bedingten wissenschaftlichen Wendepunkt unabdingbar wird,³¹⁷³ besteht damit ein gänzlich anderer Zugang zur *Scientific Ontology* als bei Smithens BFO-TLO. Denn diese sucht die Basis ihrer wissenschaftlichen Repräsentationen explizit in den über zweitausend Jahre alten aristotelischen Kategorien. Dann aber kann eine Korrespondenz der Sprach- bzw. Wissensstrukturen mit den fundamentalen Strukturen der Realität kaum bestehen, indem diese Strukturen in *techno-wissenschaftlicher* Hinsicht inzwischen völlig anders erfasst werden.

Universen sind kosmologisch betrachtet nicht dualistisch; sie sind monistisch; und somit sollten auch Ontologien, insbesondere wenn sie auf wissenschaftlichen Metaphysiken

³¹⁷³ Vgl. Whitehead (1925: 16 f.): »The progress of science has now reached a turning point. The stable foundations [...] have broken up [...]. The old foundations of scientific thought are becoming unintelligible. Time, space, matter [...], mechanism, organism, configuration, structure, pattern, function, all require re-interpretation. [...] If science is not to degenerate into a medley of ad hoc hypotheses, it must become philosophical and must enter upon a thorough criticism of its own foundations«.

aufbauen, monistisch sein. Sie führen unter dem materialistischen Aspekt Bunges (1977a) zu einem 3D-Objekt-Monismus, unter dem insbesondere für die Nichtgleichgewichtsthermodynamik Prigogines elementaren Aspekt *dissipativer Strukturen* Whiteheads (1929a) zu einem 4D-Objekt-Monismus, wie er gerade auch für Quine aus gutem Grund, nämlich als Konsequenz seines Empirismus und Naturalismus selbstverständlich ist. Wenn Quines Ontologie im Widerstreit revisionärer und deskriptiver Metaphysik eine Schlüsselrolle zukommt, sollte die Informatik aufhorchen: Indem sie aufgerufen ist, die Basis für *echte Scientific Ontologies* für die AI-basierte Wissenschaftspraxis zu legen, muss sie in ihrem universalen Ontologieverständnis auf der richtigen Grundlage aufbauen. Diese kann aber nicht in jenen antiquierten Metaphysiken bestehen, die heute in der Informatik im Zuge neo-aristotelischer TLO-Ansätze gängig sind.

Es steht außer Frage, dass im IoX-Hyperspace das Systemdesign auf ein Engineering Cyber-physischer Systeme (CPS) hinausläuft. Wie soll man diese Systeme gestalten? Sind die klassischen CM-Methoden dafür die richtigen? Wie wesentlich sind die *Event Streams* in diesen Ansätzen zu berücksichtigen? Bevor man sich diesen Fragen zuwenden kann, kommt man offensichtlich an der Verhältnisbestimmung von *Objekt und Ereignis* nicht vorbei. In den heute breit akzeptierten linguistischen Ontologiekonzeptionen Genesereth/Nilssons (1987) bzw. Grubers (1993, 1995) wird diese alles entscheidende Ontologiefrage allerdings erst gar nicht gestellt. Das muss auch insofern nicht verwundern, indem sie nur metaphysisch zu beantworten ist. In dieser Sache sind alle TLO-referenzierenden Ontologiekonzepte mindestens einen ganz entscheidenden Entwicklungsschritt weiter als die heute zu Unrecht favorisierten Ansätze Genesereth/Nilssons (1987) bzw. Grubers (1993, 1995). Diese sind in Wahrheit nichts für "*nontoy worlds*". Genauer ist festzustellen, dass diese Frage der Verhältnisbestimmung in linguistischen Ontologien beantwortet wird, ohne sie eigentlich zu stellen, nämlich insofern, als linguistische Ontologien in ihrer sprachlichen Orientierung *per se objektfixiert* sind. Mit dieser Objektfixierung steht gleichzeitig fest, dass Ereignisse ontologisch keine fundamentale Rolle spielen, sofern man diese überhaupt berücksichtigt. Wie in Pkt. 3.3.2 ausgeführt, verkennen die Linguisten damit den Kern der AI-Programmierung. Denn Künstliche Intelligenz (AI) ist zunächst einmal eines, nämlich *Processing*; wenn dieses ferner grundsätzlich in vernetzten Strukturen, etwa im Sinne Boolescher Netze zu sehen ist, spielen in dieser Verarbeitung vor allem Gesichtspunkte der Dynamik und Komplexität eine entscheidende Rolle, wie es im CPS-CEP-Konnex auf Grundlage ereigniszentrierter Sensorik tatsächlich der Fall ist.³¹⁷⁴

Genauso wenig wie an Genesereth/Nilsson (1987) bzw. Gruber (1993, 1995) sowie den tradierten CM- und AI-Perspektiven kann die Verhältnisbestimmung von *Objekt und Ereignis* nicht an modernen *ad hoc* entwickelten Ansätzen festmachen. Vielmehr ist diese in ihrer Bedeutung auch in grundsätzlicher Weise zu führen. Das ist nur dann möglich, wenn man die Verhältnisbestimmung von *Objekt und Ereignis* in Relation zu den fundamentalen

³¹⁷⁴ Vgl. exemplarisch Alhakbani et al. (2017) sowie Q. Zhou et al. (2017).

Strukturen der Welten bzw. der Realität setzt. Sie ist mithin allein auf Basis der Metaphysik zu beantworten. Allerdings nicht auf Basis einer Klasse-1- oder Klasse-2-Metaphysik. Auch eine Klasse-3-Metaphysik stellt insofern eine verfehlte Basis dar, als diese dezidiert auf mit wissenschaftlichen Methoden erfassbare Welten abzielt, während offenbar technologische Gestaltungswelten andere Methoden bzw. Sichtweisen verlangen. Anders gewendet ist die Klasse-3-Metaphysik lediglich aristotelisch bzw. positivistisch geprägt; entscheidend ist jedoch die Inkorporation der aristotelischen in die platonische Metaphysik bzw. jene der aktualen Welt in das logico-mathematische Spektrum möglicher Welten. Letztere sind dabei durchaus ontisch gemeint, nämlich im Sinne des *mathematischen Universums* Platons bzw. des *Computing Universe* bei Zuse (1982). Allerdings ist nicht allein dieses wesentlich, sondern im Sinne des *Ratio-Empirismus* von Whiteheads (1929a) Kosmologie primär die aktuelle Welt, der indessen mit den gleichen Mitteln wie bei allen Welten beizukommen ist. Insofern wird klar: eine tatsächlich *universale* Verhältnisbestimmung von *Objekt und Ereignis*, die auf eine TLO-Konzeption zielt, die sowohl wissenschaftlichen als auch technologischen und praktischen Zwecken gerecht wird, lässt sich allein mit einer *Klasse-4-Metaphysik* vollziehen. Also auf einer Metaphysik, die dezidiert einen digitalistischen Ansatz verkörpert und als solche den Zugang zu allen möglichen Welten des Cyberspace eröffnet.

Bereits mit Chens (1976) *Entity-Relationship Model* (ERM) zeigt sich, dass die konzeptuelle Modellierung zwar schon lange gezielt an *Entitäten* festmacht; dennoch wurde die eigentlich offene Frage der Verhältnisbestimmung von Objekten und Ereignissen nie richtig gestellt. Dabei ist zunächst festzustellen, dass die bisherigen Ansätze die modellierten Diskursuniversen regelmäßig in dem Sinne als statisch erachten, dass sie nicht als evolvierende Umwelten verstanden und konzipiert werden. In vielen CM-Ansätzen werden diese Entitäten in einer nicht-prozessualen Perspektive *einseitig objektzentrisch* verstanden. In CPS-Kontexten kann das jedoch kaum sinnvoll erscheinen, wenn hier prinzipiell in einer Weise zu modellieren ist, die jener autonomer Robotik entspricht. Diese sind dann selbst interaktiver Teil ihres Diskursuniversums. D.h. es ist völlig anders zu modellieren als bisher. Denn autonome Robotik ist nicht etwa eine Ausnahmeerscheinung, sondern mehr und mehr Bestandteil vieler Anwendungs- und Integrationsszenarien, gerade auch in CPPS-Kontexten. Zunächst ist dafür eine generell adäquate Weltperspektive erforderlich, die nicht in jene Richtung gehen kann, die bisher maßgeblich als TLO-Referenz die konzeptuelle Modellierungspraxis bestimmt: in der BWW-TLO besteht mit großem Abstand jener TLO-Theorieanwärters, der als Weltreferenz herangezogen wird, insbesondere auch im Zuge der Modellierung der Realität. Dass die dahinter stehende Bunge'sche Metaphysik allein eine Klasse-3-Metaphysik, nicht eine Klasse-4-Metaphysik repräsentiert, ist an sich problematisch. Denn mit technologischen Cyberwelten hat dieser Ansatz gar nichts zu tun; er ist genauso wenig auf die durch McCarthy (1977: 1041) für zwingend erforderlich gehaltene modale Modellierung ausgelegt, Denn Bunge stellt überhaupt nicht auf mögliche

Welten ab. Noch problematischer ist allerdings, dass es sich bei dieser Metaphysik um einen Ansatz handelt, der den *"Furniture of the World"* verpflichtet ist. Für diese bilden somit Objekte, nicht Ereignisse die primäre Kategorie; Ereignisse sind immer auf Objekte bezogen, und nicht – wie insbesondere bei Whitehead – umgekehrt. Das hat auf dieser Basis mit Takagaki (1990), Takagaki/Wand (1991) oder Evermann/Wand (2009) und vielen anderen eine *einseitig objektzentrische* Domänenmodellierung zur Konsequenz. Mit Blick auf ein zeitgemäßes CEP-basiertes IS/KS-Engineering besteht in diesen metaphysischen Grundlagen ein folgenreicher Fehlansatz. Noch bedenklicher ist es, dass dieser Umstand in der Disziplin gar nicht registriert wird. Wenn gegen Bunge argumentiert wird, dann hat das im Allgemeinen andere Gründe, etwa den Streit der Analytischen Philosophie gegen Bunges streng wissenschaftliche Metaphysik, d.h. jenen der deskriptiven vs. revisionären Metaphysik. Das ist indessen der falsche Streit; denn dieser ist klar zugunsten der letzten zu entscheiden. Vielmehr geht es um den Streit in dieser revisionären Metaphysik selbst, und das ist der Streit Bunge vs. Whitehead. Allein dieser Streit ist für die Informatik im *cyber-physischen "Reality Computing"* entscheidend. In Bunges Ansatz spielen Emergenz und Evolution eine an sich wesentliche und mit seinem emergentistischen Materialismus auch besonders hervorgehobene Rolle; tatsächlich evolutionär gehalten ist dieses Metaphysiksystem im Sinne eines universalen Emergenz- und Evolutionsgedankens indessen nicht. Denn es stellt mit Pkt. 6.1.1 eine materialistische Substanzmetaphysik dar und weist mit Pkt. 5.3 noch weitere Probleme auf.

Universal erfasste evolutionäre Welten stellen sich vielmehr gänzlich anders dar als Bungesche Welten. Sie sind ereigniszentrisch insofern, als alle autonome Robotik zuvorderst auf die Ereignisse spezifischer Situationen und Kontexte zu beziehen ist. Natürlich spielen Objekte dabei eine Rolle; allerdings sind diese keineswegs im Sinne von *"Furniture of the World"* zu verstehen, sondern immer in *Ereigniskonstellationen*, so dass diese auch selbst im Ereignissinne zu perzipieren sind. Indessen ist bei der konzeptuellen Modellierung von Prozessmodellen, d.h. in der Prozessmodellierung diese ereigniszentrische Sichtweise gesetzt. Dabei sollte wiederum der Ursprung dieser Ansätze nicht verkannt werden; diese liegen auch hier in der Automatentheorie: Petri (1962) stellt in der Automatenkommunikation die Bedeutung des Flussgedankens heraus, und begründet auf Grundlage der mathematischen Graphentheorie entsprechend die *Petri-Netze*. Auf diese, und damit letztlich auf die Automatentheorie, gehen die eigentlichen Ansätze der Prozessmodellierung zurück. Das gilt für die *Ereignisgesteuerten Prozessketten* (EPC) mitsamt des übergeordneten ARIS-Ansatzes Scheers (1993),³¹⁷⁵ der schon auf eine semantische Prozessmodellierung zielt. Allerdings ist auch hier der Schritt von der Semantik zur Ontologie zu vollziehen. Analoges gilt für die BPMN-Notation. Indem hier bereits *Top-level Ontologien* für Analysezwecke eine wesentliche Rolle spielen, schließt sich der Kreis, wenn es

³¹⁷⁵ EPC (Event-driven Process Chain) wurde Anfang der 1990er Jahre durch IDS Scheer in Kooperation mit SAP entwickelt, vgl. Keller/Nüttgens/Scheer (1992).

um die Frage geht, welche der zahlreichen TLO-Theorieanwärter für die BPMN-Notation die sachgerechte Referenzbasis darstellen kann. Bzw. eröffnet sich damit der Diskurs um die TLO-Theorieanwärter, wenn irrtümlicherweise angenommen wird, dass das BPMN2-Metamodell am besten durch die BWW-TLO unterstützt sei. Offenbar besteht auch dann Bedarf, die metaphysischen Grundlagen der *Top-level Ontologie* genauer zu reflektieren.

Dass all diese Grundlagen eingehend zu revidieren sind, hängt unmittelbar mit der operationalen Basis Cyber-physischer Systeme (CPS) zusammen. Denn diese besteht mit Pkt. 6.2.1 zuvorderst im *Complex Event Processing* (CEP) bzw. bei umfassend intelligenten CPS im wiederum TLO-referenzierenden *Semantic Complex Event Processing* (SCEP). Indem CPS jedoch immer einer prozessualen Grundlegung bedürfen, wird ein BPM-Ansatz erforderlich, der seinerseits nicht nur ereigniszentrisch ist, sondern den CEP-Ansatz wie die IoT-Perspektive inkorporiert. Das ist das *Event-Driven Business Process Management* (ED-BPM), in dem wiederum insofern eine zentrale U-PLM-Basis zu sehen ist, als in einem fortschrittlichen BPM-Ansatz sämtliche U-PLM-Workflows aus Prozessmodellen generiert werden. BPMN2 Metamodelle bilden dann letztlich die Ausgangsbasis. Mit dem U-PLM schließt sich der Kreis auch insofern, als dieses maßgeblich auf dem *Ubiquitous Complex Event Processing* (U-CEP) und damit auf CPSS im IoX-Hyperspace aufbaut. Indem für CPS wiederum *Cyber-Physical Ecosystems* (CPE) im Sinne von Umweltinteraktionen konstituierend sind, gelangen jene *Complex Adaptive Systems* (CAS) ins Spiel, die die CPE-Basis bilden. Selbst wenn solche ED-BPM-Prozessmodelle in ihrer grundsätzlichen Ereigniszentrierung in die richtige Richtung gehen, sind damit noch nicht alle Probleme ausgeräumt, was nicht zuletzt den Inkommensurabilitätsproblemen bzgl. der Ereignissemantik geschuldet ist. Das größere Problem besteht indes darin, dass Prozessmodelle lediglich einen kleinen Teil eines größeren Ganzen darstellen, nämlich des *Enterprise Modeling* (EM) als solchem, das wiederum in modernen SEA-Strukturen mit dem AI/KR-Kontext der *Enterprise Ontology* (EO) zu verknüpfen ist. Dann wird relevant, dass sich die CM-Ansätze *einseitig objektzentrisch* darstellen,³¹⁷⁶ während sich die gesamte CEP- bzw. SCEP-Grundlegung *ereigniszentrisch* gestaltet. Mit anderen Worten ist die Meta-Ontologie dann inkompatibel. Entsprechend sollte nicht nur Petris (1962) Flussgedanken ein größerer Stellenwert eingeräumt werden, sondern vielmehr ist die gesamte CM-Sphäre im Zeichen von *World Automata* im Sinne Petris (1982) als *State-Transition Structures* zu verstehen. Somit ist absehbar, dass das CPS-Engineering nicht zuletzt die CM-Sphäre vor radikal neue Herausforderungen stellt. Denn damit ist die fundamentale Struktur der Welt bzw. der Diskursuniversen (UoD), in grundsätzlicher Weise in Frage steht, wenn diese nicht mehr als 3D-Objektwelten behandelt werden können.

Genauso besteht mit Pkt. 3.2.4 eine grundsätzliche Fehleinschätzung in der gängigen Auffassung, dass CM-Ontologien nicht viel mit AI-Ontologien zu tun haben. Natürlich ist das genaue Gegenteil der Fall, weshalb sie auch auf Grundlage der für die Informatik alles

³¹⁷⁶ Vgl. hierzu Van Assche et al. (1991).

entscheidenden *Top-level Ontologie* zu integrieren sind. Wenn nicht nur außer Frage steht, dass sie integriert werden müssen, sondern auch, dass sie nur auf *dieser* Basis integrierbar sind, wird deutlich, dass die *Top-level Ontologie* als oberste ontologische Referenzbasis den zentralen Kern der IS-Teildisziplin bildet. Indem mit Verweis auf die AI-Ontologie analoges für die KS-Teildisziplin gilt, muss sie insgesamt in den Mittelpunkt der Informatik rücken. Es ist an sich ein großer Fortschritt, wenn in der CM-Sphäre mit der TLO-Referenz die modellierten Entitäten im kategorialen TLO-Sinne hinterfragt werden. Nur kann das nicht halbherzig in dem Sinne geschehen, dass man sich dabei auf eine gerade für CPS-Zwecke inadäquate TLO-Konzeption fixiert. Die Klärung der fundamentalen Strukturen der Welt ist zwar allein Sache der Metaphysik; vor diesem Hintergrund muss die Disziplin dennoch die zwischen den einzelnen TLO-Ansätzen teils stark differierende metaphysische Basis in Augenschein nehmen. Nicht nur für CPSS-adäquate AI-Zwecke, sondern auch für entsprechende CM-Zwecke kann mit Pkt. 4.1 auch hier allein die Klasse-4-Metaphysik wegweisend sein. Natürlich muss es sich um die *gleiche* metaphysische Basis handeln, was gerade anhand interaktiver, realweltlich-evolvierender CPS-Kontexte deutlich wird.

Für CPS im Allgemeinen wie für U-PLM-Systeme im Speziellen, bei denen es sich mit Pkt. 1.5 um kombinierte Prozess- und Wissenssysteme handelt, ist entsprechend die *Prozessintelligenz* maßgeblich. Indem diese Systeme sich auf die unterschiedlichsten Diskursuniversen beziehen, ist bei deren konzeptuellen Modellierung auch der Aspekt der Prozessintelligenz in jeweils spezifischer Form zu berücksichtigen. Speziell für U-PLM-Systeme gilt, dass sie auf Workflows basieren, die bei globaler Prozessintelligenz auf eine weitreichende Entscheidungsautomatisierung hinauslaufen. Diese gründet bei fortschrittlichen Systemen wiederum auf AI-Ontologien. Im Zuge der in Pkt. 1.5 umrissenen BPM-PLM-Integration läuft dies auf ein *Business Rules Management* (BRM) hinaus, über das sich Entscheidungen in Geschäftsprozessen automatisieren lassen. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hat auch *Business Rules* (BR) einzubeziehen, indem diese mit zur Prozessintelligenz ontologiebasierter kombinierter Prozess- und Wissenssysteme zu zählen sind. Solche Workflows münden in ihrer Definition schließlich wiederum im ED-BPM als U-PLM-Basis, während das ED-BPM seinerseits auf dem *Complex Event Processing* (CEP) gründet. Dabei weist der CEP-Kern mit Pkt. 6.2.1 wiederum auf die Automatentheorie. Indem im Ganzen die ontologische Basis maßgeblich ist, lässt sich eine IoX-adäquate Prozessintelligenz dabei mit Pkt. 6.2.1 erst auf SCEP-Basis realisieren, und zwar primär nicht in der W3C-Richtung, sondern vielmehr im Sinne von Paschke et al. (2011) in der Weise, die unmittelbar auf die *Top-level Ontologie* (TLO) bezogen ist. Der Grund für diese zweite Richtung, die mit Pkt. 6.2.1 in der integrierten Konzeption von CYPO *OCEP* eingeschlagen werden sollte, ist evident: dieser besteht in der in Pkt. 2.4 erörterten TLO-EO-Verkopplung. D.h. er besteht nicht nur in den meta-ontologischen Dispositionen bzw. TLO-Kategorien als solchen, sondern genauso in dem erforderlichen Einbezug der *Enterprise Ontology* (EO) als Kernontologie (CO). Denn der CEP-Ansatz weist in ED-SOA-Struktu-

ren wiederum auf das, was Sasa/Krisper (2012) bzw. F. Gao et al. (2017) als *Complex Event Service* (CES) entwickeln. Im SEA-Ganzen wird die *Enterprise Ontology* (EO) erforderlich, um die faktische ontologische Integration EM-Ebene sicherstellen zu können.

Dabei ist (i) die *Top-level Ontologie* (TLO) wie (ii) die *Enterprise Ontology* (EO) als Kernontologie (CO) gleichermaßen entscheidend, da beide Ontologiearten die BR-Spezifikation in ontologischer Hinsicht fundamental bestimmen. Das gilt sowohl ad (i) in *universal-fundamentaler* als auch ad (ii) in *fachlich-fundamentaler* Hinsicht: Ad (i) steht etwa mit Loucopoulos et al. (1991) außer Frage, dass eine BR-Modellierung auf Basis eines *objekt-orientierten* CM-Verständnisses *einseitig objektzentrische* BR-Spezifikationen impliziert. Insofern ist es von grundlegendem Unterschied, ob der CM-Ansatz wie im Fall der BWW-TLO im Zeichen einer *objektzentrischen* TLO-Variante steht, oder im Zeichen einer *ereigniszentrischen* CYPO-konformen TLO. Beide TLO-Konzeptionen haben eine unterschiedliche Domänenmodellierung zur Konsequenz. Ad (ii) gilt dies ähnlich in fachlich-fundamentaler Hinsicht, indem für die BR-Spezifikation dann die jeweils zugrundegelegte EO-Variante entscheidend ist. Natürlich ist es von grundlegendem Unterschied, ob die BR-Spezifikation sich wie bei Dietz (2008) auf Basis der DEMO-EO vollzieht, oder wie bei Gailly/Geerts (2013) auf Grundlage der REA-EO. Das gilt nicht zuletzt dann, wenn die REA-EO ihre TLO-Fundierung in der Sowa-TLO besitzt und damit ereignisorientiert ist, während sich die DEMO-EO in ihrer TLO-Fundierung explizit auf Bunge bezieht und entsprechend ihr Objektverständnis ausdrücklich im Bungeschen Sinne definiert.³¹⁷⁷

Sensorbasierte CPS-Prozessintelligenz, die in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* als Teil der U-PLM-Prozessintelligenz zu behandeln ist, läuft genauso auf diese SCEP/OCEP-Basis hinaus. Damit muss sie auf der gleichen einheitlich vorausgesetzten TLO-referenzierenden Ontologiearchitektur aufbauen. Finden CPS in Form autonomer Robotik in CPPS oder etwa als PEID in *Smart Products* Einsatz, die sich etwa als Fahrzeuge oder Baumaschinen genauso raum-zeitlich autonom bewegen, gelangen weitere Aspekte ins Spiel. Wenn es um ein prinzipielles CPS-Verständnis wie um eine CPSS-adäquate Ontologie geht, ist ein generelles CPS-Modellierungsverständnis so zu konzipieren, dass diese Systeme in einen evolvierenden Raum-Zeit-Konnex eingebettet sind und sich autonom in diesem bewegen. Die Relevanz dieser raum-zeitlichen Bestimmung ist dabei für jedes PEID-Objekt prinzipiell gegeben, also auch für solche, deren Geopositionen sich im Regelfall gar nicht ändern. Insofern geht es beim U-PLM-Referenzszenario um eines, das alle denkbaren Anforderungen erfüllt. Vor allem sind diese mit den *Smart Products* realistisch, die Gegenstand PLM-typischer Industrien wie dem Maschinenbau, der Automobilindustrie oder der Luft- und Raumfahrtindustrie sind. Insofern sind diese Aspekte in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auch zu berücksichtigen wenn diese universal für alle IoX-Szenarien gelten muss und dabei in der Weise zu konzipieren ist, dass sie gerade auch die schwierigeren Aspekte mit abdecken kann. Der IoX-Hyperspace ist im Whiteheadschen Sinne prinzipiell

³¹⁷⁷ Vgl. Dietz (2006b: 37; 2008: 4).

als Automatenuniversum zu konzipieren, bei dem nicht nur die unterschiedlichsten CPS-Automaten im Zeichen von Multiagentensystemen miteinander interagieren, sondern sich dabei in Raumzeit autonom bewegen und entsprechend ihre Geopositionen verändern. Für sie sind damit jene Entwicklungen von zentraler Bedeutung, die sich im Bereich der modernen Geowissenschaften und den darauf bezogenen *Geographic Information Systems* (GIS) vollziehen. Mit ihnen gelangen Konzepte wie das *Geospatial Event Model* (GEM) in die Debatte, auf deren Basis unweigerlich deutlich wird, dass es mehr gibt als Objekte oder als allein objektbezogene Ereignisse. Mit ihnen zeigt sich, dass *Ereignisse* im Sinne von *Event Streams* an sich den ontologischen Kern darstellen, womit sie auch zunehmend in den Mittelpunkt der ontologischen Diskussion rücken.³¹⁷⁸ Mit diesen CPS-relevanten Konzepten wird daneben deutlich, dass nicht Ereignisse auf Objekte bezogen sind, wie es "Furniture"-Ontologen glauben machen wollen, sondern dass vielmehr umgekehrt Objekte immer in *Ereignissen* situiert sind. Genau dies hat Whitehead (1919) im Spiegel der Formal- wie Realwissenschaften als metaphysische Fundamentalstruktur herausgearbeitet.

Mit Whitehead (1929a) geht es jedoch um sehr viel mehr, indem die gerade im CEP-Kontext herausgehobenen *Event Streams* lediglich einen kleinen Teil des ganzen Whitehead-Paradigmas der Informatik ausmachen. Das gilt schon insofern als der CEP-Ansatz wiederum u.a. auf der Automatentheorie fußt. Auch stehen die *Event Streams* im Zeichen der *Complex Adaptive Systems* (CAS), die aus allen Interaktionen von *Cyber-Physical Ecosystems* (CPE) resultieren. Erst vor diesem Hintergrund ergibt sich das größere Bild, die zur Bestimmung der eigentlich relevanten Ontologiefragen breite Perspektive. Diese legt nahe, dass ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis mit den Interaktionen innerhalb solcher Systeme bzw. mit ihren Systemumgebungen nicht nur notwendig auf ein *universales cyber-phisches Evolutionsparadigma*, sondern gleichermaßen auf ein *universales Komplexitätsparadigma* hinauslaufen muss, wenn AI-Systeme in evolvierende Welten eingebettet sind. Somit wird auch hier deutlich, dass es *Ereignisse* sind, die insbesondere im geowissenschaftlichen Kontext mit der Frage der Strukturen der räumlichen bzw. zeitlichen Repräsentation als alles entscheidende Kategorie in den Vordergrund rücken. Nicht umsonst erweisen sich die GIS-Ontologien als ereigniszentrisch konzipiert. Mit Blick auf eine universale Ontologiekonzeption ist dabei klar, dass es bei diesen Strukturen weniger um rein physikalische Strukturen als vielmehr insgesamt um metaphysische Strukturen geht, die im transdisziplinären Sinne in Gestalt einer CPS-adäquaten *Top-level Ontologie* für alle Domänen einheitlich vorausgesetzt werden können. Denn auch GIS-Ontologien sind regelmäßig auf Cyber-phisches Systeme (CPS) bezogen.

Indem die ontologische Frage "Was gibt es?" als die Ontologie leitende Frage sinnvoll allein auf die These hinauslaufen kann, dass es "*etwas*" gibt, lässt sich somit konkretisieren, "was" es gibt: Wenn die Entitäten vor dem Hintergrund komplexer Systeme analysiert werden, wird deutlich, dass es nicht nur Objekte gibt, sondern auch Ereignisse. Es wird

³¹⁷⁸ Vgl. etwa Casati/Varzi (1996).

ferner ersichtlich, dass Objekte unmittelbar mit Ereignissen zusammenhängen; dass sie zum einen aus Ereignissen emergieren und zum anderen Objekte immer in *Ereignissen* situiert sind. D.h. sie lassen sich nicht isoliert verstehen, sondern erst vor dem Hintergrund ganzer Ereigniskonstellationen und damit in Relation zu anderen Objekten. Auch insofern sind *Ereignisse* primär, nicht Objekte. Das gilt auch dann, wenn dies fast alle Ontologiekonzeptionen der Informatik auf Basis der falschen philosophischen Grundlagen diametral anders konzipieren. Ad (i), also bzgl. der Frage nach den Kategorien von Entitäten ist an dieser Stelle alles geklärt, indem die Kategoriensysteme als ontologischer Kern mit Pkt. 6.1.1 im Detail aufgegriffen werden. Ad (ii), also bzgl. der Frage, *welcher Art* die unter (i) identifizierten Kategorien von Entitäten sind, bleiben allerdings noch wesentliche Punkte zu erörtern. Diese lassen sich zu den in Abb. 19 genannten vier ontologischen Dichotomien zur Kategorisierung von Entitäten zusammenfassen:

Kontinuanten (Continuants)	Okkurrenten (Occurrents)
Einfache Entitäten	Komplexe Entitäten
Aktuale Entitäten	Mögliche Entitäten
Types	Tokens

Abb. 19: Vier ontologische Dichotomien zur Kategorisierung von Entitäten

Wenn zur Ontologiefrage "Was gibt es?" ad (i) *Objekte und Ereignisse* als wesentliche Kategorien identifiziert werden, ist damit noch nicht viel ausgesagt. Vielmehr ist ad (ii) die genaue Eigenart der identifizierten Kategorien zu spezifizieren. Wie notwendig und wesentlich dieser zweite Schritt ist, zeigt der Umstand, dass beide Kategorien zwar in fast jedem TLO-Theorieanwärtler in irgendeiner Weise vorkommen, dabei allerdings eine gänzlich disparate Eigenart aufweisen. Die Existenz des in Pkt. 1.2 herausgearbeiteten Inkommensurabilitätsproblems geht dabei zentral auf diese vier ontologischen Dimensionen und die damit verbundenen zahlreichen Aspekte zurück. Das sei wiederum kurz an der alles entscheidenden Ereigniskategorie gezeigt: Die ontologische Rede von einem "Ereignis" besagt als solche erst einmal gar nichts, außer den Sachverhalt, dass diese Kategorie im Gegensatz zu strikten Objektontologien überhaupt eine ontologische Rolle spielt. Wie Ereignisse in der Informatik zu behandeln sind, ist jedoch *an sich* weder in Abhängigkeit von einem spezifischen philosophischen Ansatz noch der Alltagssprache zu bestimmen, sondern zuvorderst anhand der tatsächlichen Fakten und Anforderungen des CPST- bzw. IoX-Hyperspace. Ihre Bestimmung hat sich entsprechend nach der Cyber-Physik zu richten, womit dann im zweiten Schritt die Cyber-Metaphysik Whiteheads ins Spiel kommt – nicht umgekehrt. Also nicht diese Metaphysik ist von vornherein gesetzt, sondern sie ist als aktualisiertes Leibnizprogramm allein insofern von Relevanz, als in ihr in Leibnizscher Tradition das fundamentale Paradigma der Informatik besteht.

Mit der Cyber-Physik hängt ihre Bestimmung wiederum unmittelbar vom Urstoff ab, wenn Ereignisse im Hylemorphismus der an sich selbstidentischen Substanz auf Basis von Materie anders behandelt werden als auf jener der Information. Dabei ist allein letztere

Variante geeignet, diese Kategorie in der Informatik universal, d.h. neben der physisch-aktualen Welt auch für den reinen Cyberspace mitsamt allen möglichen Welten vorauszusetzen. Nur in dieser kann der einheitliche, kausal entscheidende Urstoff der Cyber-Physik bzw. Cyber-physischer Systeme (CPS) bestehen. Dabei ist die Ereigniskategorie insgesamt anhand sämtlicher Fakten und Anforderungen des CPST- bzw. IoX-Hyperspace zu bestimmen. D.h., dass dabei auch alle *Cyber-Physical Ecosystems* (CPE) mit einzuschließen sind. Es geht also nicht allein um die Ontologie- bzw. Welttypen als solche, sondern um alles, was die parallele Einbindung in eine Vielzahl von Infrastrukturen ausmacht. Denn *Cyber-Physical Ecosystems* (CPE) sind in unterschiedlicher CPS-Akzentuierung jeweils als Infrastrukturen zu verstehen,³¹⁷⁹ die wiederum ihrerseits im Ganzen durch die im zweiten Teil erörterte *Smart Enterprise Architecture* (SEA) orchestriert werden. Darunter fällt dann der Maschinenraum der Informatik insofern, als es zum einen in CM-Hinsicht um technische SOA-Strukturen (IoS) oder CPS-adäquate Datenmodelle (IoD) geht bis hin zu Modellen und Methoden des *Software Engineering*, zum anderen in AI-Hinsicht etwa um Agentenarchitekturen oder die Ausführungs- und Interaktionssemantik.

Vor dem Hintergrund des CPST- bzw. IoX-Hyperspace steht im Sinne der CYPO Vier-Welten-Ontologie außer Zweifel, dass spezifische Ereignistypen mit spezifischen Welt- bzw. Ontologietypen korrespondieren. Mit Blick auf die erste ontologische Dichotomie können diese Ereignisse einmal im Zusammenhang mit endurantistischen Kontinuanten (Continuants) und einmal in jenem perdurantistischer Okkurrenten (Occurrents) stehen. Damit wird mit Pkt. 6.2.5 der Widerstreit zwischen Endurantismus und Perdurantismus relevant wie die damit zusammenhängende Frage, ob bzw. inwiefern sich beides in einer einheitlichen Ontologiekonzeption vereinbaren lässt, wie es für TLO-Ansätze wie die BFO-TLO konstituierend ist. Zur Beantwortung dieser Frage ist wiederum ein viel wesentlicherer Widerstreit entscheidend, nämlich mit Pkt. 6.1.1 jener von Objekt- und Prozessontologien; denn in diesen besitzen Objekte und Ereignisse eine mehr oder weniger akzentuierte umgekehrte Stellung. In diesem Sinne weisen Kontinuanten auf Objektontologien, Okkurrenten demgegenüber auf Prozessontologien.

Vor diesem Hintergrund erfährt eine zweite Dichotomie Bewandnis, nämlich jene zwischen einfachen und komplexen Entitäten, worauf wir im folgenden Pkt. 4.5 zurückkommen. Nach der dritten Dichotomie ist in all jenen Fällen zwischen aktualen und möglichen Entitäten zu differenzieren, indem sich die AI-Ontologie mit McCarthy (1977) auch auf *mögliche Welten* beziehen können muss. Wenn Emmet (1932: 14) in Bezug auf die Whiteheadsche Digitalmetaphysik konstatiert: »Logic, in the broadest sense, is the self-discipline of speculative thought«, ist es genau das, was die Ontologie der Informatik ebenso benötigt. Die AI-Disziplin braucht beides, strenge Restriktionen für die aktuelle Welt; spekulative Offenheit für alle möglichen Welten – womit sich wiederum das direkte Wechselspiel von Informatik und Metaphysik zeigt. Wenn die BFO-TLO sich als AI-Ontologie versteht,

³¹⁷⁹ Vgl. zu Unterschieden im CPE-Verständnis etwa Al Ali et al. (2014) sowie Robbins/Tanik (2014).

besteht somit offensichtlich eine Diskrepanz in der Einschätzung, worum es bei *Artifzieller Intelligenz* eigentlich geht – und auf welche Anforderungen es bei einem universalen wie allgemein anwendbaren Ontologieverständnis tatsächlich ankommt. Eine integrierte Ontologiekonzeption zeichnet sich dadurch aus, dass sie nicht nur reine physische Welten sowie cyber-physische Welten, sondern auch reine Cyberwelten adressieren kann. Letzteres beides ist Mindestvoraussetzung für jede CPSS-adäquate Ontologie, was insgesamt in Pkt. 6.2.4 aufgegriffen wird. Damit bleibt die vierte und letzte Dichotomie, die auf Peirce (1906) zurückgehende *Type-Token-Beziehung*. Diese wird zusammen mit der damit verbundenen *Universalien-Partikularien-Beziehung* einschließlich des gerade auch für die Informatik relevanten Universalienstreits in Pkt. 6.2.3 näher erörtert.

4.5 Einfache vs. komplexe Entitäten: Zur CPSS/SEA-adäquaten Mereologie

»The universe consists of objects having various qualities and standing in various relations. Some of the objects which occur in the universe are complex. When an object is complex, it consists of interrelated parts.«

— Alfred N. Whitehead/Bertrand Russell (1910-13, I: 43)

Entitäten können einfacher oder komplexer Natur sein; diese Dichotomie ist für jede CPSS-adäquate Ontologiekonzeption deshalb unabdingbar, weil die Informatik als Strukturwissenschaft auf dem methodologischen Fundament der Komplexitätsforschung steht. Was es damit konkret auf sich hat, lässt sich an einem semantiklelevanten Big-Data-Ansatz einfach verdeutlichen. Dabei geht es um die in Pkt. 6.2.1 näher behandelten CEP-basierten Systeme. Sie behandeln in ihrem Ereigniszentrismus Ereignisse als *komplexe Ereignisse* (CE), die sich wiederum aus *einfachen Ereignissen* (PE) zusammensetzen.³¹⁸⁰ Der CEP-Ansatz ist aus dem Grunde hervorzuheben, indem er am umfassendsten mit dem IoX-Hyperspace korrespondiert. Denn er betrifft nicht nur das IoD-Subsystem wie andere Big-Data-Ansätze, sondern im Sinne der in Pkt. 4.4 erwähnten *Complex Event Services* (CES) genauso das IoS-Subsystem.³¹⁸¹ Im Ganzen stehen sie jedoch unter dem Regime der IoT- bzw. IoA-Subsysteme, und interagieren über IoP-Technologien mit menschlichen Agenten. Insofern sind einfache und komplexe Entitäten nicht nur für den Datenaspekt als solchen von Relevanz, sondern für alle fünf IoX-Subsysteme; sie alle bilden komplexe Systeme. Ereignisse stehen also nicht nur im Zusammenspiel des Einfachen mit dem Komplexen; vielmehr sind diese für sämtliche Varianten komplexer Systeme ausschlaggebend. Damit ist diese Dichotomie auch für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* insgesamt unabdingbar. Wie bei komplexen Ereignissen verhält es sich bei *komplexen Objekten*; diese sind analog aus anderen Objekten zusammengesetzt.³¹⁸²

Generell geht es bei den in Pkt. 2.5 ff. erörterten PPR-Entitäten mit Pazzi (1998) um *komplexe Entitäten*, indem diese PPR-Entitäten für U-PLM-Systeme sowie für alle be-

³¹⁸⁰ Vgl. etwa F. Wang et al. (2006) sowie Liu/Zhang/Wang (2012).

³¹⁸¹ Vgl. Sasa/Krisper (2012) bzw. F. Gao et al. (2017).

³¹⁸² Vgl. etwa Parent/Spaccapietra (1989).

trieblichen CPS-Varianten, von CPPS über CPLS bis hin zu CPSS konstituierend sind, und es sich bei all diesen Varianten im CPE-Sinne um *komplexe adaptive Systeme* (CAS) handelt. Damit wird zugleich deutlich, dass der Zuschnitt von Produktontologien im Rahmen von EO-Konzepten sich nicht an Ansätzen wie der *Product Types Ontology* (PTO) von *GoodRelations* (GR) orientieren sollte, die primär auf den E-Commerce *einfacher* Handelsgüter zielt, jedoch auch direkt auf PLM-relevante Industrien wie Automotive projiziert werden.³¹⁸³ Denn komplexe Produkte im industriellen Sektor produzierender Industrien bergen ontologisch das mereologische Problem *komplexer Entitäten* in sich, was wiederum mit zahlreichen anderen meta-ontologischen Aspekten verbunden ist, etwa dem in Pkt. 6.2.5 behandelten Widerstreit um 3D- vs. 4D-Objekte. Die Produktontologie ist hier systematisch in den gesamten Kontext aller in Pkt. 2.5 ff. erörterten PPR-Entitäten zu setzen, wie es der U-PLM-Ansatz insgesamt mit sich bringt. Das bezieht insbesondere auch umfassend konfigurierbare Produkte und damit das industrielle Konfigurationsmanagement mit ein. Darauf sind einfache E-Commerce-Taxonomien wie *GoodRelations* (GR) jedoch im Gegensatz zu alternativen E-Commerce Ontologieansätzen wie SNAP (IBM) bzw. agentenbasierten E-Commerce Ansätzen in keiner Weise ausgelegt;³¹⁸⁴ vielmehr wird im PPR-Kontext von U-PLM-Systemen im Zeichen der EO-Ansätze eine *Heavyweight-Ontologie* unabdingbar,³¹⁸⁵ über die sich durchgängige digitale Wertschöpfungsketten erst integriert steuern lassen. Somit zeigt sich genau umgekehrt, dass das *industrielle E-Commerce* mitsamt üblicher Produktkonfiguratoren allein schon mit Blick auf das Variantenmanagement die Kombination mit PLM-Produktkatalogen erfordert, und entsprechend einer anderen Lösung bedarf, wenn solche Systeme als Frontend durchgängig digitaler Wertschöpfungsketten notwendig im Kontext der *Smart Factory* mit einzubeziehen sind. Diese Lösung besteht darin, dass *industrielle E-Commerce Ontologien* ebenfalls einer Orientierung an der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* erfordern, weil sich nur auf diese Weise eine vollumfängliche semantische Interoperabilität gewährleisten lässt.

³¹⁸³ Vgl. zum *industriellen Automotive-Bezug* dieses Ansatzes etwa Badra et al. (2011), Chevalier/Servant (2012) sowie Servant/Chevalier (2013); vgl. zu *GoodRelations* Hepp (2008a) sowie Ashraf et al. (2011); wenn dieser Ansatz auf *industrielle* Klassifikationen zielt, vgl. hierzu bereits Hepp (2006a), steht dennoch außer Frage, dass es sich dabei nicht um den Kernaspekt *industrieller* E-Commerce-Ontologien handeln kann. Dieser ist vielmehr mit Pkt. 2.5 ff. im PPR-Framework und damit in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu suchen.

³¹⁸⁴ Gemäß dem in Pkt. 3.4 bzw. Pkt. 3.5 dargelegten *weltenbezogenen* Ontologieverständnis handelt es sich bei *GoodRelations* auch um keine echte Ontologie; bei SNAP als alternativen E-Commerce Ontologieansatz von IBM Research ist dies demgegenüber prinzipiell der Fall, vgl. Morgenstern/Riecken (2005) sowie Akanbi (2014). Die philosophischen Fundamente, die Hepp (2008b) für Ontologien selbst einfordert, fehlen gerade bei *GoodRelations*; es handelt sich insgesamt um eine *Taxonomie*, die zudem ausschließlich *objektbezogen* ist; demgegenüber ist SNAP *ereigniszentriert*, zeigt sich umfassend in der AI-Ontologie mitsamt entsprechender Logikkalküle (SC, EC) verankert und sucht die Herausforderung mit der *Top-level Ontologie*, konkret mit DOLCE, vgl. Morgenstern/Riecken (2005). Analoges gilt mit Blick auf andere agentenbasierte E-Commerce Ontologien, für die *Ereignisse* ebenso zentral sind wie *Objekte*, vgl. hierzu etwa Tamma/Phelps et al. (2005).

³¹⁸⁵ Tamma/Phelps et al. (2005) beziehen sich bspw. bereits auf die REA-EO.

Wenn sich das Komplexe jeweils aus dem Einfachen zusammensetzt, gelangt mit der formalen Behandlung dieser Relationen die *Mereologie* ins Spiel.³¹⁸⁶ Bei ihr geht es um das allgemeine Wissen, die Analyse sowie vor allem um die formale Bestimmung der Beziehung zwischen Teil und Ganzes (Teil-Ganzes-Relationen).³¹⁸⁷ Die Mereologie ist sowohl für wissenschaftliche, technologische als auch für rein praktische ontologische Sachverhalte wesentlich. Für die *Ontologie komplexer Systeme* sind alle drei mereologischen Aspekte entscheidend, da solche *Teil-Ganzes-Relationen* gerade auch in Innovationsprozessen wie etwa der Biotechnologie usf. eine große Rolle spielen. Tatsächlich ist die Mereologie aus *wissenschaftlichen Ontologien* nicht wegzudenken, wie es etwa auch anhand der *biomedizinischen Ontologie* deutlich wird.³¹⁸⁸

»A key role for ontologies of living systems will be played by the notion of 'biological structure' covering physical parts of organisms such as organs, tissues, cells, molecules. They constitute the location of biological processes, and are the targets of experimental, diagnostic and therapeutic interventions.«³¹⁸⁹

Analoges gilt für den Gesichtspunkt *technologischer Ontologien*. Mit Blick auf das PPR-Framework ist hier etwa die ontologische Repräsentation des komplexen Gefüges von Stücklisten (BOM) anzuführen. P.M. Simons (2013b) hat sich auch diesem technologischen Aspekt der Mereologie angenommen, und ganz konkret im PLM-Kontext auf das Problem multipler Stücklisten (EBOM, MBOM usf.) in unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus hingewiesen. Auf dieser PLM-Basis sucht auch P.M. Simons (2013b) Rückschlüsse vom Engineering auf die mereologische Ontologiediskussion zu ziehen, womit offenbar zumindest in dieser Detailsache *U-PLM-Systeme* auch durch Simons als adäquates Referenzszenario gesehen wird. Drittens gilt ihre Bedeutung genauso für *praktische Ontologien*, was sich wiederum anhand des PPR-Schemas zeigt, wenn die Mereologie gerade auch im Bereich der Produktontologien eine elementare Rolle spielt,³¹⁹⁰ wie es Fernández-López et al. (2008) anhand der *Pharmaceutical Product Ontology* (PPO) deutlich werden lassen. Indem es bei U-PLM-Systemen zumeist um komplexe Produkte, komplexe Prozesse sowie um ein komplexes Ressourcenzusammenspiel geht, ist eine PPR-adäquate Mereologie von ganz besonderer Bedeutung. Bei PPR-Objekten handelt es sich mit Pkt. 2.5.2 im Sinne Pazzis (1998) um *komplexe Entitäten*, deren Komplexität nicht nur aus der Beziehung zwischen Teil und Ganzem, sondern vor allem aus dem wechselwirkenden Relationengefüge in den PPR-Stamm- und Bewegungsdaten des IoX-Szenarios resultiert. Mit den in Pkt. 1.5.1 behandelten 4DP-Kontexten des Referenzszenarios sind diese in der Weise zu konzipieren, dass sie nicht an programmierbarer Materie scheitern.

Wie in Pkt. 2.5.2 dargelegt, ist die ontologische Repräsentation zwischen Teil und dessen Ganzem auf den ersten Blick einfach, indem diese über eine *part_of*-Relation gehand-

³¹⁸⁶ Was bei Leśniewski *Mereologie* heißt, bezeichnet Whitehead als *Theory of Extension*.

³¹⁸⁷ Vgl. z.B. B. Smith (1982), Simons (1987, 2013b), Eschenbach/Heydrich (1995) und Casati/Varzi (1999).

³¹⁸⁸ Vgl. etwa Schulz/Hahn (2001, 2002, 2005), Schulz/Kumar/Bittner (2006) und Bittner/Donnelly (2007).

³¹⁸⁹ Schulz/Hahn (2002: 387).

³¹⁹⁰ Vgl. hierzu auch etwa Guarino/Borgo/Masolo (1997).

habt wird.³¹⁹¹ Doch sollte dies nicht über die grundlegenden ontologischen Fragen hinwegtäuschen, die sich mit der Behandlung von Teil und Ganzem stellen. Hierbei liegt das Problem auf beiden Seiten: zum einen gibt es vollkommen disparate Ansätze zur Mereologie; zum anderen stellt sich die Teil-Ganzes-Beziehung in den unterschiedlichsten Ontologieansätzen völlig anders dar. Zumeist hängt beides zusammen; so ist etwa die oft rezipierte Mereologie P.M. Simons' (1987), die mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 in einem 3D-Kontext steht, nicht ohne Husserls Phänomenologie richtig verstehbar, deren mereologischen Aspekte P.M. Simons (1982) herausarbeitet. Analoges gilt etwa für den Ansatz Whiteheads (1929a), der in einem 4D-Kontext steht.³¹⁹² Denn hierbei handelt es sich um eine spezielle Variante der Mereologie, nämlich um eine *Mereotopologie*. Diese resultiert daraus, dass Aspekte der Topologie wie etwa Systemgrenzen mit der Mereologie verbunden werden; somit verschmelzen Mereologie und Topologie bei Whiteheads vielbeachteten Ansatz wie auch in anderen Fällen zur *Mereotopologie*. Mit Whitehead (1929a) ist also eine Mereologie bei einer Klasse-4-Metaphysik als techno-wissenschaftlicher Metaphysik verfügbar, wenn auch nicht in formalisierter Form.³¹⁹³ Dennoch lassen sich damit alle wesentlichen mereologischen Aspekte auch gerade auf technologische Aspekte anwenden. Für diese ist mit H.A. Simon (1969, 2000) und anderen vor allem der Systemgesichtspunkt konstituierend, womit sich unmittelbar die Relevanz der Teil-Ganzes-Beziehung stellt.

Das Beispiel Whiteheads (1929a) offenbart, dass nicht nur die ontologische Definition bzw. Verhältnisbestimmung sämtlicher Entitäten im Zeichen des jeweiligen metaphysischen Ansatzes steht. Vielmehr muss auch die Mereologie zu dieser passen, womit es im Grunde erforderlich ist, dass die Mereologie aus der Metaphysik selbst heraus entwickelt wird bzw. bereits in dieser enthalten ist, wie es bei Whitehead und Bunge als *Systemontologien* auch der Fall ist. Das heißt im Umkehrschluss, dass etwa Whiteheads Mereologie nicht zur Bungeschen Ontologie passt (et v.v.). Und dann wird deutlich, dass bei all jenen *Top-level Ontologien*, die nicht direkt metaphysisch fundiert sind und ihre Mereologie deshalb aus verschiedenen anderen Ansätzen beziehen, die mereologische Konsistenz ganz besonders kritisch zu analysieren ist: Genauso, wie sich die Mereologie etwa bei Artale et al. (1996) auf einen *objektzentrischen* Kontext bezieht, kann es sich prinzipiell auch um einen *ereigniszentrischen* Kontext handeln, bei dem sich dann die Teil-Ganzes-Beziehung notwendig anders darstellt. Vor diesem Hintergrund muss es wegweisend erscheinen, mit Pazzi (1999) die Modellierungsprobleme bzgl. der Mereologie im *ursprünglichen* objektorientierten Paradigma zu erkennen und diese im Kontext der Automatentheorie zu lösen. Tatsächlich muss auch hier mit Verweis auf Pkt. 4.3 gelten, dass alle Ontologiefragen in den Kontext der Automatentheorie bzw. *Complex Adaptive Systems* (CAS) und damit insgesamt in den Kontext der Komplexitätsforschung gestellt werden sollten.

³¹⁹¹ Vgl. hierzu etwa Y. Yu/Wang et al. (2006).

³¹⁹² Vgl. hierzu auch Simons (1991b, 2007b).

³¹⁹³ Vgl. auch Simons (1991b: 384 f.).

Demgegenüber birgt der Versuch, die *Mereologie* im Sinne des linguistischen OE-Ansatzpunkts über *sprachliche Teil-Ganzes-Beziehungen* erschließen zu wollen, eine Reihe von Defekten in sich.³¹⁹⁴ Man sollte erst gar nicht versuchen, diese Defekte in aufwändiger Weise zu heilen; vielmehr sollte man erkennen, dass der linguistische OE-Ansatzpunkt auch im Hinblick auf die Mereologie der falsche ist. Der richtige liegt im *systemischen Strukturalismus* von Klasse-4-Metaphysiken, der sich analog über die Automatentheorie bzw. *Complex Adaptive Systems* (CAS) als ratio-empirische Mittler techno-wissenschaftlicher Metaphysik erschließen lässt. Auf jeden Fall sollten die mereologischen Aspekte der *Top-level Ontologie* umfassend reflektiert werden, denn mit Varzi (1998: 29) gilt: »there is a variety of different mereotopologies by now, and in some cases the differences among these theories bear witness to genuine disagreement concerning fundamental questions«. Als Beispiel lässt sich der Wandel in der mereologischen Perspektive bei Simons anführen, die von einem 3D-Kontext in Richtung einer 4D-Konzeption führt, und dabei wesentlich die Auseinandersetzung mit den Arbeiten Whiteheads sucht.³¹⁹⁵ Insofern stehen nicht nur mit Pkt. 6.2.5 der Endurantismus bzw. Perdurantismus in einem metaphysischen Kontext, sondern ebenso die Mereologie. Damit werden auch in dieser Sache die spezifischen, nämlich die eigentlichen Ursachen für das TLO-Inkommensurabilitätsproblem offensichtlich. Da sich gerade die Ontologiediskussion im technologischen Kontext, speziell auch in jenem der Informatik durchweg auf den Systemgedanken bezieht, besitzt die Mereologie in den Debatten einen entsprechend zentralen Stellenwert. Das gilt auch insofern, als die Mereologie gleichzeitig für die CM-Sphäre wie damit verbunden für die AI/KR-Sphäre elementare Relevanz besitzt.³¹⁹⁶ Dabei sei mit dem postklassischen CM- bzw. AI-Verständnis in Pkt. 3.2.2 festgestellt, dass die UoD-Modellierung als komplexe Universen entsprechend auch eine auf *komplexe Entitäten* abstellende mereologische Perspektive einfordert.³¹⁹⁷

4.6 Synthetic vs. Augmented Reality: Emergenz und die Ontologie der Artefakte

»We call artificial anything optional made or done with the help of learned knowledge and utilizable by others.«

— Mario A. Bunge (1985b: 222)

Ohne die Klärung der Realitätsfrage kann die Informatik ihre Systeme nicht sachgerecht konzipieren, indem unklar bleibt, was real ist bzw. wie die Realität als solche abzugrenzen ist. Wenn die Ontologie der Informatik auf die Frage der Existenz von Entitäten zielt, geht es auch hier um die *reale* Existenz, und damit um die Realitätsfrage. Was aber ist *Realität* für die Informatik? Oftmals wird in ihrer Ontologiefrage auf die Metaphysik Buneses zurückgegriffen, aber richtig verstanden wird diese offenbar kaum. Indes ist nicht nur Buneses Metaphysik unverstanden, sondern vielmehr die Realitätsfrage der Disziplin als solche,

³¹⁹⁴ Vgl. etwa Vieu/Aurnague (2007).

³¹⁹⁵ Vgl. etwa Simons (2007b).

³¹⁹⁶ Vgl. exemplarisch Artale et al. (1996).

³¹⁹⁷ Vgl. hierzu auch Junkkari (2012).

denn sonst würde man in dieser Sache nicht gerade bei Bunge ansetzen. Umgekehrt besteht im Umstand, dass man in dieser Sache nicht auf Leibniz bzw. Whitehead zurückgreift, ein Indikator dafür, dass die Realitätsfrage in der Disziplin genauso wenig verstanden ist wie das Erfordernis ihrer digitalmetaphysischen Fundierung. Tatsächlich dreht sich der durch Bunge erneuerte Streit zwischen dem Materialismus und dem Antimaterialismus Whiteheads (bzw. Leibnizens) nicht zuletzt um die Realitätsfrage. Der Informatik fehlt ohne ihre digitalmetaphysische Fundierung auch in dieser Sache jede Orientierung. Das wiegt deshalb schwer, weil Bunge diesen Streit indessen nicht zuletzt aus dem Grunde nicht zu seinen Gunsten entscheiden kann, als er an den die Informatik konstituierenden Erfordernissen der Cyber-Physik scheitert. Mit anderen Worten legt die Informatik bzgl. der Realitätsfrage im Zuge der konzeptuellen Modellierung usf. genau das zugrunde, was für sie unhaltbar bzw. fehlerleitend ist, und auch ihrem Ursprung in keiner Weise gerecht wird. Denn Realität beschränkt sich in Bunges emergentistischen Materialismus allein auf die Existenz *materieller* "Things". Indem es sich bei Bunge um eine endurantistische Ontologie handelt, geht es dabei um 3D-Dinge; d.h. das Existenzkriterium besteht bei Bunge letztlich in der *räumlichen Ausdehnung materieller Körper* ("Things") – wie bei Aristoteles und Descartes. Bezogen auf *Cyber-physische Systeme* (CPS) resultiert aus dieser Sichtweise jedoch ein fundamentales Problem. Denn diese Systeme können nach dieser aristotelischen Realitätsauffassung allein insofern *real* sein, als sie räumlich ausgedehnt sind. Spätestens wenn es um *Cyber-physische Systeme* (CPS) im *Internet of Things* (IoT) geht wird deutlich, dass sich die Frage der realen Existenz auf das gesamte System erstrecken muss, also gerade auch auf jene *Relationen*, die im Zeichen von Signalübertragungen als solche nicht räumlich ausgedehnt sind. Deren reale Existenz kann nun aber auch nicht dadurch erklärt werden, dass sie Teile der Bungeschen "Things" sind.

Vielmehr offenbaren *Cyber-physische Systeme* (CPS) das, was für die Informatik immer schon galt, nämlich dass ihre Ontologie weder auf einer aristotelischen noch auf einer Cartesischen Basis stehen kann. Sachgerecht lässt sich in der Informatik kein Modell modellieren, kein Wissen repräsentieren ohne zu klären, was in welcher Weise existiert. Insofern hat die Informatik die Realitätsfrage notwendig zu klären. Indem die Informatik mit ihren Bits und Bytes elektronischer Datenverarbeitung physikalische Grundlagen aufweist, die im CPS-Kontext mit der Sensorik und Aktorik zwangsläufig eine weitere Ausweitung erfahren, und sich ihre Systeme nicht zuletzt auf die physisch-reale Welt beziehen, besitzt sie zweifellos ein physikalisches Fundament. Ist es insofern adäquat, dass ihre Ontologie auf einem *reduktiven Physikalismus* aufbaut? Oder muss es dabei vielmehr um einen *nicht-reduktiven Physikalismus* gehen, der auch als *Britischer Emergentismus* bezeichnet wird? Ohne die Beantwortung dieser Frage gibt es keinen sachgerechten Zugang zur Ontologie der Informatik, denn sie betrifft unmittelbar die Frage der realen Existenzbedingung von Entitäten. Sie lässt sich dahingehend beantworten, dass der *reduktive Physikalismus* auf die gleiche Existenzbedingung wie bei Bunge hinausläuft. Insofern kann dieser auch keine

Option für die Informatik darstellen. Bei dem *nichtreduktiven Physikalismus* bzw. Emergentismus stellt sich die Sachlage hingegen grundsätzlich anders dar: Denn alle Britischen Emergentisten wie G.H. Lewes, S. Alexander, C.L. Morgan oder C.D. Broad vertreten eine andere Existenzbedingung und damit ein gänzlich anderes Realitätsverständnis als es im reduktiven Physikalismus der Fall ist. Whitehead müsste man im Grunde mit zu den Britischen Emergentisten zählen, was jedoch in keiner Weise üblich ist. Allerdings stimmen alle grundsätzlichen Dispositionen überein, und es besteht auch ein faktischer Austausch insbesondere zwischen S. Alexander und Whitehead.

Wesentlich ist die Feststellung, dass das Realitätsverständnis von Poppers *Drei-Welten-Lehre* mit dem *Britischen Emergentismus* unmittelbar korrespondiert und Popper selbst als Emergentist zu verstehen ist. Für den *Britischen Emergentismus* ist dabei das entscheidend, was J. Kim (1992, 1993) als "*Alexander's Dictum*" bezeichnet hat,³¹⁹⁸ und auch als *Eleatic Principle* bekannt ist.^{3199, 3200} Demnach gilt: »*To be real is to have causal powers*«. ³²⁰¹ Indessen findet sich der Gedanke einer *kausalen Voraussetzung realer Existenz* wiederum bereits bei Platon ([Soph.]: 247), auf dem sowohl Whitehead als auch Popper unmittelbar aufbauen. Somit wird insbesondere anhand von *Cyber-physischen Systemen* (CPS) im IoX-Hyperspace deutlich, dass die Informatik allein auf *diesem* Realitätsverständnis aufbauen kann. Allerdings besteht die Kehrseite der Medaille darin, dass *Cyber-physische Systeme* (CPS) auch die Problematik dieses Realitätsverständnisses aufzeigen: Sie besteht darin, dass dieses Kausalitätsmoment genauso in reinen Cyberwelten gegeben ist. Sind diese real? Die Antwort lautet: ja, aber nur indirekt, wenn das platonische Universum gilt und Tegmarks *Mathematical Universe Hypothesis* (MUH) vorausgesetzt wird, die wiederum die *External Reality Hypothesis* (ERH), also den *metaphysischen Realismus* als Basishypothese impliziert.³²⁰² Sie avanciert später zur *Computable Universe Hypothesis* (CUH).³²⁰³

Ohne Zweifel besitzt das Kausalitätsmoment von Cyberwelten aber diese indirekte Realität insofern, als sie auf gleicher logico-mathematischer Basis kausal in realen CPS funktionieren. Dies ist etwa im Hinblick auf die CPS-Aktorik festzustellen, die auf der System- und Regelungstechnik gründet und dabei über Wieners (1948) *Kybernetik* auf Shannons (1938) *Switching Circuits* zurückgeht. Hinter dieser Schaltalgebra steht wiederum die Boolesche (1847) Logik, mit der sich Wiener (1913, 1917) im Rekurs auf Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* umfassend auseinandersetzt. Dennoch ist diese technologische Komponente für den neutralen Beobachter nicht ohne weiteres greifbar; entsprechend baut eine an *Ordinary Things* festmachende *Common Sense Reality* auch nicht auf Tegmarks *Mathematical Universe Hypothesis* (MUH) auf. Allerdings steht mit Unger (1979) eher die reale Existenz von *Ordinary Things* und damit die naive, für die

³¹⁹⁸ Vgl. J. Kim (1992: 134; 1993: 348).

³¹⁹⁹ Vgl. D.M. Armstrong (1978b/II: 45 f.; 1997: 41), Oddie (1982), Colyvan (1998) sowie Hudson (2003).

³²⁰⁰ Die Bezeichnung *Eleatic Principle* ist Platons ([Soph.]) Dialog mit dem Eleatischen Fremden geschuldet.

³²⁰¹ Vgl. J. Kim (1993: 348), Hvh. im Orig.

³²⁰² Vgl. hierzu Tegmark (1998, 2008, 2014).

³²⁰³ Vgl. Tegmark (2008).

Informatik alleinig völlig unhaltbare ontologische Voraussetzung einer *Common Sense Reality* in Frage als der Umstand,^{3204, 3205} dass die mathematische Logik im Zeichen *materialisierter Switching Circuits* notwendig als integrierter Bestandteil mit unter die *Ontologie der Informatik* zu fallen hat. Genau das aber ist in allen linguistischen *Common Sense-Ontologien* als "*Furniture-Ontologien*", in allen OLP-sprachphilosophischen und in den meisten neo-aristotelischen TLO-Ansätzen nicht der Fall. Und darin besteht offenbar ein entscheidender Fehler, wenn die Informatik selbst eine Strukturwissenschaft bildet.

In einer realistischen Metaphysik kann daher dieses Realitätsverständnis nur dann sinnvoll erscheinen, wenn zusätzlich das hinzukommt, mit dem sich die *Britischen Emergentisten* auseinandersetzen, nämlich die emergentistischen Schichten der Realität. Weitaus besser erscheint es jedoch auch in dieser Hinsicht – wie in ontologischer Hinsicht insgesamt – wie Popper von Welten zu sprechen – und mit ihnen ein abgestuftes Realitätsverständnis vorauszusetzen. Denn es darf nicht übersehen werden, dass zwischen den Welten ein Hierarchieverhältnis besteht: die Welt 1 ist den anderen Welten als physische Welt vorgeordnet und insofern lässt sich auch von einer anderen Realitätsstufe sprechen als es etwa bei der Welt 2 als Agentenwelt oder als Welt 3 als Welt der Artefakte der Fall sein kann. In Pkt. 6.2.6 kommen wir mit dem *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* bei Ning et al. (2016) zur Einsicht, dass es nicht weniger als vier Realitätsstufen gibt, nämlich eine W1-, W2-, W3- und eine W4-Realität, wobei die im Folgenden behandelte *Augmented Reality* eine W3-Realität repräsentiert. Diese baut notwendig auf der W1-Realität auf, und ist wiederum mit der W2- und W4-Realität unmittelbar verkoppelt. Schwieriger wird es mit der *Synthetic Reality*, indem es hier um Artefakte geht, die als *programmierbare Materie* selbst physisch sind und physikalischen Gesetzmäßigkeiten unterliegen, während sie auf Prozessorbasis selbstadaptiv sind.³²⁰⁶ Als physische Objekte gehören sie in die Welt 1, während etwa die Services, die sie etwa auf SOA-Basis in Anspruch nehmen, in die Welt 3 gehören. Auch in diesem Fall besteht dabei eine prinzipielle W1-W3-Interdependenz. Die Emergenz von Artefakten berührt also mit der *Augmented Reality* und der *Synthetic Reality* unterschiedliche Welttypen. Entsprechend ist evident, dass *Cyber-physi-*

³²⁰⁴ Vgl. Unger (1979: 117): »I believe that none of these things exist, and so that the view of common sense is badly in error«. Das ist grundsätzlich richtig, jedoch mit einer separierten *kognitiven Agentenwelt* in einer integrierten Ontologiekonzeption relativierbar. Allerdings muss dann am Moment *kognitiver Verzerrung* (cognitive bias) festgemacht werden und eine *Belief Revision* ontologisch vollziehbar sein. *Realistische Referenzontologien* spielen dabei eine zentrale Rolle. Insgesamt ist in dieser Sache mit Blick auf Kognitionsfehler, dem Intelligenzvermögen usf. zwischen disparaten Agentenklassen zu differenzieren.

³²⁰⁵ Entsprechend gilt mit C.L. Elder (2003: 163): »Alexander's Dictum can readily appear to require breathing revisions in the ontology of common sense«, was ebenfalls richtig ist, jedoch muss diese Kritik in erster Linie mit Whitehead (1929a) primär an den *revisionären* Sachverhalten festmachen, und ist damit mit der *Klasse-4-Metaphysik* auf Basis der richtigen Metaphysikkategorie zu führen. Konkret ist zu erkennen, dass das Kausalitätsprinzip realer Existenz wie der irreduzible Emergentismus als solcher zwingend auf den *4D-Ereigniszentrismus* der Prozessmetaphysik hinausläuft und dabei schließlich auch das Erfordernis zur Differenzierung ontischer und epistemischer Welten impliziert. Erst dann wird ersichtlich, dass eine primäre ontologische Voraussetzung der *Common Sense Reality*, wie sie in weiten Teilen der Ontologie der Informatik gängig ist, in jeder fundamentalen Hinsicht unhaltbar ist.

³²⁰⁶ Vgl. dazu etwa S.C. Goldstein/Mowry (2004a, 2004b) sowie S.C. Goldstein et al. (2005).

sche Systeme (CPS) alle vier Realitäten bzw. Realitätsschichten resp. Realitätstypen voraussetzen, und zwar in einer integrierten Weise. Dann muss es um integrierte, emergentistische Welten gehen, die kausal verknüpft sind, und dabei sind im Zeichen des *IoX-Hyperspace* genau vier Welten vorzusetzen, die in ihrer kausalen Verknüpfung zusammen ein kosmologisches Ganzes bilden. Insofern die Ontologie die *reale* Existenz von Entitäten meint, wird damit nicht nur klar, dass die Ontologie der Informatik auf eine integrierte Ontologiearchitektur wie CYPO FOX hinausläuft, wobei ihre W3-Realität dann eine gesonderte *Ontologie der Artefakte* erfordert, um die es hier geht.

Für *Cyber-physische Systeme* (CPS) wie speziell für *U-PLM-Systeme* ist eine *Ontologie der Artefakte* unabdingbar;³²⁰⁷ sie kann dabei nicht für sich stehen, sondern hat zwangsläufig unmittelbar etwas mit den anderen ontologischen Welt- bzw. Ontologietypen zu tun. Dafür lassen sich vielfältige Argumente anbringen; etwa die folgenden vier: (i) bei U-PLM-Systemen sind Artefakte im Bereich der Engineering-Ontologien zwingend; sie sind Grundlage für das Entstehen physischer Produkte. (ii) Bei CPS geht es um die Interaktion von physischen Welten und Cyberworlds. (iii) Diese Cyberworlds genügen sich zudem oftmals selbst, etwa bei Computersimulationen und -experimenten. (iv) In vielen Bereichen verschmelzen physische Welten mit Cyberwelten, womit schließlich auch ein adäquates Realitätsverständnis erforderlich ist, nämlich eine *erweiterte Realität*, also *Augmented Reality* (AR), wie sie gängig bezeichnet wird. Diese wird gegenüber dem in Pkt. 3.5 erörterten Popperschen erweiterten Realitätsverständnis insofern stärker akzentuiert, als nicht nur Artefakte in der Welt 3 an sich "real" sind, sondern indem diese Artefakte mit physischen Entitäten der Welt 1 im komplexen CPS-Sinne wechselwirken. Damit geht es um das, was zuweilen als *"Mixed Reality"* bezeichnet wird. Dabei lassen sich die Cyber-Entitäten in dem Sinne verstehen, wie sie in der VR-Metaphysik aufgefasst werden: »Virtual reality is an event or entity that is real in effect but not in fact.«³²⁰⁸ Eine solche *"Mixed Reality"* ist in diesem Sinne bei Cyber-physischen Systemen (CPS) immer gegeben; allerdings wird sie im Zuge von AR-Technologien direkt offensichtlich. Insofern sind AR-Technologien genauso wie CPS-Steuerungen der Welt 3 zuzuordnen; während sie selbst nicht Gegenstand der Welt 1 sind. AR-Technologien werden in vielen U-PLM-Phasen seit geraumer Zeit eingesetzt: etwa in der Produktentwicklung, der Produktion bzw. Montage oder in der PLM-Phase *Sales/Distribution*; genauso besitzen sie in den MOL-Phasen der Produktnutzung selbst sowie in Wartungsprozessen Relevanz.

Wie es im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* besonders offensichtlich wird, ist die *Ontologie der Artefakte* notwendig als integrativer Teil der *emergentistischen* Ontologiekonzeption von CYPO FOX zu behandeln. Das ist aus dem Grunde besonders herauszustellen, weil sie in der aktuellen Forschung entweder unberücksichtigt bleibt oder aber im Allgemeinen isoliert behandelt wird. Das aber ist nicht nur an sich wenig zielfüh-

³²⁰⁷ Vgl. hierzu auch Borgo/Vieu (2009), die ebenfalls ihre Bedeutung für den *PLM-Kontext* herausstellen.

³²⁰⁸ Vgl. Heim (1993: 109).

rend, sondern hat oftmals die im ersten Teil erörterte große Konfusion um die Ontologie zur Konsequenz, etwa, wenn ganz verschiedene Existenzgesichtspunkte oder Realitätsstandpunkte miteinander vermischt bzw. verwechselt werden. Insofern erzwingt gerade die *Ontologie der Artefakte*, dass die Welten strikt im Popperschen Sinne abgegrenzt werden. Allein durch diesen Schritt lässt sich die Ontologiedebatte auf die wesentlichen Fragen verkürzen. Insofern wird deutlich, dass die Ontologie der Artefakte an sich *W3-Ontologie* ist, indem die Definition der Artefakte allein eine Verortung in der W3-Welt zulässt, wenngleich sie die anderen Welten determinieren mögen. Mit Pkt. 3.5 sind diese Artefakte etwa in Form von Institutionen bzw. Regeln insbesondere für die Welt 4 konstituierend.

Artefakte kommen definitionsgemäß in der Welt 1 und Welt 2 nur bedingt vor. In der Welt 1 gibt es auf niederen Emergenzstufen allein natürliche Objekte und damit die physisch-materialistische natürliche Realität im klassischen Sinne; durch Wechselwirkungen mit Artefakten auf höheren Emergenzstufen kommt es zur synthetischen Realität. Demgegenüber ist die Welt 2 – jenseits maschineller Agenten – für Dritte nicht unmittelbar einsichtig und in diesem Sinne nicht nutzbar. Artefakte sind aber mit Bunge (1985b) prinzipiell immer durch Dritte nutzbar; es handelt sich mit Popper um objektivierte Objekte. Andererseits wird durch diese Verortung als W3-Ontologie direkt offensichtlich, welche Objekte durch die Ontologie der Artefakte abzudecken sind. Denn jede metaphysische Ontologie ist, wenn sie sachgerecht konzipiert ist,³²⁰⁹ universale Ontologie; sie ist eine *Theorie der Objekte*, die als Universalontologie vollständig sein muss. Damit gehören in die Ontologie der Artefakte als W3-Ontologie notwendig sämtliche Objekte, die nicht Gegenstand der W1- bzw. W2-Ontologie sind. Somit wird deutlich, dass ihr ein exorbitant breiter Artefaktbegriff zugrundezulegen ist, der all das umfasst, was intelligenzbefähigte menschliche Agenten hervorbringen. Darunter fällt nicht nur das Wissen als solches, sondern sämtliche Technologien und artifiziellen Automaten im Leibnizschen Sinne einschließlich Robotik und AL-Organismen, spezielle technische Verfahren und Baupläne, alle Institutionen, alle sozialen Regeln, Kulturprodukte usf. Das entspricht der Position Bunes (1985b: 222) wie auch Poppers: Unter sie fallen sämtliche von Menschen geschaffene Gegenstände, Zustände oder Prozesse. W3-Objekte sind letztlich immer W2-Produkte. Wenn in Pkt. 3.5 die W2-Ontologie in den Automatenkontext gestellt wurde, ist jenseits von Bunge und Popper zu folgern, dass W3-Objekte alle für Dritte nutzbare W2-Produkte umfassen, die durch verschiedene Klassen intelligenter Automaten geschaffen wurden. Natürlich stellt sich

³²⁰⁹ Universal konzipiert ist sie allein in platonistischer Tradition bei Leibniz und Whitehead; alle anderen Metaphysiken sind es nicht, indem sie entweder in (neo-) aristotelischer Tradition lediglich positivistisch an Naturobjekten festmachen und Artefakte – wenn überhaupt, dann wie bei Bunge – gesondert behandeln oder etwa in phänomenologischer Tradition auf den menschlichen Agenten und dessen unmittelbare Wahrnehmung fixiert sind, nicht aber auf Kosmologie als solche. Selbst das Gesamtwerk Kants (1781, 1790, 1800) umfasst zwar auch das *Regeluniversum*; dieses ist allerdings lediglich auf die Natur bezogen, nicht aber universal auf sämtliche Automatenklassen, einschließlich artifizierlicher Automaten.

gerade bei Artefakten die Frage, inwiefern diese W2-abhängig sind,³²¹⁰ womit das W2-W3-Wechselspiel in der *Ontologie der Artefakte* besonders in den Fokus rückt.

Bunge (1998b: 5) geht dabei so weit, und *muss* so weit gehen, dass er auch die menschliche Natur partiell als artifiziell erachtet: »people are artefacts«. Was auf den ersten Blick verwirrend ist, klärt sich dann auf, wenn die Artefakte wiederum auf die W3-Ontologie bezogen werden, der sie zugehören. Denn dann wird einerseits deutlich, dass dies unter dem Gesichtspunkt, dass W3-Objekte aus W2-Prozessen hervorgehen, richtig ist, nämlich insofern, als mit Bunge (1998b: 5) gilt: »we sculpt our own brains«. Andererseits muss die menschliche Natur deshalb partiell als artifiziell erachtet werden, weil Kompetenzen und Fähigkeiten weder unter die W1-Ontologie noch unter die W2-Ontologie subsumierbar sind. Bei drei Welten bleibt damit lediglich die Welt 3. Im Zeichen der durch Bunge abgelehnten Drei-Welten-Lehre Poppers gehört die menschliche Natur demnach nicht nur in die Welt 1 (genetische Möglichkeiten usf.) sowie in die Welt 2 (geistige Prozesse), sondern ebenso in die Welt 3 (Kompetenzen, Fähigkeiten usf. als Produkte der Welt 2).

Die *Ontologie der Artefakte* wurde lange Zeit vernachlässigt; Ontologie wurde oftmals rein als *Ontologie resp. Metaphysik der Natur* verstanden. Die verbreitete *naturalistische* Konzeption der Metaphysik zielt genau darauf ab, womit sie nicht Leibnizens artifiziellen Automaten gerecht werden kann. Dabei ist eine solche *Metaphysik der Natur* mit Mainzer (2009b) zu verstehen im streng wissenschaftlichen Sinne fundamentaler Prinzipien, denen alle auf Naturphänomene abstellenden Theorien untergeordnet sind; in diesem Sinne ist die Metaphysik also im Sinne von Pkt. 4.1 allgemeinste Theorie. Analoges ist auch für artifizielle Phänomene zu fordern: Denn in den letzten Jahren hat sich das Blatt zugunsten der Leibnizschen Perspektive vollständig gewendet: Zur *Ontologie der Artefakte* ist eine Vielzahl an Beiträgen erschienen.³²¹¹ Diese stehen im Sinne einer *Philosophy of Technology* gerade in engem Bezug zu technologischen Disziplinen:^{3212, 3213} H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* im Allgemeinen sowie dem *Ingenieurwesen (Philosophy of Engineering)* im Speziellen.³²¹⁴ Darüber hinaus ist eine direkte Verbindung zur *Metaphysik des Artifiziellen* gegeben, nicht zuletzt zur Digitalen Metaphysik. Offensichtlich steht die

³²¹⁰ Vgl. hierzu etwa Franssen/Kroes (2014).

³²¹¹ Vgl. z.B. E.J. Lowe (1983b, 2014), Simons/Dement (1996), Kroes (2002, 2006), L.R. Baker (2004, 2008), Houkes/Vermaas (2004, 2009a, 2014), De Ridder (2006), Franssen (2006), Hansson (2006), Houkes (2006), Houkes/Meijers (2006), Kroes/Meijers (2006), Preston (2006, 2009, 2014), Scheele (2006), Vermaas (2006), Vermaas/Houkes (2006), Pohjola (2007), Mizoguchi/Kitamura (2009), Thomasson (2009, 2014), Crilly (2010), Kassel (2010), De Winter (2011), Houkes/Kroes et al. (2011), Vaesen (2011) sowie Franssen/Kroes (2014); vgl. ferner zur Behandlung von Artefakten durch verschiedene TLO-Theorieanwörter Borgo/Vieu (2009) – sowie speziell im Hinblick auf die DOLCE-TLO Borgo/Vieu (2006).

³²¹² Vgl. hierzu J. Hughes (2009).

³²¹³ Mit Blick auf eine solche Philosophie stellt sich die Frage, inwiefern *mechanistische Philosophien* technische bzw. technologische Artefakte zugänglich machen bzw. erklären können, vgl. de Ridder (2006) sowie darauf Bezug nehmend P. McLaughlin (2006); vgl. hierzu ferner de Winter (2011). Komplexe Artefakte erscheinen demgegenüber durch eine *organismische Philosophie* wie die Whiteheadsche besser adressiert, vgl. hierzu Pkt. 4.2.

³²¹⁴ Vgl. hierzu Houkes (2009a) sowie Mitcham/Schatzberg (2009).

Ontologie der Artefakte insgesamt im Zeichen von Simons (1969) *Sciences of the Artificial*; in dieser Hinsicht besteht zwischen ihr und der *Ontologie der Natur*, also zwischen W3- und W1-Ontologie bzw. artifiziellen und natürlichen Objekten in gleicher Weise ein Gegensatz wie – im Sinne synthetischer Realität – eine Symbiose, wie sie durch Simon (1969) zwischen den Naturwissenschaften und den Wissenschaften vom Künstlichen gezeichnet wird: Ausgehend von den Naturwissenschaften und ihrem Wissen über natürliche Objekte und Phänomene geht Simon (1969: 4) der Frage nach, »whether there cannot also be ‘artificial’ science – knowledge about artificial objects and phenomena«. Zwar sind Simons (1969) Überlegungen – ganz im Sinne der W2-W3-Kopplung – in erster Linie speziell auf Automaten und Künstliche Intelligenz (AI) bezogen, doch erweisen sie sich insgesamt auf einer breiteren Ebene als wegweisend. Wie fortschrittlich Simons (1969) Gedanken sind, zeigt der Umstand, dass in den Folgejahren seiner Überlegungen etwa vom *Künstlichen Leben* (AL) bis zum *Künstlichen Universum* (*Artificial Universe*) genau jene Objekte als artifizielle Systeme untersucht werden, die eigentlich die grundlegenden Phänomene der Naturwissenschaften darstellen. Simon (1969) konnte aber nicht nur diese Entwicklung an sich gedanklich vorwegnehmen, sondern auf dieser Grundlage auch konstatieren, dass alle Wissenschaften vom Künstlichen einheitliche Prinzipien aufweisen. Dabei lässt sich das Artifizielle anhand von vier fundamentalen Prinzipien vom Natürlichen unterscheiden.³²¹⁵

1. Künstliche Dinge sind synthetisch von Menschen hergestellt (wiewohl nicht immer oder auch nur im Allgemeinen mit vollem Vorbedacht).
2. Künstliche Dinge mögen den äußeren Schein natürlicher Dinge nachahmen, dabei aber der Realität der letzteren in einer oder verschiedener Hinsichten ermangeln.
3. Künstliche Dinge lassen sich in Bezug auf Funktionen, Ziele und Anpassung (Adaptation) charakterisieren.
4. Künstliche Dinge werden – besonders im Entwurfsstadium – ebenso im Hinblick auf Vorschriften [also normativ, A.d.V.] wie im Hinblick auf Beschreibungen [also deskriptiv, A.d.V.] diskutiert.

Es ist offensichtlich, dass Simons artifizielle Systeme sich nicht auf rechenbasierte Systeme beschränken, sondern – in einem allgemeinen systemtheoretischen Denken – vielmehr *sämtliche Technologien* umfassen. Genauso ist evident, dass Simon damit in der Tradition der Automatenklassen bei J. von Neumann und alles in jener des Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversums stehen. Vor diesem Hintergrund lassen sich in Anlehnung an Bunge (1985b) natürliche und artifizielle Systeme wie folgt differenzieren:

³²¹⁵ Vgl. Simon (1969: 5 f.), Übers. d. Verf.

<i>Merkmal</i>	<i>Natürliche Objekte/Prozesse</i>	<i>Artifizielle Objekte/Prozesse</i>
Existenzmodus	autonom	teilweise autonom (i.S. Poppers), ³²¹⁶ teilweise geistabhängig (i.S. Bunges)
Ursprung	natürliche Selbstorganisation	diverse Klassen von Automaten (u.a. Mensch); artifizielle Selbstorganisation; Produkte der W2-Welt
Entwicklung	spontan	durch Automaten (u.a. Mensch) gesteuert
Evolution	spontane Variation und natürliche Selektion	zielgerichtete Änderung und artifizielle Selektion
Regelmäßigkeiten	wiss. Gesetze und wiss. Trends	wiss. Gesetze, wiss. Trends und Regeln
Konstruiertheit	nein	ja
Geplantheit	nein	ja
Zwecksetzung	Nutzbarmachung	Problemlösung
Produktionskosten	bei reinen Naturprodukten: keine, ggf. Gewinnungs-/Transportkosten	ja (Produktionskosten für tangible/intangible Objekte)
Analysiert durch	Wissenschaft	Technologie ³²¹⁷
Welttypus	Welt 1	Welt 3
Ontologietypus	Ontologie der Natur (W1-Ontologie)	Ontologie der Artefakte (W3-Ontologie)

Abb. 20:³²¹⁸ Natürliche Objekte/Prozesse vs. artifizielle Objekte/Prozesse

Simons (1969) *Sciences of the Artificial* sind im Sinne einer *technologischen Gestaltungslehre (Science of Design)* direkt auf *Artefakte* und ihre *funktionalen Eigenschaften* bezogen: »The natural sciences are concerned with how things are. [...] Design, on the other hand, is concerned with how things ought to be, with devising artifacts to attain goals.«³²¹⁹ Mit Simons (1969) *Sciences of the Artificial* offenbart sich die Notwendigkeit einer einheitlichen Grundlegung aller artifiziellen Systeme im Leibnizschen Sinne. Diese kann allein durch eine Klasse-4-Metaphysik gestellt werden, die in der Lage ist, diese technologischen Aspekte mit abzudecken. Denn im CPS-Sinne ist ein direkter, fließender Übergang zur *Ontologie der Natur* notwendig, und somit offensichtlich zwischen W3- und W1-Welt;³²²⁰ dieser ist mit Pkt. 4.2 allein auf Basis metaphysischer Klasse-4-Ansätzen wie dem Whiteheadschen (1929a) einlösbar. Dieser Übergang ist auch insofern notwendig, als *W3-Engineering Artefakte* unmittelbar auf naturwissenschaftlichem Wissen aufbauen.³²²¹ Damit gelangen wir zur unmittelbaren Relevanz der *Ontologie der Artefakte* für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, insbesondere, wenn es um *Engineering Artefakte* geht. Wie dargelegt, sind komplexe PLM-Systeme aus dem Ingenieurwesen nicht mehr wegzudenken; sie bilden heute geradezu deswegen seinen Kern, weil sie sämtliche Zyklen nicht nur begleiten, sondern vor allem integrieren. Verteilte komplexe Engineeringprozesse sind ohne PLM-Systeme undenkbar; sie bilden die Integrationsplattform der Digitalen Fabrik bzw. Smart Factory – und stehen damit im Fokus der ganzen *Smart Enterprise Integration*.

³²¹⁶ Vgl. Popper (1972a: 161).

³²¹⁷ Bei *sozialen Prozessen* im Sinne von W4-Ontologien: durch *Wissenschaft* (Scientific Ontologies).

³²¹⁸ Quelle: in Anlehnung an Bunge (1985b: 223), inhaltlich teils grundsätzlich modifiziert und ergänzt.

³²¹⁹ Vgl. Simon (1969: 132 f.).

³²²⁰ Dieser ist durchaus im Zeichen von J. von Neumann (1955) zu verstehen; wenn Poser (1988: 113) vor einem ähnlichen Hintergrund »das Erfordernis und die Aufgabe, eine Einheit der Wissenschaften zu finden« postuliert, ist auch dazu offensichtlich eine *integrierte Ontologiekonzeption* Grundvoraussetzung.

³²²¹ Vgl. hierzu etwa Vermaas (2006).

Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* sind diese Entwicklungen überaus zentral; denn es handelt sich hier in weiten Teilen um *Engineering Ontologien*, die entsprechend *Engineering Artefakte* bzw. *technologische* sowie *technische Artefakte* voraussetzen. Somit muss die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* immer eine *Ontologie der Artefakte* notwendig inkorporieren. Mit Blick auf das im zweiten Teil erörterte PPR-Framework ist diese konkret für die *Produktontologien* in U-PLM-Systemen etwa im Zuge von Produktentwicklungsprozessen unabdingbar.³²²² Dabei ist für technologische bzw. technische Artefakte die Definition technischer Funktionen essentiell;³²²³ auch diese vollziehen sich in U-PLM-Systemen auf Basis entsprechender Ontologien bzw. ontologischer Modelle.³²²⁴ Im Sinne der *Teil-Ganzes-Beziehungen* ist hierfür wiederum die in Pkt. 4.5 erörterte *Mereologie* wesentlich.³²²⁵ In gleicher Weise wie diese für wissenschaftliche wie für technologische Ontologien von außerordentlicher Relevanz ist, gilt dies auch für eine *Ontologie der Funktionen*,³²²⁶ die entsprechend über die Ontologie der Artefakte hinausgeht, indem sie auch auf die *Ontologie der Natur* und damit insgesamt auf den CPST-Hyperspace bzw. das Leibniz-Whiteheadsche Automatenuniversum zielt.

Darüber hinaus muss die *Ontologie der Artefakte* in der Smart Enterprise Integration (SEI) insbesondere auf eine *Ontologie für intelligente Objekte (Smart Objects)* abstellen.³²²⁷ Dies gilt in dreifacher Hinsicht: erstens in *technologischer* Hinsicht, indem sich die Kommunikationsprozesse zwischen bzw. mit *Smart Objects* auf ontologischer Basis vollzieht. Zweitens in *existentieller* Hinsicht, denn bei solchen *Smart Objects* handelt es sich mit Pkt. 1.5.1 um CPS; sie besitzen also eine physische wie systemisch verbundene virtuelle Komponente, und sind als Objekte entsprechend zu kategorisieren. Es geht in der W3-Welt also auch um *physische* Artefakte, die in ihrer Qualität aber nicht nur physisch sind, und sich damit auch nicht sachgemäß auf ihre physische Komponente reduzieren lassen. Drittens in *wissenschaftstheoretischer* Hinsicht, indem eine wissenschaftliche Metaphysik resp. Ontologie sämtliche Wissenschaften und Technologien ontologisch fundieren können muss, also auch das *Engineering* als Technologie oder mit Blick auf CPS Simons (1969) *Sciences of the Artificial*. Die zentrale Rolle, die Top-level Ontologien in solchen *Smart Web* Szenarien spielen, wird bereits in der *SmartWeb Integrated Ontology* bei Oberle et al. (2007) deutlich, wenngleich hier erst in Umrissen auf die Potentiale des IoX-Hyperspace abgestellt wird, die sich durch den Einsatz von *Smart Objects* bieten. Dies gilt vor allem für die *Smart Enterprise Integration* als solche und genauso für das Closed-loop U-PLM.

Es ist eine Abgrenzungsfrage, was in welcher Weise als *Artefakt* verstanden wird; es muss in mancher Hinsicht sinnvoll erscheinen, zwischen *sozialen* und *technologischen*

³²²² Vgl. etwa Kitamura (2006).

³²²³ Vgl. Mumford (2006) sowie Hansson (2006).

³²²⁴ Vgl. Kitamura/Mizoguchi (1998, 2010).

³²²⁵ Vgl. Vermaas/Garbacz (2009).

³²²⁶ Vgl. hierzu Borgo/Mizoguchi/Smith (2011).

³²²⁷ Vgl. hierzu etwa Grüninger/Shapiro et al. (2010).

Objekten zu differenzieren; erste stehen oftmals im Zeichen *empirischer Messpraxis*,³²²⁸ zweite hingegen regelmäßig im *Gestaltungs- oder Designzusammenhang*. Entsprechend rücken bei technologischen bzw. Engineering Artefakten *funktionale* Aspekte in den Vordergrund,³²²⁹ die bis zur Frage ihrer *ontologischen Fehlerbehandlung* reichen.³²³⁰ Newberry (2013) sieht das abgrenzende Kriterium *technischer Artefakte* in ihrer Funktionalität, die im direkten Zusammenhang zu ihrer physikalischen Struktur steht; zentrales Abgrenzungskriterium technischer Artefakte ist damit die technische Spezifikation. Soziale Objekte fallen nur partiell mit technologischen Objekten unter denselben *Welttypus* bzw. dieselbe Art von *Wahrmacher (Truthmaker)*. Das ist dann der Fall, wenn sie selbst im *technologischen* Zusammenhang stehen; daneben sind sie jedoch auch im *empirischen* Zusammenhang von Relevanz. Dann fallen sie – im Sinne des Kritischen Rationalismus – mit allen erfahrungswissenschaftlichen Objekten unter den gleichen Wahrmacher und Welttypus.

Genauso wie die W1- und W2-Ontologie, verlangt auch die *Ontologie der Artefakte* als W3-Ontologie einen spezifischen Zuschnitt der einzelnen unter Pkt. 6.2 behandelten meta-ontologischen Kriterien. Dazu gehört auch der unter Pkt. 6.2.4 erörterte Widerstreit zwischen Aktualismus und Possibilismus. Wenn es mit Simon (1969) gilt, das Artifizielle bzw. Artefakte zu kreieren, spielen *mögliche Welten* im Zuge von Inventions- und Innovationsprozessen eine elementare Rolle. Gleiches gilt für den unter Pkt. 6.2.7 diskutierten Gegensatz von multiplikativen und reduktionistischen Ontologien, der im Zeichen der Emergenz artifizierlicher Entitäten zugunsten der multiplikativen Richtung zu entscheiden ist. Im Unterschied zur Ontologie der Natur, in der es im Zuge selbstorganisatorischer Prozesse ebenso immerzu Neues entsteht, stellt sich die Emergenz von Artefakten sehr viel umfassender dar und vollzieht sich sehr viel schneller. Viele Artefakte tauchen aus dem Nichts auf und verschwinden ebenso wieder: Wissen entsteht, Wissen vergeht, genauso wie Technologien kommen und gehen, Kompetenzen erlernt und verlernt werden usw. Insofern wird deutlich, dass die *Ontologie der Artefakte*, wenn sie Bestandteil einer integrierten Ontologiekonzeption sein muss, mit der Emergenz der Artefakte auf eine emergentistische Mehrebenenontologie hinausläuft, die multiplikativ ist. Dabei ist sie es gerade, die die notwendige integrative Verkopplung der ontologischen Schichten bzw. Welttypen verdeutlicht, wie sie sich in emergenten Prozessen, speziell in Innovationsprozessen vollzieht: denn W3-Artefakte entstehen in der W2-Sphäre; werden sie materialisiert, gehören sie mit ihrem materiellen Teil in die W1-Sphäre: so fällt der Bauplan bei Popper in die Welt 3, während das materialisierte Haus in Bezug auf seine Materie in die Welt 1 gehört.³²³¹

Für die Informatik wie für die Komplexitätsforschung ist die Mögliche-Welten-Metaphysik und damit über die Ontologie hinaus die spezielle Metaphysik unverzichtbar.³²³²

³²²⁸ Vgl. etwa Bottazzi et al. (2012).

³²²⁹ Vgl. etwa Carrara/Morato (2011) sowie Mizoguchi et al. (2012).

³²³⁰ Vgl. etwa Del Frate (2012).

³²³¹ Vgl. zu diesem gleichzeitigen Bezug von Entitäten auf die Welt 1 und Welt 3 Popper (1982a: 115).

³²³² Vgl. Casti (1997) und Steinhart (1998).

Das ist beispielsweise der Fall wenn es um die Analyse des Kontingenten geht.³²³³ Computerexperimente zielen u.a. darauf, bestimmte Naturkonstanten zu modifizieren, um einen heuristischen Erkenntnismehrwert zu realisieren. Im Hinblick auf die Mögliche-Welten-Semantik ist festzustellen, dass zwar prinzipiell Welten denkbar sind, die anderen Bedingungen unterliegen. Metaphysische Modalitäten sind jedoch im Sinne einer gemäßigten Modalmetaphysik in Form *bedingter Modalitäten* einzugrenzen. Notwendigkeit basiert hier auf der Ableitbarkeit aus einem System bestimmter Voraussetzungen; Möglichkeit resp. Unmöglichkeit auf der Vereinbarkeit mit diesem System bestimmter Voraussetzungen. Aus den Gesetzen der Logik sind logische Modalitäten ableitbar; aus einem wissenschaftlich-metaphysischen System entsprechende metaphysische Modalitäten. Wichtig ist bei diesen bedingten Modalitäten jedoch, dass aus einer solchen metaphysischen Axiomatik ein Zusammenhang zu realitätsbezogenen Fragestellungen und Aussagensystemen hergestellt werden kann. Eine radikale Modalmetaphysik, wie sie für die reine und exakte Metaphysik kennzeichnend ist, bleibt mit Bunge klar abzulehnen.³²³⁴ Sie ist entsprechend auch für die Top-level Kategorien der Informatik nicht zielführend.

Houkes/Vermaas (2009a) stellen zu Recht die *metaphysische Dominanz* von Artefakten heraus, wenn sie konstatieren, dass sich die *Natur der Artefakte* nicht ohne die Metaphysik richtig klären lässt. Tatsächlich ist das für die AI-Disziplin nicht auf anderer Grundlage möglich, auch nicht auf epistemologischer. Indem die AI-Disziplin nicht um Artefakte umhinkommt, und McCarthy (1977) im theoretischen wie West (2011: 113 ff.) im praktischen Zusammenhang die herausragende Bedeutung metaphysischer Modalitäten bzw. möglicher Welten für sie erkannt haben, ist offensichtlich die Metaphysik bereits schon in diesem Artefaktsinne für die AI-Tradition und damit für die Informatik insgesamt gesetzt. Für McCarthy (1977) und West (2002, 2011) ist sie insofern auch selbstverständlich. Das gilt also unabhängig von den Argumenten, die in Pkt. 3.5 im Zuge von CYPO FOX wie in Pkt. 4.1 im Rahmen der *Klasse-4-Metaphysik* erörtert wurden. Wenn die Metaphysik in der Informatik ohnehin gesetzt ist, dann muss sie richtig fundiert werden. Hier liegt das Problem, das in den Überlegungen von Houkes/Vermaas (2009a) auch zum Vorschein kommt. Denn mit den metaphysischen Modalitäten bzw. möglichen Welten erkennen sie richtig, dass sie nicht auf Klasse-3-Metaphysiken setzen können, die wie die Bungesche als rein wissenschaftliche Metaphysik allein der aktuellen Welt verpflichtet ist. Daher sehen Houkes/Vermaas (2009a) in der *analytischen Metaphysik* den richtigen Ansatzpunkt. Allerdings besteht auch darin nicht die richtige Option, indem die *analytische Metaphysik* i.e.S. im Zeichen Van Fraassens (2002) als Klasse-2-Metaphysik einzustufen ist: Diese kennt keine Übergänge zur wissenschaftlichen Metaphysik im Sinne des Ratio-Empirismus. Auf ihre Kritik kommen wir in Pkt. 5.5 zurück. Mit Blick auf Vermaas (2006) besteht damit offenbar ein Widerspruch bzw. eine Inkonsistenz insofern, als er darauf insistiert, dass die

³²³³ Vgl. Bedau (1998b).

³²³⁴ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 246 f.).

Artefakte auf naturwissenschaftlichem Wissen aufbauen. Insofern kann die Lösung weder in der analytischen Klasse-2-Metaphysik noch in der Klasse-3-Metaphysik liegen, sondern allein in einer Klasse-4-Metaphysik. Bei dieser können Artefakte sowohl auf erfahrungswissenschaftlichem wie strukturwissenschaftlichem Wissen bzw. Programmen gründen.

Indem die *Ontologie der Artefakte* als Teil einer integrierten Ontologiekonzeption der Informatik zu verstehen ist, stellt sich auch bei ihr die Frage der universal voraussetzbaren Anforderungsspezifikation. Denn eine CPSS- bzw. IoX-adäquate Top-level Ontologie kann nur dann *universale Ontologie* sein, wenn sie die *Ontologie der Artefakte* inkorporiert. Um in dieser Sache ein universales *Requirements Engineering* (RE) durchführen zu können, ist das U-PLM-Referenzszenario wie bei den in Pkt. 1.5.1 behandelten 4DP-Technologien gesondert zu vertiefen. Hierbei ist zwei wesentliche Kriterien zu genügen: zum ersten ist ein Sektor in den Fokus zu nehmen, der unter das Referenzszenario fällt und in der Sache am weitesten ist, zum anderen müssen die Artefakte unmittelbar eine Erweiterung des AI-Gedankens darstellen. Damit ist der relevante Vertiefungsfall, an dem sich alle maßgeblichen Fragen der *Ontologie der Artefakte* erörtern und klären lassen, schnell gefunden: *Artificial Life* (AL) als zentrales Forschungsparadigma der Biotechnologie, wie sie durch G. Levinson (1995) generell erörtert wird, und deren praktische Anwendungsmöglichkeiten Kim/Cho (2006) reflektieren. Dabei fällt die Biotechnologie als Sektor direkt unter die PLM-relevanten Industrien, während die AI-Relevanz für die Informatik insofern gegeben ist, als in der AL-Forschung nicht weniger als die unmittelbare Schwesterdisziplin der AI-Forschung besteht.³²³⁵ Diese geht dabei auch mit der digitalmetaphysischen Fundierung Whiteheads konform, als seine zellulären Organismen bzw. Automaten genau in der Weise konzipiert sind, dass sie den AI- wie AL-Belangen gerecht werden. Entsprechend sind die Artefakte der AL-Forschung auch im Ganzen mit den 4DP-Technologien verwandt, auch wenn beide andere, nämlich wissenschaftliche vs. technologische Ziele verfolgen.³²³⁶ Die AL-Forschung besitzt dabei entweder virtuellen Charakter oder ist cyberphysisch veranlagt bzw. es handelt sich um eine spezifische Form programmierbarer Materie. Die AL-Konformität zu Whiteheads Cyber-Physik ist unverkennbar, wenn Moreno/Ruiz-Mirazo (2002) *Information* nicht nur als "Urstoff", sondern als "causal mechanism" für den Wandel systemischer Ordnungsstrukturen identifizieren: »Information is thus a special type of formal causation, in the sense that it infuses or propagates structures«. ³²³⁷

Die AL-Forschung bringt besonderen Aufschluss bzgl. der Agentenklassen und ihrem Kognitionsmoment,³²³⁸ der jeweiligen Agent-Umwelt-Interaktion,³²³⁹ der *Form-Materie-*

³²³⁵ Vgl. zur engen Verbindung von AL und AI etwa Bedau (2005: 2); vgl. dazu exemplarisch Steels (1995), Moreno/Ibañez (1997) sowie E. Thompson (1997). Vgl. zu ihren Unterschieden Keeley (1998: 254 ff.).

³²³⁶ Vgl. dazu bereits Papadimitriou/Sideri (1998).

³²³⁷ Vgl. Moreno/Ruiz-Mirazo (2002: 71).

³²³⁸ Vgl. etwa Moreno/Umerez/Ibañez (1997) sowie Parisi (1997).

³²³⁹ Vgl. etwa Smithers (1997) sowie Moreno/Etxeberria (2005).

Dichotomie,³²⁴⁰ oder der Emergenz, Selbstorganisation, der hierarchischen Verschachtelung von Systemen sowie *Hyperstructures*,³²⁴¹ wie sie für den CPST-Hyperspace bzw. das Leibniz-Whiteheadsche Automatenuniversum im Ganzen konstituierend sind. Vor diesem Hintergrund ist die AL-Forschung für Boden (1996b) mehr als eine AI-Schwesterdisziplin, wenn sie darauf insistiert, dass artifizielle Intelligenz in die Sphäre artifiziellen Lebens notwendig eingebettet sei.³²⁴² »One might define A-Life as the abstract study of life, and AI as the abstract study of mind. But if one assumes that life prefigures mind, that cognition is – and must be – grounded in self-organizing adaptive systems, then AI may be seen as a sub-class of A-Life«. ³²⁴³ Bei Dennett (1994: 291) gestaltet sich das Verhältnis beider Disziplinen demgegenüber genau umgekehrt. Mit der Argumentation Bodens müsste man dann jedoch konsequent sein, und mit Sullins (1997) entsprechend die notwendige Einbettung artifiziellen Lebens in eine artifizielle physiko-chemische Sphäre postulieren: »There exists a minimum set of formal axioms which can be used to create a complete artificial physics capable of sustaining artificial life«. ³²⁴⁴ Festzuhalten ist also, dass analog der realen Welt auch die artifiziellen Ebenen ineinander überzugehen haben. Auch wenn sie partiell nicht ersichtlich ist, besteht doch im Ganzen ein unmittelbarer Bezug zwischen *Artificial Intelligence*, *Artificial Life*, *Artificial Chemistry*, *Artificial Physics* und dem *Artificial Universe* im Ganzen. Diese Einheit ist unabdingbar, denn die artifiziellen Ebenen sind nicht nur genauso miteinander verwoben wie beim natürlichen Pendant, wie es Gegenstand der in Pkt. 4.2 umrissenen "*New Physics*", "*New Chemistry*" bzw. "*New Biology*" ist; vielmehr greift beides ineinander und formt das, was als synthetische Realität zu bezeichnen ist. Entsprechend wird eine Metaphysik benötigt, die nicht nur *Metaphysik der Natur* ist, sondern gleichzeitig als *Metaphysik des Artifiziellen* fungieren kann. Dabei muss sie im universal strukturalistischen Sinne neben der Cyber-Physik ein *universales cyber-phisches Evolutionsparadigma* eröffnen können, an das die *Physik der Evolutionsprozesse* bei Ebeling et al. (1990) genauso unmittelbar anschließen kann wie die evolutionären Übergänge in den AL-Prozessen bei J. Stewart (1997). Dann muss es sich offenbar um eine tatsächlich universale Metaphysik handeln. In der AL-Forschung wird dabei indessen der gleiche Fehler begangen wie bei den "*Things*" im IoT-Kontext, nämlich indem man genauso meint, "*Life*" auch hier im aristotelischen Sinne verstehen zu können,³²⁴⁵ während es dabei um 4D-ereigniszentrische strukturalistische Ordnungsmuster gehen muss. Damit ist auch in dieser Sa-

³²⁴⁰ Vgl. Bedau (1998a: 134): »What is essential to supple adaptation is the *form* of interactions among the components, not the stuff those components are made from. Thus, what determines whether something is an instance of the process of supple adaptation is whether the right sort of functional structure is present. In other words, the process of supple adaptation has a functional definition«.

³²⁴¹ Vgl. etwa Baas (1994); vgl. dazu auch D.E. Smith/Morowitz (2004: 22): »At all levels of complexity in life, we see a hierarchical structure in which higher, regulatory structures sharpen or direct lower-level constructive processes«.

³²⁴² Diese Position wird etwa durch Bedau (1997a) geteilt.

³²⁴³ Vgl. Boden (1996b: 95).

³²⁴⁴ Vgl. Sullins (1997: 152), ohne Hvh. des Orig.; vgl. hierzu auch Astor/Adami (2000).

³²⁴⁵ Vgl. etwa G.B. Matthews (1996).

che evident, dass die *Metaphysik der Informatik* allein durch die in Pkt. 4.1 bzw. Pkt. 4.2 erörterte *Klasse-4-Metaphysik* als techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik gestellt werden kann. Im Sinne ihres metaphysischen Logizismus lassen sich dann mit Sawhill (1995) die Prozesse als *logische Dynamik* konzipieren:

»It is clear that the physical interaction dynamics of these processes vary so widely that they cannot be ascribed to any single mechanism or force. Instead, there seems to be some underlying ‘logical dynamics’ describing the interrelationship of the degrees of freedom of the system. All of the above data sets appear to be history dependent; i.e., the future evolution of the system depends on more than the current state of the system. Such processes are called non-Markovian. [...] All of the above systems are also dissipative and open and do not obviously conserve a quantity such as energy or a well-defined analogue.«^{3246, 3247}

Diese logische Dynamik lässt sich dann auf Basis Boolescher Netze modellieren:³²⁴⁸

»The ‘logical dynamics’ in the systems described above can best be characterized by distributed information processing. This means a system which is capable of processing, storing, and transmitting information about the states of the elements of which it is composed. The most general computational paradigm which can implement distributed information processing is called a Boolean Net [...].«³²⁴⁹

Mit Moreno (2000) eröffnet sich damit für die AI- wie die AL-Disziplin gleichermaßen die Funktionalismusdebatte.³²⁵⁰ Dabei erweist sich der Funktionalismus insgesamt als essentieller Bestandteil von H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial*; Simon selbst spricht indessen nicht von *Funktionalismus*, sondern von *funktionaler Erklärung* (*functional explanation*) beziehungsweise von *funktionaler Analyse* (*functional analysis*), indem der epistemologische bzw. methodologische Aspekt im Vordergrund steht. Allerdings geht es in beiden Spielarten um einen Funktionalismus, wenn auch um einen jeweils andersgearteten: Die *funktionale Erklärung* steht bei Simon im Kontext der Philosophie des Geistes,³²⁵¹ nämlich für ein Computermodell des Geistes, hinter dem sich der Funktionalismus als klassische Position der Philosophie des Geistes verbirgt. Diese Art von Funktionalismus wurde in den sechziger Jahren durch H. Putnam (1960, 1967) entwickelt, der wiederum durch die Arbeit Turings (1950) inspiriert ist.³²⁵² Dieser Funktionalismus, der mit

³²⁴⁶ Sawhill (1995: 147).

³²⁴⁷ Dass *komplexe Systeme* physikalisch als *dissipative Systeme* zu behandeln sind, ist in Pkt. 4.3 erörtert.

³²⁴⁸ Vgl. dazu auch Sawhill/Kauffman (1997).

³²⁴⁹ Sawhill (1995: 147).

³²⁵⁰ Vgl. Moreno (2000: 508): »Philosophically speaking, the computational versions of both AI and AL have been associated to functionalism. This position assumes and defends that the specific materiality that sustains a certain capability (mental, biological or of some other nature) is not relevant [...]. In the specific case of AL, it is claimed that biological phenomenology is exclusively the result of some organizational arrangement, rather than of a particular material implementation of it [...]. In fact, the question of whether those organizational arrangements are sustained by carbon or silicon molecules or by patterns of electrons in a computer is considered as completely irrelevant«. Moreno/Ruiz-Mirazo (1999) vertreten mit ihrem Metabolismus eine demgegenüber differenziertere Variante, indem die materielle Instantiierung sich nicht einfach auf die logische Form bzw. deren Funktionalismus erstreckt, sondern thermodynamische Energieflüsse als solche für die Herausbildung von Ordnungsstrukturen als wesentlich erachtet werden. Mit Ruiz-Mirazo/Moreno (2006) impliziert das einen speziellen Informationsbegriff.

³²⁵¹ Vgl. hierzu etwa H.A. Simon (1969: 7 ff.).

³²⁵² Zwischenzeitlich hat sich Putnam (1999: 11 ff.) partiell von seiner ursprünglichen Position des *Funktionalismus* distanziert, indem er meint, dieser helfe nicht die im Zentrum der *Philosophie des Geistes* stehende Frage nach dem *Wesen der mentalen Zustände* zu beantworten. Es sollte auch nicht behauptet werden, dass sich die Psyche von Mensch und Tier als Zustände einer Turingmaschine verstehen lassen, vgl. dazu auch Putnam (1999: 137). Genauso wenig sollte der *Funktionalismus* in dem Sinne verstanden

Blick auf die Turingmaschine auch als *Machine Functionalism* resp. als *Machine-state Functionalism* bezeichnet wird,³²⁵³ postuliert, dass mentale Zustände funktionale Zustände sind.³²⁵⁴ Dabei zeigt sich ein funktionaler Zustand durch seine kausale Rolle in einem System spezifiziert. Für diesen Funktionalismus Simons erweist sich die Äquivalenzthese als entscheidend, nach der prinzipiell von einer *funktionalen Äquivalenz* von Gehirn und Computer auszugehen ist.³²⁵⁵ Diese These beruht bei Simons (1982b: 32) physikalischen Symbolsystemen wiederum auf zwei zentralen Prämissen: »A computer, appropriately programmed, can engage in general intelligent action« und: »The human brain is a physical symbol system«. Metaphysisch geht es damit um die Loslösung der Form von der Materie, nämlich insofern, als sich für Simon die materiale Instantiierung prinzipiell nicht als ausschlaggebend erweist. Das gilt auch für die Informationsverarbeitung in Computersystemen selbst. Simon (1982b: 31 f.) verweist darauf, dass ältere und neuere Computersysteme in physikalischer Hinsicht eine vollkommen andere materiale Beschaffenheit aufweisen, während dies funktional und damit der logischen Form nach in keiner Weise ausschlaggebend ist. Genauso sei es unerheblich, ob die Rechnerarchitekturen an physikalischen oder – etwa im Sinne von Neuronen oder Makromolekülen – an biologischen Ideen angelehnt sind. Demgegenüber hat Simons *funktionale Analyse* weder etwas mit der mathematischen Funktionalanalyse noch inhaltlich unmittelbar etwas mit dem Funktionalismus der Philosophie des Geistes zu tun. Simons funktionale Analyse repräsentiert vielmehr einen Funktionalismus als strukturell-funktionale Methode, die für eine makrotheoretische Analyse komplexer Systeme in den empirischen Sozialwissenschaften steht,³²⁵⁶ und sich dabei auf Verhaltensaspekte von Systemen bezieht.³²⁵⁷

Aufgrund des großen Stellenwerts der *Ontologie der Artefakte* sollte genauer besehen keine Ontologiedebatte in der Informatik ohne den Einbezug der AL-Forschung geführt werden. Denn sie ist nicht nur für die Reflexion philosophischer Ontologien von außerordentlicher Relevanz, sondern auch für die Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwörter an sich. Dabei werden an ihr die Defizite und Defekte der verschiedenen Ansätze im cyber-physischen Zusammenhang direkt offenbar. Wie im AI-Fall, besteht der Ur-

werden, dass dieser *propositionale Einstellungen* bloß als *kalkülmäßige Zustände* des Gehirns auffasst, vgl. dazu auch Putnam (1999: 138).

³²⁵³ Vgl. zum *Machine Functionalism* Kim (1996: 73 ff.).

³²⁵⁴ Vgl. zur Kritik des *Funktionalismus* Block (1990, 1991). Vgl. ferner Searle (1980), dessen "*Chinese Room*" *Argument* einen direkten Angriff auf die funktionalistische Position darstellt, wonach sich Denkprozesse als Satz von Funktionen repräsentieren lassen.

³²⁵⁵ Vgl. hierzu etwa Simon (1975); vgl. ferner Newell/Simon (1956, 1972) sowie Newell/Shaw/Simon (1960, 1962). Wichtig ist herauszustellen, dass es lediglich um eine *funktionale Äquivalenz* geht, nicht um eine strukturelle Identität. Entsprechend konstatiert bereits Simon (1951: 72) im Kontext der Automatentheorie: »[I]t is dangerous to carry such analogies [between automata, on the one hand, and organisms and social systems on the other, A.d.V.] in detail – e.g., to compare specific structures in a computer with specific neural structures«.

³²⁵⁶ Vgl. hierzu Bredemeier (1955), Barber (1956) sowie Cancian (1960, 1968).

³²⁵⁷ Insofern repräsentiert Simons *funktionale Analyse* auch nicht einen *Soziefunktionalismus*, wie er bei Putnam (1999: 139 ff.) als Erweiterung des Funktionalismus umrissen wird, indem Aspekte der Umgebung mit einbezogen werden.

sprung der AL-Forschung gute dreißig Jahre nach Dartmouth ebenfalls in einer Konferenz, die 1987 stattfand.³²⁵⁸ Ihre Grundlagen liegen indessen in der Kybernetik Wieners, der Automatentheorie, der Allgemeinen Systemtheorie Bertalanffys sowie vor allem in der AI-Disziplin.³²⁵⁹ Zur eigentlichen AI-zentrischen *Automatentheorie* existieren verschiedene Vorläuferarbeiten; zu nennen sind vor allem die ersten Grundlagenarbeiten zur *Theorie zellulärer Automaten* des Mathematikers S.M. Ulam um 1940,³²⁶⁰ sowie ihre eigentliche Begründung durch J. von Neumann (1951, 1966) in Form eines universellen Berechnungsmodells eines Zellularautomaten.³²⁶¹ Ferner kommen weitere hinzu, wie jene von Holland (1962) und schließlich auch Conways *Game of Life*,³²⁶² in dem S.M. Ulam (1976) nicht umsonst eine Parallele zur Prozessontologie Whiteheads erkennt.³²⁶³ Denn die eigentlichen, die fundamentalen Grundlagen von allem liegen genau hier. Indem die AL-Forschung in essentieller Weise auf der *Theorie zellulärer Automaten* beruht, wurden wesentliche Vorarbeiten durch J. von Neumann erbracht.³²⁶⁴ Denn die durch Neumann im Kontext zellulärer Automaten erbrachte Grundlagenforschung zum Nachweis des Vermögens artifizierlicher Selbstreproduktion bildet die Voraussetzung für jede Auseinandersetzung mit Künstlichem Leben.³²⁶⁵ Indem diese formallogische Selbstreproduktion bereits im Zuge seiner digitalmetaphysischen zellulären Organismen behandelt wird, kann ihr eigentlicher Begründer in fundamentaler Hinsicht erneut in Whitehead ausgemacht werden.

Für die AL-Forschung sind die prozessualen Aspekte der Evolution und Adaption genauso zentral wie für die agentenbasierte AI-Disziplin. Es handelt sich um systemisch-emergentistische Vorgänge, die letztlich in der Whiteheadschen Prozessmetaphysik eine gemeinsame Basis besitzen. Erst diese bringt Leibnizens Automatenuniversum von der mechanistischen in die Whiteheadsche *organismische Konzeption*, und es ist diese, die sowohl die universale Perspektive, den "*general world view*" der Informatik wie der modernen Wissenschaft begründet. Denn auf ihr baut nicht nur die Grundlegung einer evolutionären Automatentheorie im Sinne *zellulärer Automaten* auf, sondern mit ihr werden genauso universale Konzepte wie die *Allgemeine Systemtheorie* oder die *Theorie dissipativer Strukturen* begründet.³²⁶⁶ Die AL-Forschung ist gewiss mehr als ein "computational re-

³²⁵⁸ Vgl. hierzu Boden (1996a: 7) sowie Keeley (1998: 252).

³²⁵⁹ Vgl. hierzu Emmeche (1991: 334 f.) sowie Coppin (2004: 363 ff.).

³²⁶⁰ Mindestens indirekt ist auch in Turing einer ihrer Begründer zu sehen, vgl. hierzu N.G. Cooper (1983).

³²⁶¹ Zum Ursprung dieses Konzeptes vgl. Langton (1984: 135, 1989: 13 ff.), Toffoli/Margolus (1987: 8 ff.), Levy (1992: 42 ff.), Coveney/Highfield (1995: 91 ff.) sowie Hedrich (2002).

³²⁶² Vgl. hierzu Gardner (1970).

³²⁶³ Vgl. Ulam (1976: 285): »The Conway Game of Life is an example of a game or pastime which [...] has led ultimately to the present edifice of probability theory, and may lead to a vast new theory describing the 'processes' which Alfred North Whitehead studied in his philosophy«.

³²⁶⁴ Vgl. Levy (1992: 17), Coveney/Highfield (1995: 3, 237), Langton (1996: 47 ff.), Marchal (1998) sowie McMullin (2000: 472).

³²⁶⁵ Vgl. hierzu Langton (1986).

³²⁶⁶ Vgl. Bertalanffy (1969: 57 f.): »Suffice it to recall that not even physics is 'mechanistic' any more since matter de-materialized in modern theory, determinism reached its limits in quantum theory, and ultimate particles are entities defined only by highly abstract mathematical expressions«, sowie Bertalanffy (1975: 100): »[T]he mechanistic view that the organism is passively determined and can only react to

search project", von dem Moreno (2000: 507) spricht. Vielmehr ist sie für die Grundlegung der Informatik an sich von Relevanz, indem erst auf ihrer Basis Schrödingers (1944) oben ins Spiel gebrachte Frage "*What is Life?*" in den für die Informatik unabdingbaren *cyber-physischen* Zusammenhang gebracht werden kann:

»Artificial Life is a field of study devoted to understanding life by attempting to abstract the fundamental dynamical principles underlying biological phenomena, and recreating these dynamics in other physical media – such as computers – making them accessible to new kinds of experimental manipulation and testing.«³²⁶⁷

Dass dieser cyber-physische Zusammenhang als Wechselspiel zu begreifen ist, erkennen auch Morán et al. (1997) und Ruiz-Mirazo et al. (1998), indem sie dafür plädieren, insbesondere die Gesetze der Thermodynamik, namentlich die Theorie dissipativer Strukturen, mit in AL-Modelle einzubeziehen. Vor allem aber fällt die AL-Forschung unter die Strukturwissenschaften bzw. die Komplexitätsforschung,³²⁶⁸ die wiederum vor allem Computerwissenschaft ist,³²⁶⁹ indem die AL-Forschung hauptsächlich auf Computersimulationen und –experimenten gründet.^{3270, 3271}

»The interesting emergent events that involve artificial life simulations reside not in the simulations themselves, but in the ways that they change the way we think and interact with the world. Rather than emergent devices in their own right, these computer simulations are catalysts for emergent processes in our minds; they help us create new ways of seeing the world.«³²⁷²

Diese Computersimulationen und –experimente beziehen sich dabei allerdings nicht streng auf die empirischen Aspekte der Erfahrungswissenschaften,³²⁷³ wie es für die BFO-TLO oder die Ontologie Bunges als neo-aristotelische Ansätze charakteristisch ist. Denn für die AL-Forschung steht weniger die bekannte Evolution (*life-as-we-know-it*) im Vordergrund als vielmehr ein *modaler* Standpunkt,³²⁷⁴ der den meisten wissenschaftlichen On-

external influences had to be replaced by a viewpoint which admits the primacy of action over reaction«. Vgl. ferner Prigogine (1984a: 434): »[M]ost of European modern philosophy, from Immanuel Kant to Alfred North Whitehead, appears as an attempt to overcome [...] the necessity of a tragic choice between the mechanical view of classical physics and our daily experience of the irreversible and creative dimension of life [...]«. Im Zeichen der Komplexitätsforschung wird entsprechend von einer *Physik des Lebens und Werdens* resp. von einer Physik der Evolutionsprozesse gesprochen, vgl. etwa Ebeling/Feistel (1982), Feistel/Ebeling (1989) und Ebeling et al. (1990). Demgegenüber ist bei Prigogine (1989b: 1) von einer "*biologization*' of physics" die Rede. Mit Whyte (1955a, 1957a, 1968) und anderen wird gerade auch aus Sicht der Physik eine *organismische Weltauffassung* gefordert.

³²⁶⁷ Langton (1992a: xiv).

³²⁶⁸ Die AL-Forschung zielt explizit darauf, das *Verhalten komplexer Systeme* zu verstehen, vgl. Bedau (1998b: 135). Artificielle Systeme bilden dabei eine wichtige Systemklasse komplexer Systeme; sie stellen in der Regel *komplexe adaptive Systeme* (CAS) dar. Vgl. zu ihrer Subsumtion unter die Komplexitätsforschung etwa Bedau (2003) bzw. unter die Strukturwissenschaften etwa Artmann (2003).

³²⁶⁹ Vgl. etwa Bedau (1995); vgl. hierzu ferner Pagels (1988) sowie Casti (1997).

³²⁷⁰ Vgl. Langton (1996: 50 ff.); vgl. hierzu kritisch Moreno et al. (1994).

³²⁷¹ Bereits Simon (1969: 15 f.) sieht in der *Simulation* eine Quelle neuer Erkenntnis. Daneben ist auch die Möglichkeit *computerbasierter Experimentierens* für Simons (1969) *Sciences of the Artificial* wesentlich: Das beginnt etwa im Hinblick auf künstliche Schwerkraft mit der Raumfahrt, geht über Umwelttechnologien und anderes und markiert für die AL-Forschung schließlich nicht weniger als das Hauptziel, nämlich »to allow a new way of 'computational experimentation' that enables us to 'discover' the universal principles of living systems«, vgl. Moreno (2000: 508). Dabei gilt: »A computer model is a scientist's dream. One can easily measure any aspect of a phenomenon observed in simulation. Everything in a computer model is measurable«, vgl. Burtsev (2004: 397).

³²⁷² Cariani (1992: 790), ohne Hvh. des Orig.

³²⁷³ Vgl. Moreno (2000: 507).

³²⁷⁴ Vgl. dazu auch Artmann (2003: 183): »AL is the biology of possible life«.

tologien fremd ist. Indessen geht es der AL-Forschung um ein Evolutionsverständnis, das sich zwischen Möglichkeit und Notwendigkeit bewegt (*life-as-it-could-be*).³²⁷⁵ Insofern überrascht es nicht, wenn die AL-Forschung sich entsprechend explizit als *modale Disziplin* versteht.³²⁷⁶ Das gilt für die Komplexitätsforschung in gleicher Weise, wie es Castis (1997) "*Would be Worlds*" illustrieren. Mit Blick auf das U-PLM-Referenzszenario in relevanten Industrien wie der Biotechnologie verlangt die AL-Forschung also nach einem *techno-wissenschaftlichen* Ontologieverständnis, das einer *possibilistischen Ontologie* gerecht wird, während etwa im oben beschriebenen Rückgriff auf die Gesetze der Thermodynamik streng wissenschaftliche Ontologien nicht in Frage gestellt werden können. Die Informatik muss beiden Ansprüchen gerecht werden, was offenbar allein auf Basis einer *integrierten Ontologiekonzeption als Mehrweltenontologie* möglich ist, wie sie in Pkt. 3.5 mit CYPO FOX umrissen wurde. In ihrer Eigenart als *modale Disziplin* wird für die AL-Forschung damit eine über die *Ontologie der Artefakte* hinausgehende *Metaphysik des Artifizialen* relevant, die Digitalmetaphysik ist. In der Tat besitzt der AL-Gedanke ein spekulatives Moment, wie es insgesamt für die Metaphysik kennzeichnend ist. Aber es geht metaphysisch um sehr viel mehr, etwa um Whiteheads "*Category of the Ultimate*", die "*Creativity*" als "*principle of novelty*" voraussetzt. Dabei ist für Simons (1969) *Sciences of the Artificial* insgesamt kennzeichnend, dass Artifizielles immer genuin "Neues" bedeutet, indem ihre Objekte synthetisch sind, es um W3-Gegenstände geht, die erst durch Agenten erschaffen sind. Das ist ontologisch, epistemologisch wie methodologisch von Belang. Mit Pkt. 5.2 kann es demgegenüber in der aristotelischen Welt solche synthetischen Objekte nur in eingeschränkter Weise geben, indem zum einen der Hylemorphismus gilt, zum anderen allein wahrnehmbare Objekte und keine CPS-Artefakte adressiert werden. Vor allem aber kann es auch nichts genuin "Neues" geben als jede mögliche Form von vornherein existiert,³²⁷⁷ wobei die Evolution der Substanzen an den engen Grenzen des Entelechiegedankens gebunden ist.

Wie mit Pkt. 5.2 deutlich wird, beschäftigt sich nicht erst Schrödinger (1944) mit universalen Evolutionsfragen; vielmehr werden diese bereits in der griechischen Antike gestellt. Sie werden auf dezidierte Weise insbesondere durch Aristoteles und darauf aufbauend in moderner Variante durch neo-aristotelische Substanzontologien beantwortet, in der wiederum die Grundlage bedeutender TLO-Theorieanwörter besteht. Allerdings sind diese Antworten in den entscheidenden Details gänzlich andere als in der AL-Forschung. Damit stellt sich die für die Konzeption der *Ontologie der Artefakte* zentrale Frage, wie Schrödingers (1944) "*What is Life?*" in universaler, d.h. cyber-physischer Weise zu beantworten ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das AL-Verständnis zunächst einschränkend auf die the-

³²⁷⁵ Vgl. hierzu Emmeche (1994b: 161).

³²⁷⁶ Vgl. Moreno (2000: 507).

³²⁷⁷ Vgl. auch Artmann (2003: 189).

oretische Biologie bezogen war,³²⁷⁸ während es später um das universale Verständnis von Evolutionsprozessen geht. Mit Moreno (2000) lässt sich sagen: »AL [...] has progressively moved into an intermediate area between philosophy and science«,³²⁷⁹ wie es auch insgesamt für die Komplexitätsforschung charakteristisch ist. In diesem Sinne definiert Bedau (1998a) »the general form of the theory of life as supple adaptation«. ³²⁸⁰ Artificial Life soll nach Bedau (1998a) helfen besser zu verstehen, was Leben ist. In diesem Sinne kann Artificial Life mit Bonabeau/Theraulaz (1994: 323) gesehen werden als »powerful medium of communication for diffusing transdisciplinary concepts«. Oder, um es mit Dennett (1994: 291) zu sagen: »Artificial Life research is the creation of prosthetically controlled thought experiments of indefinite complexity«. In diesem Sinne markiert alles mögliche Leben das Objekt der AL-Forschung,³²⁸¹ wobei Leben in dem oben beschriebenen breiten metaphysischen und nicht – wie herkömmlich – in einem engen biologischen Sinne zu verstehen ist. Mit den zu integrierenden physisch-realen wie virtuellen Cyberwelten erfordern CPS nach Maßgabe der integrierten metaphysischen Wissensontologie des IMKO *OCF* ein universales Verständnis von "Leben".³²⁸² Dabei lässt sich im CAS/MAS-Sinne sagen: »'life' – in the broad sense of the term – is a complex collective network made out of self-reproducing autonomous agents whose basic organization is instructed by material records generated through the evolutionary-historical process of that collective network«. ³²⁸³ Dazu passt, dass neben Moreno/Ruiz-Mirazo (2002) u.a. auch Ebeling et al. (1990: 293) den Informationsaspekt ins Spiel bringen, wenn gilt: »Die Fähigkeit, Informationen zu speichern und zu verarbeiten, ist eine wesentliche Eigenschaft lebender Systeme«. Bei der universal-ontologischen CPSS-adäquaten Antwort auf Schrödinger (1944) geht es also um mehr als um eine Antwort in den engen Grenzen der Stammdisziplin, indem AL-Forscher wie Moreno (2000: 507) schließlich die Neuausrichtung der AL-Forschung auf das "*computational universe*" fordern. Damit handelt es sich um die Position Zuses (1982), die dieser ebenfalls auf Basis *zellulärer Automaten* vertritt.

Geht es um den universalontologischen CPSS-adäquaten Zugang zur AL-Forschung, wird die Position von Artmann (2003: 201) nachvollziehbarer, die dieser im Zuge der Strukturwissenschaften vertritt. Mit ihr gilt: »the possible must be considered ontologically of equal value as the real«; entsprechend sei die AL-Forschung als »pragmatical philosophy of science« zu verstehen. Das kann sie jedoch im Sinne einer Methodologie nur dann

³²⁷⁸ Vgl. Langton (1989: 1): »Artificial Life is the study of man-made systems that exhibit behaviors characteristic of natural living systems. It complements the traditional biological sciences concerned with the *analysis* of living organisms by attempting to *synthesize* life-like behaviors within computers and other artificial media. By extending the empirical foundation upon which biology is based *beyond* the carbon-chain [sic!] life that has evolved on Earth, Artificial Life can contribute to theoretical biology by locating *life-as-we-know-it* within the larger picture of *life-as-it-could-be*«.

³²⁷⁹ Vgl. Moreno (2000: 510).

³²⁸⁰ Vgl. Bedau (1998a: 137); vgl. hierzu auch Bedau (1996), insbes. pp. 337 ff.

³²⁸¹ Vgl. auch Artmann (2003).

³²⁸² Vgl. Ruiz-Mirazo/Moreno (2011), Ruiz-Mirazo et al. (2004) sowie ergänzend Ruiz-Mirazo et al. (1998).

³²⁸³ Vgl. Ruiz-Mirazo et al. (2004: 339), ohne Hvh. des Orig.

sein, wenn ihre Grundlagen richtig gelegt sind. Diese müssen in einer cyber-physischen Metaphysik als Kosmologie wurzeln, die im Leibniz-Whiteheadschen digitalmetaphysischen Sinne gleichzeitig eine Modalmetaphysik eröffnet. Indem die AL-Forschung in das Spektrum von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* fällt wird deutlich, dass eine *Ontologie der Artefakte* in keiner Weise an der Metaphysik als *Erster Philosophie* vorbeikommt, was auch für AL-Forscher selbst außer Zweifel steht.³²⁸⁴ Denn all diese Disziplinen lassen sich nicht sachgerecht verstehen und konzipieren, wenn die fundamentalen Fragen ungeklärt sind. Das beginnt beim Realitätsbegriff, führt über die Existenz emergenter Phänomene, die Mögliche-Welten-Problematik bis etwa hin zur spekulativen Methode als solcher. Vor allem aber betrifft es die Frage nach den fundamentalen Strukturen jener Welten, die dezidierte *cyber-physische* Welten darstellen. Damit verbunden betrifft es gleichermaßen die Frage der wissensontologischen Repräsentation solcher Welten, die ohne belastbare universale Kategorien nicht einlösbar ist. Dabei ist evident, dass Kategorien wie jene der "Substanz" unter cyber-physischen Gesichtspunkten in keiner Weise belastbar sind. Auch steht außer Frage, dass Klasse-2-Metaphysiken in dieser Sache genauso wenig zielführend sind wie Klasse-3-Metaphysiken: die adäquate Metaphysik der AL-Forschung, für Simons (1969) *Sciences of the Artificial* wie für die Informatik als Strukturwissenschaft ist vielmehr allein in der Klasse-4-Metaphysik gegeben.

Bunge lehnt die Existenz von AL-Artefakten ontologisch ab; allerdings ist zu berücksichtigen, dass AL-Systeme genauso "man-made" sind wie alle anderen W3-Artefakte: »Artificial Life is the study of man-made systems.«³²⁸⁵ Mit Bunges (1985b) Artefaktbegriff, den er *explizit* in einer *extrem weiten* Spannweite vertritt, so dass alles, was "man-made" ist, unter ihn fällt, müsste er konsequenterweise auch die Existenz von AL-Systemen ontologisch akzeptieren. Allerdings zeigt sich dies in einer materialistischen Ontologiekonzeption schwerlich möglich. Dabei fallen unter Bunges Artefaktbegriff die Objekte sämtlicher Technologien, während AL-Systeme nicht nur zu Simons (1969) *Sciences of the Artificial*, sondern genauso in den Bereich der Technologien gehören. Mit Cyber-physischen Systemen und einer CPSS-adäquaten Ontologie, die als integrierte Ontologiekonzeption notwendig die *Ontologie der Artefakte* inkorporieren muss, offenbart sich bereits an dieser Stelle die Unhaltbarkeit der in Pkt. 5.3 im Einzelnen erörterten Bungeschen Position. Analog zur AI-Forschung, die mit Pkt. 3.5 in dieser Sache den konzeptionellen Vorläufer markiert,³²⁸⁶ wird auch in der AL-Forschung zwischen einer starken und schwachen Vari-

³²⁸⁴ Vgl. etwa Bedau (1992, 1996, 1998b, 2002), Dennett (1994), Keeley (1998), Moreno (2000, 2002), Way (2001) sowie Stuart/Dobbyn (2002); vgl. hierzu ferner Boden (1996a) und die in gleichem Band publizierten Beiträge.

³²⁸⁵ Langton (1989: 1).

³²⁸⁶ Vgl. etwa Searle (1980: 417): »According to weak AI, the principal value of the computer in the study of the mind is that it gives us a very powerful tool. [...] But according to strong AI, the computer is not merely a tool in the study of the mind; rather, the appropriately programmed computer really *is* a mind, in the sense that computers given the right programs can be literally said to *understand* and have other cognitive states«; vgl. hierzu auch Searle (1992: 201 f.).

ante unterschieden.³²⁸⁷ Während die schwache AL-Variante auf eine einfache Simulation von Leben hinausläuft, zielt die starke AL-Variante darauf ab, dass es möglich wird, lebendige Dinge zu kreieren:

»[I]n the so-called ‘strong AL’ it is claimed that computational simulations of living systems may really come to be living systems. Whereas ‘weak’ AL considers that models represent certain aspects of living phenomena, strong AL would be ready to defend that the phenomenology that takes place in the actual computational environment is life in a proper sense.«³²⁸⁸

Dazu sei exemplarisch auf die Ergebnisse der Forschungsgruppe um den US-amerikanischen Gentechniker C. Venter sowie den Mikrobiologen und Nobelpreisträger H. Smith hingewiesen, die künstliche Lebensformen entwickeln, die entsprechend zuvor nicht existiert haben.³²⁸⁹ Dabei wird auf Basis digitaler Biologie das Genom sequenziert und die Daten von der analogen in die digitale Welt des Computers übersetzt. Im nächsten Schritt kehrt man aus der digitalen Welt wieder in die analoge Welt der Biologie zurück, wenn etwa versucht wird, ein künstliches Chromosom herzustellen, indem die DNA Stück für Stück zusammengesetzt wird. Anschließend sucht man auf dieser Basis einzelne Gene zu verändern, hinzuzufügen, oder auf der Grundlage dieser synthetischen Biologie vollkommen neue Zwecke zu verfolgen, etwa neue Verfahren der Energieerzeugung. Es wäre ein Fehler, solche Entwicklungen aus den *Semantic E-Sciences* ausschließen zu wollen; sie gehören vielmehr im Sinne Simons (1969) dazu, was entsprechende Herausforderungen für die Konzeption der *Scientific Ontology* bedeutet. Diese kann sich dann weder im Sinne Bunge noch im Sinne B. Smithens darstellen; sie hat vielmehr zwingend über eine neoaristotelische Konzeption hinauszugehen. Das umso mehr als die starke AL-Variante in den Reihen der AL-Forschung nicht nur von Anfang vertreten wird;³²⁹⁰ sondern mit Langton (1986) auch eine zentrale Zielsetzung der AL-Forschung bildet:

»The ultimate goal of the study of artificial life would be to create ‘life’ in some other medium, ideally a *virtual* medium where the essence of life has been abstracted from the details of its implementation in *any* particular hardware. We would like to build models that are so life-like that they cease to be *models* of life and become *examples* of life themselves.«³²⁹¹

Mit Emmeche (1994b: 3) geht es bei der starken AL-Variante um folgenden Grundgedanken: »that with the help of computers [one] could piece together fragments of computer programs (i.e., instructions) and turn them into artificial organisms that did not just resemble life, but that theoretically speaking were just as alive as real animals and plants«. Die starke Variante des AL-Forschungsprogramms setzt damit als Annahme voraus, »that one can separate the logical form of an organism from its material basis of construction, and

³²⁸⁷ Vgl. hierzu Sober (1992: 750 f.), Olson (1997) sowie Keeley (1998: 256 ff.).

³²⁸⁸ Moreno (2000: 508).

³²⁸⁹ Im Mittelpunkt der ersten Forschungserfolge steht das synthetische Bakterium *Mycoplasma laboratorium*, das auf das Genom des *Mycoplasma genitalium* zurückgeht, vgl. hierzu Glass et al. (2006) sowie Gibson et al. (2008). Zuvor gelang bereits der synthetische Nachbau des Genoms des Virus *Phi X 174 bacteriophage*, vgl. hierzu H.O. Smith et al. (2003).

³²⁹⁰ Vgl. etwa Davidge (1992), Farmer/Belin (1992), Levy (1992), Rasmussen (1992), T.S. Ray (1992, 1995), Spafford (1992, 1995), Taylor (1992), Emmeche (1994a), Godfrey-Smith (1994) sowie Keeley (1994); vgl. hierzu kritisch Sober (1992) sowie M. Lange (1996).

³²⁹¹ Langton (1986: 147).

that its capacity to live and reproduce is a property of the form, not the matter«. ³²⁹² Entsprechend gilt für Rasmussen (1992: 770): »the ontological status of a living process is *independent* of the hardware that carries it«, ³²⁹³ wobei er mit Blick auf das Problem der Definition von Realität anmerkt, dass AL-Prozesse ebenfalls in einer spezifischen Art von Hardware ablaufen, womit sich das Problem mit dem Begriff der "Simulation" erübrige: »Since the two processes have the same ontological status the one cannot be more real than the other. Real life in a digital computer should, thereby, be possible«.

Bereits die Kontroverse um die Möglichkeit der starken AL-Variante offenbart den zwingenden metaphysischen Bezug, den Simons Wissenschaften vom Künstlichen besitzen. Die Frage, ob es starkes *Artificial Life* geben kann, ist in fundamentaler Hinsicht selbstredend metaphysischer Natur und nicht ohne einen solchen Rekurs zu beantworten. Dabei führen der Materialismus und sein Gegenstück, der Idealismus, zu anderen Antworten als ein metaphysischer Funktionalismus, der zwischen diesen Extremen liegt, und sowohl eine starke als auch eine schwache Ausprägung von Künstlichem Leben zulässt. Daneben ist mit Blick auf den Übergang von künstlichen zu realen Objekten zu berücksichtigen, dass es verschiedene Realisierungen von Artificial Life gibt, nämlich die softwarebasierte (*Software AL*), die hardwarebasierte (*Hardware AL*) und schließlich die biochemische (*Wetware AL*) Variante:

»If we let *soft* artificial life refer to computer simulations or other purely digital constructions that exhibit lifelike behavior, then we should also recognize two other activities: *hard* artificial life, which produces hardware implementations of lifelike systems, and *wet* artificial life, which involves the creation of lifelike systems from biochemical substances in the laboratory.« ³²⁹⁴

Nicht zuletzt die biochemische AL-Variante offenbart, dass bei der Abgrenzung der Welten auf eine einheitliche metaphysische Basis referenziert werden muss, da ihr Übergang fließend ist. Abschließend ist festzustellen, dass die Realitätsfrage wesentlich die Ontologie in metaphysischer wie in wissensontologischer Hinsicht bestimmt. Entscheidend ist, was existiert, was bei Voraussetzung von *Materie vs. Information* als kosmologischer Urstoff vor dem Hintergrund der Nichtgeltung bzw. Geltung des informatorischen Existenzprinzips kausaler Wirksamkeit sich jeweils völlig anders darstellt. Autonome Agenten können jedoch in ihren Weltsichten bzw. Ontologien nicht wahlweise auf dem einen oder anderen Urstoff aufbauen, indem das der Kommensurabilitätsforderung bzw. semantischen Interoperabilität widerspricht. Entsprechend stellt sich gerade auch im Zusammenhang mit der Realitätsfrage die *Top-level Ontologie* in ihrer Eigenart als oberster ontologischer Referenzebene wiederum als unabdingbar dar. Natürlich kann es entsprechend nur eine Top-level Ontologie geben, und das ist jene, die sich unmittelbar auf Basis der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik der Informatik begründen lässt. Ihre Ontologiearchitektur läuft dabei im Zeichen des Leibniz-Whiteheadschen CPST-Hyperspace mit Pkt. 3.5 auf jene von CYPO FOX hinaus.

³²⁹² Vgl. Emmeche (1992: 466).

³²⁹³ Hvh. im Orig.

³²⁹⁴ Bedau (2005: 1).

Mit der *synthetischen Realität* wird auch der zentrale Stellenwert des IMKO OCF bzw. des aktualisierten Leibnizprogramms offensichtlich: Eine in sich geschlossene Wissens-ontologie ist allein auf Basis metaphysischer Ontologie möglich, indem sie nur auf diese Weise in wissenschaftlicher, technologischer wie praktischer Hinsicht die erforderliche Konsistenz einer integrierten Ontologiekonzeption gewährleisten kann. Es bestehen zahlreiche metaphysische Probleme, wie das der Emergenz oder der *Augmented Reality*, die über die *Ontologie der Artefakte* unmittelbar die Semantik bestimmen, wenn zu klären ist, ob bzw. inwiefern Entitäten real sind. Artefakte von 4DP-Technologien bzw. lebendige Artefakte setzen den in Pkt. 6.2.5 behandelten Perdurantismus voraus. Schließlich wird deutlich, dass es eine AI-Kernsemantik insofern zu realisieren ist, als Kategorien wie Ereignis und Objekt bzw. eine Vielzahl von Zentralbegriffen wie Selbstorganisation, Evolution, Leben, Komplexität, Agenten, Kognition usw. im Zeichen des Leibnizschen Automatenuniversum weder disziplinär noch auf Basis von *Common Sense* definierbar sind. Die AL-Forschung als Computerwissenschaft und mit ihr die in die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu inkorporierende *Ontologie der Artefakte* zeigt nochmals die Unhaltbarkeit des *Common Sense* auf. Denn zum einen zeigt sich dieser gerade nicht um die AI-Kernsemantik zentriert, indem die Welten erst gar nicht im Zeichen *komplexer Systeme* gedacht bzw. konzipiert werden. Zum anderen korrespondiert kein einziger Begriff im *Common Sense* tatsächlich mit den Anforderungen der Cyber-Physik; genauso wenig ist dies bzgl. den Belangen der AL-Forschung der Fall, wenn alle Aspekte um die Frage "*What is Life?*" umgangssprachlich in inhaltlicher wie semantischer Hinsicht gewiss gänzlich anders aufgefasst werden als es die AL-Disziplin als Computerwissenschaft exakt im Sinne techno-wissenschaftlicher Metaphysik erfordert. Analoges gilt für die AI-Schwesterdisziplin, indem die gleiche semantische Basis vorauszusetzen ist. Dass AI-Systeme *Common Sense* bei H2M- bzw. M2H-Interaktion verstehen bzw. beherrschen können müssen, steht auf einem völlig anderen Blatt. Mit den AI-Grundlagen hat das nichts zu tun, indem im IoX-Hyperspace das IoA-Subsystem ein anderes ist als das IoP-Subsystem. In diesem Irrtum besteht einer der Kardinalfehler der Informatik. Insofern illustriert gerade auch die AL-Forschung, dass der *Common Sense* natürlich nicht die AI-Kernsemantik vorgeben kann, wie man es heute noch irrtümlich voraussetzt. Es bleibt allein ein Weg, wenn die AI-Forschung in allen Kernfragen notwendig offen zu konzipieren ist für Superintelligenz der dritten AI-Generation: Die AI-Kernsemantik ist unmittelbar von der ratio-empirischen *Klasse-4-Metaphysik* ausgehend zu entwickeln. Die Kategorien sind entsprechend im Rekurs auf die Meta-Ontologie universal zu gestalten, während alle Zentralbegriffe in Referenz auf die metaphysische Ontologie transdisziplinärer Definition bedürfen.

4.7 Zwischenfazit: IoX-adäquate Metaphysik als obligates TLO-Fundament

»As long as the fundamental categories of thought about reality – the modes of spatiality and temporality, of structural description, functional connection, and explanatory rationalization – are not seen as necessary features of intelligence as such, but as evolved cognitive adaptations to particular contingently constituted modes of emplacement in and interaction with nature, there will be no reason to expect uniformity. Sociologists of knowledge tell us that even for us humans here on earth, our Western science is but one of many competing ways of conceptualizing the world's processes.«

— Nicholas Rescher (2000a: 133)

Mit Quine (1939: 704 f.) kann man sich in der Ontologiefrage *prinzipiell* gänzlich dispart festlegen: »We seem to have a continuum of possible ontologies here, ranging from a radical realism at the one extreme [...] to a complete nihilism at the other extreme«. Darin besteht jedoch das zentrale Argument für und nicht gegen die Metaphysik, womit sich die Position Quines in dieser Sache umkehrt. Die Ontologie ist also gerade auch deshalb zwingend als metaphysische Ontologie zu konzipieren, als es prinzipiell diese Vielzahl an alternativen metaphysischen Dispositionen gibt. Allerdings lassen sich diese sehr genau spezifizieren, indem sie in universaler Weise den Anforderungen sämtlicher Disziplinen, nicht zuletzt der Informatik als Schlüsseldisziplin gerecht zu werden haben, die sie schon mit Blick auf die ontologische Wissensrepräsentation und Wissensentdeckung verkörpert. Demnach gilt: Das ontologische Problem bedeutet zunächst einmal ein metaphysisches Problem: das beginnt mit der Frage nach den fundamentalen Strukturen aller Welten, insbesondere der Realität. Die in Pkt. 4.6 behandelte synthetische Realität offenbart, dass sehr wohl ein direkter, nämlich sowohl ein wissenschaftlicher, technologischer wie praxeologischer Zugang zur Realität gegeben ist. Insofern zeigt sich, dass der Nihilismus wie der extreme Idealismus falsch sind und darüber hinaus, dass epistemische Positionen wie die konstruktivistische im Kantischen Sinne deutlich zu relativieren sind: sie gilt rein auf Agentenebene, während es auch bei Kant ein metaphysisches Zensoramt gibt, das im Sinne des Fallibilismus den Hinweis liefert, dass objektives Wissen möglich ist. Anders gewendet steht außer Zweifel, dass eine synthetische Realität undenkbar ist, wenn objektives Wissen unmöglich wäre. Insgesamt wurden mit diesem vierten Teil alle in Pkt. 1.3 genannten Teilziele (TZ4) erreicht: Mit der metaphysischen Explikation der *Top-level Ontologie* konnten eine Reihe grundlegender Einsichten gewonnen werden; die wichtigsten bestehen in folgenden zehn Sachverhalten:

- i. *Top-level Ontologien* sind durch und durch philosophisch geprägt, wobei der Kern dieser Prägung in der *Metaphysik* besteht. Die Metaphysik bildet also das zwingende TLO-Fundament. Diese kann mit Mainzer (1994b: 747) in der Tat »für moderne Forschung heuristisch fruchtbar sein«, wie es auch Wartofsky (1967) unterstreicht. Indem CPS-Welten zu adressieren sind, muss es sich dabei nicht nur um eine techno-wissenschaftliche Metaphysik, sondern damit verbunden um eine Computer- bzw. Digitalmetaphysik handeln. Daraus folgt die zentrale These: *Keine AI-Ontologie ohne das Fundament der Digitalmetaphysik*. Mit

Bertalanffy (1955b) sind die verschiedenen Kategoriensysteme gewiss relativ, genauso wie es die hinter ihnen stehenden Philosophien bzw. Metaphysiken an sich sind. Diese Relativität impliziert maßgeblich das TLO-Inkommensurabilitätsproblem. Das heißt indes nicht, dass sich diese Relativität wie auch das Inkommensurabilitätsproblem nicht aufheben ließe, was im Zuge der IoX-adäquaten Spezifikation im siebten wie im abschließenden achten Teil behandelt wird.

- ii. Die Metaphysik bildet ein komplexes, zusammenhängendes Gebiet von Einzelfragen; z.B. steht die Mereologie genauso im Bezug zu Objekt und Ereignis wie die Frage um den Drei- vs. Vierdimensionalismus usf. Zweifelsohne gibt es völlig unterschiedliche Arten von Metaphysik, die sich mit Pkt. 4.1 in vier Klassen differenzieren lassen. Demnach hat sich jede Explikation der *Top-level Ontologie* im ersten Schritt umfassend mit der Metaphysik auseinanderzusetzen. Mit Whitehead, Bunge und anderen Verfechtern wissenschaftlicher Metaphysik ist zu fordern, dass sich die Ontologie weniger an der Alltagssprache mitsamt ihrer Irrtümer und Unschärfe als vielmehr an den modernen Wirklichkeitswissenschaften orientieren muss. Diese sind mit dem W1- bzw. W4-Modus der Ontologie primär, wenngleich nicht hinreichend. Vielmehr hat eine vollständige Ontologie, wie sie die Informatik benötigt, im Meinongschen (1913) Sinne jede Art von Objekten zu berücksichtigen, die mit Whitehead (1920) dann richtig konzipiert sind, wenn man sie als *in Ereignissen situiert* begreift. Wesentlich ist, dass diese Objekte in differenten Weltmodi strikt abgegrenzt werden. Konflikte zwischen diesen Modi lassen sich insofern vermeiden, als der W1-Modus, der rein in Bezug auf Naturobjekte grob dem Quineschen Ontologieverständnis entspricht, primär gesetzt wird. Entgegen McCarthy (2000) ist Quines (1980) Ontologie jedoch für die Informatik in keiner Weise hinreichend; eine komplette Ontologie ist mit Quine nicht zu realisieren. Vielmehr sind die Argumente von Meinongs (1913) *Objekttheorie* hinsichtlich des W2-Modus, jene von H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* hinsichtlich des W3-Modus sowie Searles (1995) *Construction of Social Reality* mit Blick auf den W4-Modus genauso zu berücksichtigen. Eine MAS-basierte, CPSS-adäquate Ontologiekonzeption kann selbstverständlich nicht allein auf Quines naturalistischer Welt aufbauen, sondern operiert notwendig in verschiedenen Weltmodi, wie sie mit CYPO FOX entsprechend abgegrenzt werden.
- iii. In der Ontologie ist im Sinne des IMKO OCF die zentralste Grundlagenwissenschaft der Informatik zu sehen.³²⁹⁵ Die *Top-level Ontologie* ist dabei als oberste Referenzebene entscheidend. Insofern die Top-level Ontologie universal zu gestalten ist und insbesondere cyber-physische Gesichtspunkte für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wie für die Informatik insgesamt von Relevanz sind,

³²⁹⁵ Vgl. hierzu auch B. Smith (2003b, 2014).

muss auch das TLO-Fundament von entsprechender Gestalt sein. Daraus folgt die Forderung einer CPSS-adäquaten Metaphysik als zwingendes TLO-Fundament. Mit Pkt. 4.1 kann diese CPSS-adäquate Metaphysik allein in einer Klasse-4-Metaphysik bestehen. Wenn letztlich alle Ontologie nicht an der ontologischen Problematik Cyber-physischer Systeme (CPS) vorbeikommt, kann letztlich nur für die Klasse-4-Metaphysik das gelten, was P.M. Simons (2009a: 7) allgemein konstatiert: »At the beginning of the twentieth-first century, metaphysics appears to be enjoying an astonishing golden age«. P.M. Simons versteht sich dabei nicht nur selbst als Revisionist,³²⁹⁶ sondern auch diese Feststellung an sich gilt allein der *revisionären* Metaphysik.

- iv. Sämtliche der im Folgenden in Pkt. 5.2 bis einschließlich Pkt. 5.6 behandelten Philosophien, also neben neo-aristotelischen Ansätzen jene Bunes, Chisholms, die Phänomenologie sowie die gesamte analytische Metaphysik mit Ausnahme der in Pkt. 5.7 behandelten modernen prozessontologischen 4D-Ansätze (Lewis, Sider etc.) stehen im Zeichen des parmenideisch-aristotelischen Substanzparadigmas. Dieses ist jedoch für die Zwecke der Informatik grundlegend ungeeignet; entsprechend sind diese Ansätze zur Fundierung der Ontologie der Informatik abzulehnen. Schon Russell und Whitehead gelangen auf expliziter Grundlage des Leibnizschen Werks zu der Erkenntnis, dass das Substanzparadigma aufzugeben ist.³²⁹⁷ Darauf aufbauend wird auf Basis der Leibniz-Whiteheadschen Weltauffassung die Prozessmetaphysik begründet, in der – wie in Pkt. 4.1 erörtert – ausgehend von Leibnizens Ursprungsparadigma das neue Paradigma zum "*general world view*" der Informatik auszumachen ist. Indem der fundamentale Ansatz der Klasse-4-Metaphysik in Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik besteht, ist alle metaphysische Diskussion der *Top-level Ontologie* insbesondere auf diesen Ansatz zu beziehen, ohne sie dabei auf diesen einzugrenzen. Dies ist vielmehr in dem Sinne gemeint, dass in Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik die CPSS-adäquate Referenzmetaphysik zu sehen ist, auf der die weitere Forschung aufbauen sollte. Wenn diese ggf. im ratio-empirischen Sinne zu modifizieren ist, entspräche dies auch Whiteheads eigener Auffassung: Metaphysik bildet kein dogmatisches Unterfangen, sondern ist streng im Sinne des *Ratio-Empirismus* zu führen. Indem der *ereigniszentrische* Whiteheadsche Ansatz im Kontext von CPS, MAS, CAS, CEP wie im gleichzeitigen Kontext von *Scientific Ontologies* gegenwärtig das einzige haltbare wie zukunfts offene ontologische Fundament bildet, und *objektzentrierte* OLP-basierte Ontologien in ihrer fehlenden Auseinandersetzung mit den fundamentalen Weltstrukturen wie ihrer problematischen linguistischen Ambiguität im Sinne Quines (1977) nicht

³²⁹⁶ Vgl. P.M. Simons (2004a: 250, Fn. 1).

³²⁹⁷ Vgl. hierzu Basile (2008).

die Basis einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption bilden können, wird das Erfordernis eines radikalen Umdenkens offensichtlich. Mit Pkt. 4.2 ist festzustellen, dass Whiteheads Metaphysik in ihrer zentralen Bedeutung bis heute im Allgemeinen verkannt wird. An dem Umstand, dass sich Ontologen wie Simons explizit von der Substanzmetaphysik abwenden und sich der Whiteheadschen Prozessmetaphysik zuwenden, an der sich bereits die Sowa-TLO orientiert, zeichnet sich bereits die allgemeine Fehleinschätzung ab. In der Tat basiert die mangelnde Rezeption des Whiteheadschen Werks auf einem fundamentalen Unverständnis von diesem wie auch der mit der Informatik sichtbar werdenden universalen Anforderungen der cyber-physischen Ontologie mitsamt dem informatorischen Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit. Ist beides verstanden, ist die Ontologiefrage in jeder Hinsicht geklärt bzw. sind alle meta-ontologischen und kategorialen Dispositionen direkt entscheidbar.

- v. L. Schneider (2003c) ist darin zuzustimmen, dass die Gestaltungsoptionen für *Top-level Ontologien* die gleichen sind wie die Dispositionen zur Metaphysik. Dieser Umstand ist für die Inkommensurabilität der einzelnen TLO-Theorieanwörter verantwortlich. Mit Blick auf die intendierte *Superintelligenz* der dritten AI-Generation steht außer Frage, dass in Industrien wie der Luft- und Raumfahrt oder der Medizintechnik die Top-level Ontologie für KS-bezogene Ontologien mit jener für IS-bezogene Ontologien (ODIS) die gleiche zu sein hat. Denn nur dann wird die vollumfängliche semantische Interoperabilität für kombinierte Informations- und Wissenssysteme möglich. Entsprechend muss es bei der TLO-Selektion um eine einheitliche TLO-Konzeption gehen, die gleichzeitig für *Scientific Ontologies* wie für technologische und praktische Ontologien die Referenzbasis stellen kann. Damit verlangt auch die IS/KS-Integration ein universales Ontologieverständnis und eine integrierte Ontologiekonzeption, die in Pkt. 3.4 bzw. Pkt. 3.5 umrissen wurden. In Hinsicht auf die IS/KS-Integration ist dann mit Pkt. 4.3 sind entsprechend einheitlich *komplexe Systeme* ontologisch vorauszusetzen, was ein kombiniertes wissenschaftliches, technologisches und praktisches Verständnis der *Theorie komplexer Systeme* erfordert. Indem kein TLO-Theorieanwörter systematisch an komplexen Systemen orientiert ist, zeigt sich erneut das ontologische Dilemma der Informatik. Mit Pkt. 4.4 sind Objekt und Ereignis kategorial in der Weise zu fassen, dass wiederum die IS/KS-Integration gewährleistet werden kann. Analoges gilt mit Pkt. 4.5 für die mereologische Behandlung der Entitäten insgesamt. Auch hinsichtlich dieser Aspekte gibt es keinen TLO-Theorieanwörter, der die IS/KS-Integration zu bewerkstelligen versteht, obschon es darauf im Referenzszenario wie in anderen Integrationsszenarien ankommt. Gleiches gilt mit Pkt. 4.6 für die Realitätsausfassung als solche; auch diese ist in der Weise zu konzipieren, dass sie der IS/KS-Integration

einheitlich gerecht wird. Mit anderen Worten kann nicht zwischen einer wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Realität differenziert werden, sondern es muss um die einheitliche Realitätsauffassung der Informatik gehen, die nicht an der synthetischen wie erweiterten Realität, an AL-, CPS- bzw. 4DP-Artefakten sowie damit am Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit vorbeikommt. Indessen existiert kein einziger TLO-Theorieanwärter, der dieser Realitätsauffassung folgt bzw. überhaupt systematisch an der Cyber-Physik orientiert ist. Die Ursache für diesen Defekt ist dabei in jedem Fall die gleiche, nämlich das Ansetzen an einer für die Informatik verfehlten Metaphysik.

- vi. Indem alle Ontologie auf die oberste Ontologieebene, d.h. auf die *Top-level Ontologie* als fundamentales Weltmodell zu beziehen ist, besteht das eigentliche Kernproblem der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in der *Inkommensurabilität der TLO-Theorieanwärter*. Die *Inkommensurabilität der Top-level Ontologien* ist faktisch gegeben und ist für sie kennzeichnend. Das liegt mit Pkt. 4.1 wiederum an ihrer metaphysischen Fundierung: Natürlich ist ein fundamentales Weltmodell nicht in ein anderes übersetzbar, sonst wäre es nicht fundamental. Das erklärt sich letztlich aus der Inkommensurabilität der jeweils explizit bzw. implizit zugrundeliegenden Metaphysiken. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Metaphysiken regelmäßig in einem so starken Maße, dass sie inkompatibel sind. Das gilt in zentraler Weise für die Kategoriensysteme wie für alle meta-ontologischen Aspekte, die aus der Metaphysik folgen. D.h., dass davon gerade auch alle epistemologischen und methodologischen Aspekte bis hin zu den Kalkülen mathematischer Logik betroffen sind.
- vii. Ein *TLO-Mapping* im Sinne der durch Busse/Humm et al. (2015) angedachten "*bridge ontologies*" kann entsprechend nicht funktionieren: Auf TLO-Ebene kann es schon nicht sinnvoll sein, Objektkategorien zu mappen, selbst wenn diese etwa beide im Dreidimensionalismus stehen. Denn es bestehen selbst im 3D-Modus vollkommen unterschiedliche Vorstellungen davon, wie diese Objekte beschaffen sind; etwa ob sie im Sinne von Substanzen Relata, oder im Sinne von Dingen Relationen aufweisen. D.h. die Kategorien sind nicht aus der Systematik der jeweiligen Kategoriensysteme herauslösbar, selbst wenn die meta-ontologischen Dispositionen genau die gleichen sind. Vielmehr erweisen sich die Kategoriensysteme an sich als inkommensurabel, wie es mit Pkt. 6.1.3 deutlicher wird: Entscheidend ist dabei nicht nur die Eröffnung der Kategoriensysteme auf der ersten Ebene, sondern auch die hierarchische Stellung bzw. Verknüpftheit jeder einzelnen Kategorie. Faktisch betrachtet sind aber nicht nur die Kategoriensysteme der TLO-Theorieanwärter grundsätzlich verschiedenen, sondern zudem auch ihre meta-ontologischen Dispositionen. Identisch sind auch letztere nie. Entsprechend zeigt die Idee des *TLO-Mapping* nur eines, nämlich,

dass die Ontologie- und Metaphysikproblematik als solche unverstanden ist. Somit bleibt allein ein Weg, um das TLO-Inkommensurabilitätsproblem zu lösen: die Evaluierung und Selektion der einzelnen TLO-Theorieanwärter mit dem Ziel einer TLO-Synthese resp. eines TLO-Neuentwurfs, worin die Grundvoraussetzung für eine vollumfängliche semantische Interoperabilität bei verteilten automatisierten Systemen zu sehen ist. Die dritte AI-Generation, die im Leibniz-Whiteheadschen Sinne den einzig sachgerechten AI-Kern eröffnet, bleibt ohne ihre Realisierung unerreichbar. Gleichzeitig bildet die Leibniz-Whiteheadsche Cyber-Physik bzw. Digitalmetaphysik jene Basis, die über den sachgerechten Zuschnitt der *Top-level Ontologie* bestimmt.

- viii. Ohne Zweifel repräsentiert das Inkommensurabilitätsproblem der Top-level Ontologien ein ontologisches Fundamentalproblem, das eine metaphysische Wurzel besitzt. Damit ist zum einen zu fragen, ob sich dieses Problem nicht am besten dadurch lösen lässt, dass einfach auf die *Top-level Ontologie* verzichtet wird, zum anderen – wenn dies nicht möglich sein sollte – zunächst von aller Philosophie, insbesondere aller Metaphysik. – Dass die *Top-level Ontologie* für die Informatik an sich unverzichtbar ist, wurde bereits im dritten Teil umfassend dargelegt; etwa anhand der CM-Ontologie in Pkt. 3.2.2 oder der Kritik der Gruberschen Ontologiekonzeption in Pkt. 3.4. An ihr kommt man also nicht vorbei; vielmehr muss sie Ausgangspunkt jedes sachgerechten *Ontology Engineering* sein. Damit ist zur Frage Stellung zu nehmen, ob die ganze aufwändige wie in Teilen nicht unkomplizierte philosophische Debatte nicht verzichtbar ist. Auch diese Frage lässt sich schnell beantworten: Indem man in Teilen der Disziplin erkannte, dass die *Top-level Ontologie* unverzichtbar ist, wurden zahlreiche TLO-Systeme entwickelt. Da diese jedoch inkommensurabel sind, ist im Zuge der philosophischen Debatte zu klären, was für diese Inkommensurabilität verantwortlich ist und wie sich ggf. eine Synthese erzielen lässt; also was die strittigen Punkte im Einzelnen sind und worin ihre adäquate Lösung bestehen kann. Indessen konnte weder von Seiten der Informatik noch der Philosophie zu beiden Aspekten Klarheit geschaffen werden: Es ist bis heute unklar, dass diese Inkommensurabilität *metaphysisch* bedingt ist, dass jede Ontologie eine metaphysische Wurzel besitzt, dass es vollkommen unterschiedliche Metaphysikklassen gibt die ihrerseits der genauen Analyse erfordern, und dass es für die Informatik wie für alle Disziplinen allein eine sachgerechte metaphysische Basis gibt. Das ist die Leibniz-Whiteheadsche techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik als Cyber-Physik, mit der die aristotelische und platonische Metaphysik auf eine neue, kombinierte Basis gebracht wird, die als *Klasse-4-Metaphysik* alle metaphysischen Modi einschließlich der Modalmetaphysik sowie alle ontologischen Momente in konsistenter Weise in sich inkorporiert.

- ix. Dennoch bleibt zur letzten potentiellen Alternative Stellung zu nehmen, nämlich ob das TLO-Inkommensurabilitätsproblem nicht dadurch lösbar ist, dass statt auf metaphysisch-realistische strikt auf *linguistische* Top-level Ontologien wie etwa SUMO oder Cyc zurückgegriffen wird. – In beiden Fällen liegen die Dinge klar, und diese bedeutendsten linguistischen TLO-Ansätze verdeutlichen ihre Problematik in guter Weise: SUMO stellt allein auf den ersten Blick einen linguistischen Ansatz dar. In Wirklichkeit handelt es sich um einen fusionierten Ansatz bzw. eine Eklektik, die besondere Probleme mit sich bringt. Denn dann ist umfassend zu prüfen, inwiefern diese fusionierten Ansätze tatsächlich kompatibel sind; natürlich weisen sie alle eine explizite oder mindestens implizite metaphysische Wurzel auf. Im Fall von SUMO stellt sich in der philosophischen Analyse heraus, dass dieser Ansatz inkonsistent ist, was keine Grundlage für die *Top-level Ontologie* sein kann. Dabei lässt sich diese Inkonsistenz nur dann feststellen und begreifen, wenn dieser TLO-Theorieanwarter nicht nur einfach – wie üblich – unreflektiert angewandt wird, sondern wenn er in seiner Eklektik umfassend zerlegt und analysiert wird. Im Fall von Cyc lassen sich genauso wesentliche Erkenntnisse erzielen: Es besteht unter Ontologen weitgehende Einsicht, dass dieser TLO-Ansatz schon deshalb problematisch ist, als er ambivalent ist. D.h. man weiß gar nicht genau, wie welche Cyc-Kategorie gemeint ist; ob sie in einem aktualistischen oder possibilistischen Modus steht oder ob es sich bei Cyc insgesamt um einen endurantistischen oder perdurantistischen Ansatz handelt. Bei einfachen Web-Repräsentationen von Alltagswissen mag all dies vergleichsweise unproblematisch sein. Das eigentliche Problem besteht vielmehr darin, dass dieser eigentlich für diesen Zweck entwickelte Ansatz explizit als Basis hochautomatisierter Systeme ins Spiel gebracht wird, gerade auch im PLM-Kontext. Dann aber wird diese Ambivalenz zum faktischen Problem. Tatsächlich sind von den bekanntesten TLO-Ansätzen gerade die beiden linguistischen TLO-Ansätze SUMO und Cyc am unklarsten, und das genau aus diesem Grund: indem sie keine explizite, sondern lediglich eine implizite, zumeist ambivalente metaphysische Wurzel besitzen. Man kommt also bei der *Top-level Ontologie* in keiner Weise um die *Metaphysik* umhin. Wenn erste mit zweiter in einem unmittelbar dependenten Verhältnis steht, dann kann sie als oberste Referenzebene der Disziplin allein auf die *Metaphysik der Informatik* rekurrieren.
- x. Die Metaphysik spielt in der Informatik gegenwärtig nicht nur keine nennenswerte Rolle, sondern es ist gemeinhin unklar, dass es eine *Metaphysik der Informatik* gibt. Es ist allgemein unverstanden, dass der Ursprung der Disziplin in dieser Metaphysik liegt, indem sie den Zugang zu allen Welten in wissenschaftlicher, technologischer wie praktischer Hinsicht über den Urstoff der *Information* und das Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit eröffnet. Sie überwindet da-

mit jenen Cartesischen Dualismus und jene Subjekt-Objekt-Dichotomie, die mit der ersten AI-Generation wieder ins Spiel gelangt – was das ganze metaphysische Dilemma der Disziplin offenbart. Nicht besser ist es um die zweite AI-Disziplin bestellt, indem sie nunmehr phänomenologisch argumentiert und dabei alle AI-Intelligenzmomente auf menschliche Agenten bezieht. Tatsächlich aber ist mit dem Gegensatz zwischen dem IoA- und IoP-Subsystem eine eigene Automaten- bzw. Agentenklasse in systematischer Weise zu eröffnen, womit nichts weiter bleibt als eine komparative Analyse der Agentenarchitekturen.³²⁹⁸ Entsprechend erweisen sich beide metaphysischen Zugänge der ersten und zweiten AI-Generation als grob verfehlt; sie konterkarieren damit gerade den metaphysischen Ursprung der Disziplin. Man beruft sich zwar auf Leibniz, kann diesen aber in keiner Weise verstanden haben. Es geht mit diesem Ursprung aber nicht um eine Verdienstfrage, sondern vielmehr um die eigentlichen fundamentalen Grundlagen der Disziplin. Bis auf wenige Ausnahmen wie jener Mainzers sucht jedoch niemand in der Disziplin sie dort, wo sie faktisch liegen. Damit ist auch der alles entscheidende Umstand unklar, dass angefangen vom Informationsbegriff alles in der Informatik auf diesen digitalmetaphysischen Grundlagen aufzubauen hat. Dabei ist alles in der Disziplin in konsistenter Weise zu entwickeln: Daten, Information und Wissen sind genauso im systematischen Leibniz-Whiteheadschen Zusammenhang zu sehen wie etwa Perzeption und Kognition; die in Pkt. 5.6 behandelte Phänomenologie kann also nicht mehr als ein spezieller Zusatz zum Leibnizschen Automatenuniversum sein, was sie historisch betrachtet von Husserl ausgehend auch ist. Es ist also falsch, sie als eigene Strömung zu behandeln; vielmehr ist sie im Kontext der Leibnizschen Automatenklassen einzuordnen. Analoges gilt für das zentrale Intelligenzmoment: für die Trajektorie der AI-Disziplin und gerade im Hinblick auf die in Pkt. 6.3 erörterte Superintelligenz der dritten AI-Generation ist entscheidend, dass es nicht nur *eine* Art der Intelligenz gibt, sondern dass im Sinne von Thurstone (1938) und H. Gardner (1983) von einer *Theorie der multiplen Intelligenzen* auszugehen ist. Allerdings ist auch diese auf das Leibnizsche Automatenuniversum zu beziehen, indem die *multiplen Intelligenzen* allein auf dieser Basis sachgerecht in ihrer Bezogenheit auf einzelne Automaten- bzw. Agentenklassen zu erschließen sind. Insbesondere entscheidend ist die Metaphysik jedoch für die Ontologie der Informatik als solche. Denn erst die Leibniz-Whiteheadsche Metaphysik eröffnet als Cyber-Physik die Einsicht, dass ontologisch am CPST-Hyperspace anzusetzen ist, was in konkreter technologischer Grundlegung den IoX-Hyperspace impliziert. Mit dem CPST-Hyperspace und der dahinter liegenden Cyber-Physik ist evident,

³²⁹⁸ Das geht im Grundsatz in Richtung von Sloman/Scheutz (2002), die jedoch die eigentlichen Potentiale des IoA-Subsystems im Sinne der *Superintelligenz der dritten AI-Generation* grundsätzlich verfehlen.

dass die fundamentalen Strukturen der metaphysischen Welten den Semantikstrukturen vorauslaufen. Entsprechend gilt P.M. Simons' »metaphysics constrains semantics«. Damit gilt im Ganzen betrachtet das IMKO *OCF*, das auf die unmittelbare Interdependenz zwischen metaphysischer Ontologie und Wissensontologie weist. Genauso steht mit dem CPST-Hyperspace außer Frage, dass die Ontologie der Informatik auf eine Mehrweltenontologie im Popperschen Sinne hinausläuft. Ferner, dass es sich mit *CYPO FOX* um genau vier disparate Ontologie- bzw. Welttypen handelt, die im kausalen Sinne wechselwirken und zusammen eine kosmologische Einheit bilden, die der kombinierten aristotelisch-platonistischen Ontologiekonzeption Leibnizens gerecht wird. Die Richtigkeit dieser Ausführungen ist im Leibniz-Whiteheadschen Sinne verbrieft und ihre unmittelbare Relevanz für die Informatik wird dann ersichtlich, wenn die ganze Entwicklungsgeschichte der Disziplin in systematischer Weise reflektiert wird. Dann ist klar, dass etwa J. von Neumanns (1966) *Theory of Self-Reproducing Automata* unmittelbar auf die Selbstreproduktion der Whiteheadschen zellulären Organismen zurückgeht und diese wiederum auf das Leibnizsche Automatenuniversum. Alle zentralen Grundlagen der Disziplin liegen im Leibniz-Whiteheadschen *metaphysischen Logizismus* und nirgends woanders. – Betrachtet man demgegenüber den heutigen Stand der Informatik, besteht zu dieser Perspektive eine grundsätzliche Diskrepanz. Mit anderen Worten wird die Informatik heute gänzlich anders praktiziert als hier umrissen. Sie ist in keiner Weise systematisch konzipiert, sondern stellt ein Sammelsurium von Technologien dar, die keine einheitliche Grundlegung besitzen sondern vielmehr auf disparaten Weltansichten basieren. Dieses verfehlte Selbstverständnis der Disziplin konnte deshalb lange reüssieren, weil die Systeme der Informatik weder im IoX-Sinne umfassend vernetzt, noch im CPST-Sinne tatsächlich auf *cyber-physisches "Reality Computing"* angelegt waren. Beide Entwicklungen haben die Disziplin mit dem *Internet* bzw. *Internet of Things* in dem Sinne unvorbereitet getroffen, dass nicht zuvor die fundamentalen Grundlagen entsprechend gelegt wurden, was alle o.g. Momente, insbesondere das ontologische betrifft. Mit dem IoX-Hyperspace sind indessen die Leibniz-Whiteheadschen digitalmetaphysischen Grundlagen einzufordern, weil die Disziplin anders nicht den Schritt zur Normalwissenschaft vollziehen kann. Allerdings setzt dieser Schritt das Erfordernis zum radikalen Umdenken der meisten Informatiker voraus. Denn die gegenwärtigen Entwicklungen in der Disziplin sind diametral andere; die hier dargelegten fundamentalen Probleme werden erst gar nicht gesehen. Mit Metaphysik will sich kaum ein Informatiker, die heute zumeist Fachinformatiker sind, befassen. Genauso symptomatisch ist das Ziel einer Reihe von Fachvertretern, die Ontologie gerade von der Metaphysik zu separieren. Auch darin besteht eine diametral andere Po-

sition als die hier dargelegte, wobei anzumerken ist, dass diese vermeintliche Alternative in keiner Weise hinreichend reflektiert ist, sondern auf der verfehlten Annahme basiert, dass die AI-Grundlagen in der Alltagssprache bzw. im *Common Sense* zu suchen seien. Indessen versteht man nicht, dass dahinter mit der deskriptiven Metaphysik ebenso eine Metaphysikposition steht, die indessen als Klasse-2-Metaphysik grundsätzlich inferior ist und für die Informatik keine Basis sein kann. Viele Informatiker suchen auch in den fundamentalen Fragen nach einfachen Lösungen, die es allerdings nicht gibt. Ihr Selbstverständnis läuft darauf hinaus, dass sie Informatiker sind und keine Philosophen. – Was ist darauf zu entgegnen? Provokativ gesagt können sie kaum verstanden haben, was Computer als *intelligente Reality Machines* tatsächlich implizieren. Alle Grundlagen der Disziplin sind philosophische, indem ihr ganzer faktischer Ursprung ein philosophischer ist, der im Sinne perzipierender bzw. erfahrender natürlicher wie artifizierlicher Automaten bei Leibniz und Whitehead von vornherein techno-wissenschaftlich wie auch rein praktisch gedacht ist. Beruft man sich auf Leibniz, muss man den ganzen Leibniz, den Universalgelehrten nehmen und entsprechend das Ganze des Automatenuniversums verstehen. Der Anti-Leibniz ist der widersprüchliche Teil-Leibniz, der z.B. den Informationsbegriff mit W.F. Harms (2006) dreiteilt ohne im Leibnizschen Sinne zu erkennen, dass es sich dabei um drei Aspekte des einen handelt, der auf den metaphysischen Grundlagen des Automatenuniversums zu entwickeln ist. Anders gewendet lässt sich ein universales Informationsverständnis, das zugleich eine physikalische, statistische wie semantische Dimension eröffnet, nur auf Basis eines geschlossenen Metaphysiksystems entwickeln, das indessen an sich das richtige sein muss, d.h. mit Leibniz und Whitehead selbst am Informationsbegriff und dem informatorischen Kausalitätsmoment anzusetzen hat. Entsprechend sollte die Disziplin zunächst ihren Grundstoff in grundsätzlicher Weise reflektieren; denn dieser ist gegenwärtig falsch konzipiert, und der Informationsbegriff völlig unklar. Daran ändert auch W.F. Harms (2006) mit seinen drei Konzepten von Information nichts, indem es allein ein informatorisches metaphysisches Ganzes gibt. Was sich hinter W.F. Harms (2006) verdeckt ist also nichts weiter als die *Vielheit in der Einheit* von Leibnizens *Ontological Computing*, die es für die Disziplin zu entdecken gilt. Denn ansonsten bleibt die sie in ihren eigentlichen Grundlagen genauer be-
sehen unreif für die Digitalisierung sämtlicher Bereiche; was möglich ist, wird faktisch, und damit wird die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik mehr denn je für die Informatik unabdingbar. Der ganze Leibniz ist nur in der Einheit seiner *Metaphysica*, *Mathesis universalis* und *Scientia generalis* begreifbar, und zwar – durch den metaphysischen Logizismus bedingt – in dieser Reihenfolge. Indessen verlangt diese Einheit in techno-wissenschaftlicher Hinsicht eine mo-

derne Interpretation, die durch Whitehead (1929a) als "*Leibniz's greatest twentieth-century follower*" vorgelegt worden ist. Diese Einheit bezieht sich im Wesentlichen auf spezifische *Welten*, *aktuale und mögliche Welten*, und damit auf den "*general world view*" im Sinne McCarthys (1995), der mit dem AI-Kern jener der Informatik insgesamt ist. Dieser ist insbesondere für eine agentenbasierte AI-Konzeption im Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz von elementarer Bewandnis und steht dabei im Zeichen aller weiteren Aspekte der Agententheorien, wie sie in Pkt. 3.5 angerissen wurden. Dass McCarthys (1995) "*general world view*" fundamental etwas mit der *Top-level Ontologie* zu tun hat, zeichnet sich bereits daran ab, dass Bunge (2010) "*Ontologie*" und "*worldview*" synonym verwendet. Wenn gilt: »models of the world are the domain of ontology«,³²⁹⁹ dann ist der "*general world view*" Sache der obersten Ontologie, der fundamentalen *Top-level Ontologie*. Es geht um die ontologische Erfassung dieser Welten, ihrer Strukturen und Prozesse mit Mitteln formaler Logik; es geht im Agentensinne um kognitive Aspekte, indem Agenten im Sinne von *Subjekt-Superjekten* Teil dieser Welten sind. Über die Kognition hinaus geht es – im Sinne H.A. Simons – um einen epistemologischen Zugang zu diesen Welten und um Erkenntnis; diese ist im prozessualen Leibniz-Whiteheadschen Metaphysikverständnis mit Rescher auch ihrerseits als prozessuale Epistemologie zu verstehen. Neben Daten und Information, die im Automatenuniversum für alle Automaten universal perzeptiv wie kausal bestimmend sind, geht es bei intelligenten Agenten vor allem um Wissen, und insbesondere bei maschinellen Agenten schließlich elementar um die Wissensrepräsentation. Dieses Wissen bezieht sich auf die jeweiligen Welten und wird auch in diesen Welten im Kontext von Agentensystemen angewandt. Kategorien spielen dabei mit Pkt. 6.1.3 eine entscheidende Rolle; sie bilden das Scharnier der *integrierten metaphysischen Wissensontologie*, wie sie im dritten Teil umrissen wurde. Um genau diese Sachverhalte geht es in jedem Diskursuniversum; um sie geht es im Wesentlichen in der Informatik. Die Künstliche Intelligenz ist für die Informatik zentral; die Wissensrepräsentation ist – im Sinne der höchsten, der reflexiven Intelligenz – letztlich ihr wichtigstes Feld. Die in Pkt. 8.4 nochmals abschließend aufgegriffene *ontologische Revolution*, von der wir bereits in Pkt. 1.2 sprachen, hängt insbesondere damit zusammen, dass die Informatik mit ihrer AI-Kerndisziplin sich zunehmend von den "*toy problems*" bei Hayes (1979) abwendet und sich "*nontoy worlds*" zuwendet. Die Informatik hat es im Sinne Leibnizens und heute Mainzers mit einer generischen Klasse von *World Automata* zu tun, in der *Reality Machines* eine immer wichtigere Rolle spielen. Mit den "*nontoy worlds*", die Hayes (1979) postuliert, sind vor allem die immer wichti-

³²⁹⁹ Vgl. Wand/Wang (1996: 89).

ger werdenden *realweltlichen AI-Kontexte* gemeint. Wesentlich wird damit vor allem der Übergang zwischen realen und artifiziellen Welten, wie er im Kontext Cyber-physischer Systeme (CPS) in kausaler Hinsicht im Sinne der intelligenten Adaption durch das *Sense-and-Respond Model* der Agenten entscheidend ist. Insofern wird deutlich, was für viele Fachinformatiker gegenwärtig kaum akzeptabel erscheint: diese für sie "fachfremden" Fragen lassen sich in keiner Weise aus der Disziplin ausschließen, weil sie in Wahrheit im Zeichen des Leibniz-Whiteheadschen *cyber-physischen "Reality Computing"* nicht fachfremd sind. Man kann keine diesbezüglichen Systeme modellieren, ohne die Cyber-Physik und damit die digitalmetaphysischen Grundlagen an sich verstanden zu haben. Natürlich besitzt die Informatik auch im Sinne einer generischen Klasse von *World Automata* eine metaphysische Wurzel. Für Universalinformatiker ist somit evident, dass in der philosophischen Debatte und schließlich in der Bestimmung der adäquaten Metaphysik nicht das Problem, sondern vielmehr die erforderliche universale bzw. transdisziplinäre Lösung besteht. In der kritischen philosophischen Reflexion besteht der Weg, ohne den sich die fundamentalen ontologischen Fragen der Informatik bzw. ihres AI-Kerns nicht klären lassen: »In fact, AI is philosophy, conducted by novel means«. ³³⁰⁰

³³⁰⁰ Vgl. Glymour/Ford/Hayes (2000: 113).

5. Kritik des TLO-Theorieanwärter-Rekurses auf philosophische Ontologien

»The ontological problem for computer and information science is [...] identical to many of the problems of philosophical ontology, and it is becoming more and more clear that success in the former will be achievable, if at all, only by appeal to the methods, insights and theories of the latter.«

— Andrew D. Spear (2006: 7)

Indem *Artifizielle Intelligenz* (AI) mit Glymour/Ford/Hayes (2000) als durch technologische Mittel geleitete *Philosophie* zu verstehen ist, muss die *AI-Ontologie* als AI-Kern konsequenterweise *per se* als *philosophische Ontologie* aufgefasst werden. Wenn erfahrene AI-Protagonisten wie McCarthy et al. zu diesem Schluss gelangen, ist mehr notwendig als die Frage der AI-Ontologie philosophisch zu reflektieren, was Gruber mit seiner naiven Ontologiekonzeptionen gar nicht vollzieht, und Berners-Lee et al. im Zeichen des "*Philosophical Engineering*" erst verspätet bzw. nur implizit einsehen. Gruber et al. sprechen zwar von "Ontologie", meinen aber nichts weiter als *semantische Netze*, und große Teile der Informatik folgen ihnen in diesem Irrtum blind. Wenn man jedoch die durch Mealy (1967) aus der Philosophie ibernommene Ontologie für die Informatik philosophisch in der erforderlichen Tiefe reflektiert, gelangt man nicht zuletzt vor dem Hintergrund Cyber-physischer Systeme (CPS) zum Schluss, dass Ontologie auch in der Informatik *de facto* als *philosophische Ontologie* aufzufassen ist. Warum sollte es ausgerechnet in dieser Disziplin anders sein? Dass die Disziplin in dieser Weise verfährt, zeigt wiederum, dass ihre Probleme weitaus tiefer liegen; sie gehen nämlich auf einen falschen Informationsbegriff zurück, der wiederum dem fehlenden metaphysischen Fundament der Informatik im Leibnizschen Sinne geschuldet ist. Die Informatik hat sich historisch iber die formale Logik gerade erst dadurch herausgebildet, dass *Information* bei Leibniz metaphysisch verstanden wird. Für Komplexitätsforscher wie M. Eigen steht das außer Frage, wenn in der *Information* die "Brücke" zur Überwindung des metaphysischen "*Cartesian Cut*" ausgemacht wird. Dass die Informatik im Ganzen jedoch noch nicht so weit ist, liegt wiederum daran, dass sie noch nicht richtig als Disziplin der Komplexitätsforschung entwickelt ist. Dann ist evident, dass ihr metaphysischer Grundstoff nicht die Materie, sondern die Information ist, womit umfassendste Konsequenzen in der Ontologiefrage der Informatik verbunden sind. Denn im Grunde baut die gesamte bisherige Ontologie der Informatik, gerade auch jene deskriptiver Metaphysik, bereits auf dem falschen Grundstoff auf, womit Existenzprinzipien und Realitätsauffassungen verbunden sind, die mit Cyber-physischen Systemen (CPS) nicht konform gehen.

Wenn die Philosophie für die AI-Disziplin in jeder Hinsicht konstituierend ist, erweist sich die Metaphysik als *Erste Philosophie* zwangsläufig als entscheidend. Das sehen indirekt selbst Ontologen ein, die auf die *deskriptive Metaphysik* setzen, indem in dieser nichts weiter als eine "Ersatzmetaphysik" besteht. Ob diese zulässig ist, bildet dabei wiederum eine metaphysische Frage, indem etwa deren Existenz- und Realitätsauffassung mit den jeweiligen Alternativen abzugleichen ist, insbesondere jenen der revisionären, ratio-empiri-

rischen Art. Dass ein solcher Abgleich notwendig zu vollziehen ist, zeigt wiederum der Umstand, dass die deskriptive Metaphysik mit den Cyber-physischen Systemen (CPS) der Informatik bzw. mit der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik inkompatibel ist. Im Kontext cyber-physischer Automaten wie etwa der kognitiven Robotik kann damit nur eines entscheidend sein, nämlich das durch Whitehead aktualisierte Leibnizprogramm. Nach seiner Grundlegung im vorausgegangenen vierten Teil geht es in diesem fünften Teil darum, die Inkompatibilität der bisher in der Informatik im TLO-Rekurs bemuhnten philosophischen Ontologien mit Cyber-physischen Systemen (CPS) in den verschiedenen Hinsichten zu belegen. Mit Pkt. 5.5 bezieht dies selbst die linguistischen Ontologien bzw. linguistischen TLO-Theorieanwärter wie Cyc UCO oder SUMO mit ein, indem die Idee semantischer Netze etwa mit der Wittgenstein-Schülerin Masterman (1961) wesentlich auf Wittgensteins (1953) *Sprachspielen* basiert, die etwa für den frühen Sowa (1991e; 1991f; 1991j) bzw. die IBM-Forschung elementar sind.

In Leibnizens *Metaphysica* bilden cyber-physische *Automaten* den Kerngedanken, die später mit Whiteheads organismischer Weltauffassung in *zelluläre Automaten* transformiert werden. Sie sind im platonischen Sinne universal, subsumieren also natürliche wie artifizielle Automaten und somit im kausalen Wechselspiel Cyber-physische Systeme (CPS). Entsprechend werden bei ihnen Rechenautomaten bereits als *Logical Machines* resp. Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* gedacht. Es ist dieser Umstand, der heute für die Informatik zum entscheidenden Prüfstein wird: Denn die Idee der *linguistischen* Ontologie entpuppt sich dann, worauf Leibniz und Whitehead schon hinwiesen, als Irrweg. Die *generelle* Perspektive der Informatik sollte in der Ontologiefrage die des reflektierenden Universalinformatikers, nicht die des *ad hoc*, nicht immer vorausschauend handelnden Fachinformatikers sein. Entscheidend ist die tiefere Reflexion und schließlich die Leibnizsche universale Perspektive, während jene von Fachspezialisten die Sicht auf die eigentlichen *generellen* informatorischen Zusammenhänge regelmäßig verstellt. Erst mit diesem Perspektivenwechsel der Informatik hin zu einer tatsächlich universalen Disziplin wird deutlich, welche Bedeutung McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" tatsächlich für diese besitzt: Mit ihr wird deutlich, dass die Ontologie der Informatik völlig anders zu sehen ist als sie gemeinhin bisher verstanden wird: Es gibt nur *eine* sachgerechte Ontologieauffassung, ob nun in der Informatik, der Philosophie oder jeder anderen Disziplin. Genau in dieser 4D-basierten universalen, gerade nicht alltags-sprachlichen Form wurde sie durch Mealy (1967) auch in die Informatik übernommen und später durch Gruber (1993, 1995) zu semantischen Netzen der Linguistik degradiert. Was die meisten Informatiker heute noch als praktischen Schritt erachten, ist in Wirklichkeit keiner; vielmehr besteht gerade in praktischer Hinsicht eine solche Degradierung im Hinblick auf die CPS-Welten der Informatik ein fataler Fehlschritt, der auf ein generelles Missverständnis der Disziplin schließen lässt. Denn damit wird deutlich, dass man Leibniz, auf den man sich gerne beruft, gründlich fehlverstanden hat. Nach fünfzig Jahren Ontolo-

gieforschung wird im CPS-Kontext deutlich: Wenn man die Ontologie als solche über-
nimmt, dann kann man sie nur richtig übernehmen. D.h. auf Wolffs (1730) *Philosophia
prima sive Ontologia* bezogen, dass auch in der Informatik *Ontologie* immer im Zeichen
des IMKO *OCF* fundamental ist; sie ist *ex definitione* und bleibt: *metaphysica generalis*.

McCarthy (1995) hat diesen Zusammenhang nicht nur richtig verstanden, sondern er
ruft auch nicht umsonst die Philosophie zur Hilfe, wenn mit Sowa (1995: 669) außer Frage
steht: »Philosophers have spent 25 centuries debating ontological categories. Their insights
are directly applicable to the analysis, design, and specification of the ontologies used in
knowledge-based systems«. Indem die Informatik eine Perspektive auf die reale Welt be-
nötigt, zeigen sich alle philosophischen Debatten und Ansätze von Relevanz, also auch
etwa jene Positionen von Aristoteles, Descartes oder Bunge. Denn die richtige Position für
die Informatik ist nur anhand der jeweiligen Kontrapositionen richtiggehend zu verstehen.
Wenn diese also auch für sich ungeeignet sind, helfen sie doch in der Identifikation ihrer
Defizite und Defekte aufzuhellen, was eigentlich richtig ist. Analog stellt sich diese Sach-
lage auf der Ebene der metaphysisch verankerten *Top-level Ontologien* dar. Auch hier hel-
fen alle inferioren bzw. unzweckmäßigen Ansätze herauszuarbeiten, was eigentlich für die
Disziplin adäquat und wegweisend ist. Indessen wurde mit dem vierten Teil gezeigt, dass
für die Informatik nur genau zwei Metaphysiken elementar sind, nämlich jene von Leibniz
und Whitehead, die beide der Tradition Platons verpflichtet sind. Bei diesen handelt es sich
um *cyber-physische Digitalmetaphysiken*, auf die es in der Informatik im systemischen
CPS-Sinne gerade ankommt. Man kann zwar darüber streiten, ob kategoriale Ontologien
zur Modellierung von Wissensressourcen nun ein relativ junges Gebiet angewandter Philo-
sophie darstellen, oder ob es sich dabei um ein Gebiet der Informatik handelt, das sich aus
dem zentralen Stellenwert der Ontologien herleitet, den diese mittlerweile für die Disziplin
besitzen. Tatsächlich besitzen fundamentale Kategorien etwa mit Sensor-, CEP- oder SOA-
Ontologien einerseits eine technische, nämlich cyber-physische Bewandtnis, während sie
andererseits gerade insgesamt in techno-wissenschaftlicher Hinsicht einschließlich artifi-
zieller Disziplinen Gültigkeit beanspruchen müssen. Nicht umsonst fordern Ontologen wie
B. Smith die Verankerung der Ontologie als eigenständige, transdisziplinäre Disziplin, und
es spricht auch einiges für diese Position, was jedoch nicht primär entscheidend ist.

Entscheidend ist zunächst Folgendes: die *Top-level Ontologie* gehört in die Informatik
und bildet im Zeichen des IMKO *OCF* ihren zentralen Kern, indem sich im Grunde alles,
nämlich *alle Entitäten* der Disziplin auf diese oberste Ontologieebene beziehen. Ohnehin
ist diese immer gegeben, ob nun explizit oder etwa mit der Weltauffassung deskriptiver
Metaphysik implizit. Allerdings ist die Informatik im Sinne McCarthys (1995) nur dann
richtig verstanden, wenn ihr "*general world view*" explizit gemacht wird, was sich über die
TLO-Referenz vollzieht. über kurz oder lang kommt die Disziplin nicht umhin, diese Re-
ferenz auf philosophische Ontologien, zu denen auch die *Ordinary Language Philosophy*
(OLP) gehört, im Zeichen formaler Ontologie explizit zu machen. Indem die *Top-level*

Ontologie kategorial, mithin metaphysisch veranlagt ist, wird der enge Austausch mit der angewandten Philosophie unausweichlich. Somit lässt sich mit Poli (2001a: 2) sagen: »[C]ontemporary ontology is not merely categorical analysis; it is also a technology«. Doch das entscheidende Moment ist dieses: Ontologie ist nicht länger physisch, sondern im Leibniz-Whiteheadschen Sinne *cyber-physisch*, und damit kann keine philosophische Kategorialanalyse allein wegweisend sein, da sie die eigentlich relevanten cyber-physischen Aspekte nicht berücksichtigt. Insofern muss die Ontologie sich insgesamt zu einer transdisziplinären Disziplin weiterentwickeln, die neben den philosophischen Fragestellungen universaler Ontologie auch alle Belange wissenschaftlicher und technologischer Ontologien mit berücksichtigt. Dieser Schritt ist unvermeidbar, da Computer als *cyber-physische "Reality Machines"*, die mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, nunmehr in der universalen Ontologie elementar zu berücksichtigen sind. So gesehen stellt sich der heutige Bezug der TLO-Theorieanwärter auf die philosophischen Ontologien zwar monodirektional dar; tatsächlich aber geht es um ein bidirektionales Verhältnis, nämlich um ein Forschungsgebiet *universaler Ontologie*, das im Leibniz-Whiteheadschen Sinne die *cyber-physische Ontologie* zum Gegenstand hat und als solches eine kategoriale wie kybernetisch-technologische Natur aufweist.

Wie in Pkt. 3.2.2 und Pkt. 3.2.3 dargelegt, existieren in der Informatik im Wesentlichen zwei große Ontologiestrange, nämlich CM- und AI/KR-Ontologien. Als CM-Ontologien werden im Allgemeinen Top-level Ontologien herangezogen, insbesondere solche, die wie die BWW-TLO mit Bunge ein reales Weltmodell verkörpern; insofern wird hier ein philosophischer Ontologiebegriff zugrundegelegt. Bei den AI-Ontologien ist das Feld in dieser Sache heterogen: wie in Pkt. 3.2.3 bzw. Pkt. 3.3 gezeigt, wird hier teils auf rein linguistische AI-Ontologiekonzeptionen wie die Grubersche zurückgegriffen, die jedoch immer deutlicher an ihre Grenzen stoßen. Indem dies zunehmend erkannt wird, erfolgt ein Rückgriff auf verschiedenste philosophische Ontologieansätze. Diese sind in seltenen Fällen nicht TLO-orientiert, wie etwa bei Quine, der – wie dargelegt – durch McCarthy (2000) favorisiert wird. Gleiches gilt für Ansätze analytischer Ontologie, wie sie Ashenurst (1996) bemuhrt. Mehr und mehr werden jedoch auch im Rahmen der AI-Ontologie TLO-basierte Ontologiekonzepte eingesetzt, und das sind allen voran die DOLCE-TLO sowie die BFO-TLO – allerdings existiert eine ganze Reihe weiterer Ansätze. Indem CM- und AI-Ontologien TLO-basiert sind, ist mit Pkt. 3.2.4 eine Konvergenz der Ontologien festzustellen und eine integrierte Ontologiekonzeption einzufordern. Da es sich dabei um eine TLO-basierte Ontologiekonzeption handelt, wird mit Pkt. 3.3 ein einheitlicher, philosophischer Ontologiebegriff für die Informatik zwingend. Das gilt auch dann, wenn diese Konsequenz heute in weiten Teilen der Disziplin missachtet wird. Diese integrierte Ontologiekonzeption der Informatik stellt eine formale Ontologie dar, die philosophischen Ursprungs ist. Vor dem Hintergrund der TLO-basierten AI-Ontologiekonzeptionen, die ins-

besondere durch die DOLCE-TLO und BFO-TLO dominiert werden, konstatiert Guarino (1995), dass die formale Ontologie als Zusammenfluss *zweier metaphysischer* Strömungen zu sehen sei.³³⁰¹

»In its current shape, formal ontology can be seen as the confluence between a school of thought which has addressed metaphysical problems within the mainstream of analytic philosophy, and another school more closely related to phenomenology, in the tradition of Brentano and Husserl. The former school includes a multitude of philosophers, which roughly agree on the idea of "descriptive metaphysics" proposed by Strawson [...]. The latter sees the philosophers of the so-called "school of Manchester" [...] as its principal defenders.«³³⁰²

Jenseits Guarinos (1995) ist die Metaphysik dabei insgesamt in einer pragmatisch unvoreingenommenen Weise im Sinne der *Ersten Philosophie* als notwendiges Fundament *jeden* philosophisch ontologischen bzw. epistemologischen Ansatzes zu erachten. Vor diesem Hintergrund sind die Ausfuhungen Guarinos (1995) nicht einmal zeitbedingt richtig;³³⁰³ das gilt umso mehr aus heutiger Sicht, indem zwischenzeitlich zahlreiche weitere TLO-Entwürfe mit gänzlich anderer philosophischer Grundlegung entwickelt worden sind.³³⁰⁴ Um die Fundierung der Ontologie der Informatik richtig zu verstehen, sind insgesamt umfassendere Anmerkungen erforderlich: Diese müssen zuvorderst die Behauptung Guarinos (1995) korrigieren, dass die Ontologie der Informatik auf bloß zwei philosophischen Strömungen gründe. Das ist natürlich nachweislich falsch. Tatsächlich muss es heißen, dass die Ontologie der Informatik auf der *gesamten* Ontologie und Metaphysik der Philosophie aufbaut. Es lässt sich leicht zeigen, dass alle philosophischen Ontologien bzw. Metaphysikansätze – auch im Sinne von direkt aufeinander bezogenen Gegenentwürfen – zueinander in engstem Bezug stehen und teilweise auch direkt aufeinander aufbauen. Wenn Guarino (1995) die *Analytische Philosophie* als eine Richtung nennt, sind damit bereits unzählige einzelne Ansätze verbunden. Vor allem aber lässt sich die Analytische Philosophie nicht ohne ihre Vorläufer verstehen, also gewiss nicht ohne Russell, Wittgenstein, Carnap, Quine usw. Wenn Guarino diese Richtung zudem mit Strawsons (1959) *descriptive metaphysics* kennzeichnet, der sich Guarino samt seiner DOLCE-TLO selbst zugehörig fühlt, kommen noch Aristoteles und Kant ins Spiel. Denn sie werden durch Strawson (1959) für diese Richtung ins Feld geführt. Und die Positionen insbesondere Russells und Quines sind in einigen Kernbestandteilen wiederum nicht zu verstehen ohne die Philosophie ihres akademischen Lehrers Whitehead. Auf Guarinos (1995) eigene Strömung kommen wir mit Pkt. 5.5 im Zuge der Reflexion der analytischen Ontologie resp. Metaphysik zurück. Dabei werden zentrale Argumente unserer Kritik gerade auch durch die Verfechter der zweiten, durch Guarino (1995) genannten Strömung gestützt: Mulligan/Simons/Smith (2006) stellen die philosophischen Grundlagen von Guarinos

³³⁰¹ Phänomenologen, die die Auffassung vertreten, sie betrieben keine *Metaphysik*, seien etwa auf Husserls (2014: 235) Ambitionen verwiesen, wonach die »Metaphysik als eine verwandelte Phänomenologie« die »Wissenschaft als eine bloße Technik verständlich machen« soll.

³³⁰² Guarino (1995: 628).

³³⁰³ Zum Stand Guarinos (1995) hätten – zumindest unter CM-Gesichtspunkten – mit Wand/Weber (1989b, 1990a) die BWW-TLO sowie mit Lenat/Guha (1990) die Cyc-TLO berücksichtigt werden müssen; zur gleichen Zeit erscheinen weitere relevante Beiträge, etwa Sowa (1995) oder Russell/Norvig (1995).

³³⁰⁴ Das gilt insbesondere für 4D-Ansätze, angefangen mit Sowa (2000) bis hin zu Batres et al. (2007).

(1995, 1998) DOLCE-TLO maßgeblich in Frage, und auch diese Fundamentalkritik ist nur richtig zu verstehen, wenn das ganze relevante Spektrum philosophischer Ansätze hinreichend bekannt ist. Daraus folgt: die umfassend erforderlich werdende Grundlegung der Ontologie der Informatik ist nicht etwa auf ausgewählten Fragmenten philosophischer Ontologie realisierbar. Mit der engen Interdependenz der Ansätze wird vielmehr eine umfassende Aufarbeitung unabdingbar, wie sie im dritten, vierten und diesem fünften Teil vollzogen wird.

Indessen ist die zweite durch Guarino (1995) genannte Strömung formaler Ontologie kaum uninteressanter als die erste: Guarino bezeichnet sie als *"School of Manchester"*, wobei es sich allerdings nicht etwa um eine große, etablierte Strömung der Philosophie handelt, wie es der Name vermuten lässt. Doch stellt dies deren Bedeutung für die Ontologie der Informatik keinesfalls in Abrede; im Gegenteil. Dabei lässt sich das, was mit dieser *"School of Manchester"* gemeint ist, auch anders bezeichnen, nämlich als *"Seminar for Austro-German Philosophy"*; tatsächlich ist diese Bezeichnung genauer und lässt bereits erste programmatische Rückschlüsse zu. Vor allem ist das Ganze so zeitlich wie auch von den beteiligten Akteuren her ganz genau eingrenzbar, indem sich sagen lässt, dass dieses Seminar durch B. Smith, K. Mulligan und P.M. Simons begründet und über den Zeitraum von 1975 bis 1985 aufrechterhalten wurde.³³⁰⁵ Auch wenn das Wirken dieses Kollektivs mit der für die Ontologie der Informatik relevanten Kritik von Mulligan/Simons/Smith (2006) bis in die jüngere Zeit reicht,³³⁰⁶ wird in späteren Jahren eine differenziertere Perspektive erforderlich, indem sich nicht nur die Schwerpunkte der Verfechter der *"School of Manchester"* unterscheiden, sondern sich teils auch ihre Positionen maßgeblich verschieben.

Von B. Smith stammt die BFO-TLO, die wesentlich *phänomenologischer* Natur ist. Mit der BFO-TLO ist mit Smith der bisher größte Einfluss des *"Seminar for Austro-German Philosophy"* auf die Informatik gegeben. Bei Mulligan besteht dieser hingegen kaum, auch wenn seine Arbeiten insbesondere durch Smith auf die Ontologie der Informatik übertragen werden und es gemeinsame, mindestens mittelbar relevante Publikationen gibt, teils auch direkt zur *formalen Ontologie*.³³⁰⁷ Bei Simons, der wie Smith studierter Mathematiker und Philosoph ist, zeigt sich dieser Einfluss wiederum stärker, indem er sich sowohl mit der *formalen Ontologie* direkt auseinandersetzt als auch mit Fragen,³³⁰⁸ die für diese unmittelbar wesentlich sind. Hierzu gehören insbesondere Beiträge zur Mereologie,³³⁰⁹ zu Artefakten,³³¹⁰ wie unmittelbar zur AI-Ontologie.³³¹¹ Seine Beiträge sollten für die Ontologie der Informatik aber aus einem anderen Grund von elementarer Bedeutung sein: Simons

³³⁰⁵ Vgl. hierzu auch Bühler (1987).

³³⁰⁶ Die Relevanz für die Ontologie der Informatik ist hier insofern gegeben, als die grundsätzlich kritisierte Position insbesondere der analytischen Metaphysik nicht nur eine zentrale Grundlage für die DOLCE-TLO darstellt, sondern auch für weitere linguistische Ontologieansätze der Informatik.

³³⁰⁷ Vgl. Smith/Mulligan (1982, 1983) sowie Mulligan/Simons/Smith (1984, 2006).

³³⁰⁸ Vgl. Simons (1982, 1995b).

³³⁰⁹ Vgl. etwa Simons (1987) sowie Simons/Dement (1996).

³³¹⁰ Vgl. etwa Simons (1995a) sowie Simons/Dement (1996).

³³¹¹ Vgl. etwa Simons (1992a, 1995b, 2013b).

ist einer der wenigen formalen Ontologen, die bereits die unabdingbare Wende vollzogen haben, also den Bruch mit dem alten Paradigma und der erforderlichen Hinwendung zu Whiteheads Prozessmetaphysik.³³¹²

Das bedeutet eine entsprechend explizite Abwendung von der Substanzmetaphysik, die mit Simons' (1998a) *Farewell to Substance* beginnend auch sukzessive vollzogen wird, womit es spätestens von nun an bereits innerhalb der "School of Manchester" zumindest im elementaren Widerstreit von Objekt- vs. Prozessontologie (Pkt. 6.1.1) etwa mit Smithens (1997) Neo-Aristotelismus tatsächlich keine mehr wirklich einheitliche Position gibt.³³¹³ Denn B. Smith geht mit seiner BFO-TLO diesen Schritt von Simons' (1998b) *A Lesson from Whitehead* nicht mit,³³¹⁴ wenngleich er mit seinen "perdurantistischen" Okkurrenten (SPAN) natürlich auch prozessuale Aspekte zu berücksichtigen sucht. Mit Blick auf eine CPSS-adäquate Ontologie steht außer Frage, dass die Informatik mit ihren CM- und AI-Ontologien Simons' Wende (1998a, 1998b) genauso zu vollziehen hat. Das bedingt eine entsprechend radikale Implikation für die gesamte TLO-Debatte, indem sich diese damit insgesamt in Richtung der bisher kaum berücksichtigten Whiteheadschen Prozessmetaphysik verschiebt. Natürlich kann es auf Dauer nur eine Position geben, wenn außer Frage steht, dass beide Positionen, d.h. die klassisch substanzorientierten TLO-Ansätze und die prozessualen TLO-Ansätze grundsätzlich inkommensurabel sind. Simons' Affinität für Whitehead kommt genauso wie die AI-Affinität indessen nicht von ungefähr. Sie geht auf den gemeinsamen Doktorvater von Smith, Mulligan und Simons an der *University of Manchester* zurück, nämlich auf W. Mays. Es ist Mays, von dem anerkannte Arbeiten zu Whitehead stammen,³³¹⁵ der aber auch der Phänomenologie nahe steht, und darüber hinaus ein frühes AI-Interesse besitzt.^{3316, 3317} Im Zeichen ihres "Seminar for Austro-German Philosophy" sind seine Schüler über Jahre an einer Reihe österreichischer und deutscher Universitäten engagiert; ihre Forschungen konzentrieren sich auf Bolzano, vor allem auf Brentano wie auf den frühen Husserl und seine Phänomenologie; hinzu kommen eine Reihe weiterer

³³¹² Vgl. etwa Simons (1991b, 1998b, 2006a, 2007b, 2008, 2009b, 2010a, 2010b, 2014, 2015).

³³¹³ Dieser Umstand geht darauf zurück, dass sich Simons' Position vor allem mit Simons (1998a, 1998b) verschiebt, indem die Arbeiten von Simons (1988, 1994) bzw. Mulligan/Simons/Smith (1984: 291) noch substanzzentriert sind.

³³¹⁴ Vgl. auch Simons (2014: 314): »I happen to agree with Whitehead that events and processes are ontologically more basic than continuant objects like bodies. It is not that I think bodies etc. are processes, as some do, but that they are invariants founded on processes«.

³³¹⁵ Vgl. etwa Mays (1945/46, 1955, 1959, 1961, 1962, 1970, 1977).

³³¹⁶ Vgl. hierzu etwa Mays (1996). D. Prinz und W. Mays entwickelten 1949 in Manchester darüber hinaus eine *Electrical Logic-Machine*, ein elektrisches Gerät zum Testen logischer Aussagen, vgl. hierzu Mays/Prinz (1950) sowie Mays (1953); vgl. hierzu ferner Mays/Henry (1953).

³³¹⁷ Auch werden bspw. am Philosophiedepartment der University of Manchester, dessen Dekanin die Whitehead-Schülerin D. Emmet W. Mays 1946 nach Manchester holte, mit A. Turing kritische AI-Fragen bereits im Oktober 1949 im Rahmen von "The Mind and the Computing Machine" kontrovers diskutiert, in deren Folge der Aufsatz Turings (1950) *Computing Machinery and Intelligence* erschien. Daran beteiligt ist auch insbesondere der in Manchester lehrende Physikochemiker und Philosoph M. Polanyi, vgl. hierzu Mays (2000) sowie P. Blum (2010). Die Universität Manchester ist zu jener Zeit bedeutendes Zentrum der Computerentwicklung, insbes. mit der Serie von *Manchester Computern*, vgl. hierzu Boden (2006) sowie ergänzend Hodges (1983).

Philosophen, etwa Frege, Reinach oder Ingarden.³³¹⁸ Hier, bei diesen Philosophen des deutschsprachigen Raums, nicht etwa bei Whitehead, liegt der Schwerpunkt von Smith, Mulligan und zunächst auch von Simons.

Die Universalienposition der DOLCE-TLO ist nicht ohne Platon, ihre möglichen Welten nicht ohne D.K. Lewis, oder ihre intensionale Ontologiekonzeption nicht ohne Carnap richtiggehend zu verstehen. Insgesamt basiert die DOLCE-TLO auf einer ganzen Eklektik philosophischer Ansätze; konstituierend sind neben Platon, Carnap und Lewis etwa auch Strawson, Putnam, K. Campbell oder der Whitehead-Schüler Goodman, um nur einige zu nennen. Wenn also die formale Ontologie mit Guarino (1995) lediglich den Zusammenfluss der beiden genannten metaphysischen Strömungen darstellen würde, wird somit schon ersichtlich, dass eine Vielzahl an Philosophien mit diesen zusammenhängt. Denn gleiches wie für Guarino gilt auch für Simons' Rekurs auf Whitehead, indem dieser mit Pkt. 4.2 eine Synthese unter alle Philosophieansatze zu ziehen sucht: von Platon und Aristoteles angefangen über Leibniz, Kant, Schelling, Hegel bis zu Bergson und anderen. Entsprechend wird deutlich: gilt es, die formale Ontologie der Informatik in ihren gänzlichen Zusammenhängen zu verstehen, ist dazu neben der Mathematik bzw. Logik auch ein tieferes philosophisches Verständnis erforderlich. Das gilt vor allem insofern, als nicht nur DOLCE und BFO die Anwartschaft auf die *Top-level Ontologie* stellen, sondern mittlerweile unzählige philosophisch anders akzentuierte TLO-Ansätze diesen Anspruch teilen. Neben der bereits genannten BWW-TLO mit der in Pkt. 5.3 behandelten Bungeschen Metaphysik wird dabei auch durch alle anderen TLO-Theorieanwärter explizit bzw. mindestens implizit auf philosophische Ansätze zurückgegriffen, teils auch in sehr umfassender Weise. Dazu seien drei Beispiele bemuhrt: (i) die Sowa-TLO basiert elementar auf den Arbeiten von Wittgenstein einerseits und Peirce bzw. Whitehead andererseits, (ii) die Chisholm-TLO Miltons gründet in Kritik der Metaphysik Bunges elementar auf Chisholm, (iii) die OCHRE-TLO L. Schneiders, der ein Schüler B. Smithens ist, baut auf einem ganzen Spektrum von Ansätzen auf. Schneiders Differenzierung von Universalien und Partikularien basiert auf seiner *Four-Category Ontology*, die mit Pkt. 5.2 wiederum neo-aristotelischer Natur ist; diese steht bei Schneider gleichzeitig explizit in der Tradition der *Four-Category Ontology* E.J. Lowes, dessen daraus resultierende Kategoriensysteme in Pkt. 6.1.3 behandelt werden, sowie der *Four-Category Ontology* von B. Smith. Diese auf Aristoteles zurückgehende *Four-Category Ontology* bildet ferner auch den Kern der damit entsprechend *endurantistischen* UFO-TLO.³³¹⁹ Das ist bemerkenswert, wenn UFO wiederum die TLO-Referenzbasis von UFO-S bildet, die eine *"core reference ontology for services"* darstellt,³³²⁰ welche mit Verweis auf Pkt. 2.2 wiederum in SOA-Kontexten zum Einsatz kommt. Die in dieser gängigen neo-aristotelischen Verankerung verschiedenster TLO-

³³¹⁸ Vgl. etwa B. Smith (1982, 1986a, 1986b, 1987a, 1994), Mulligan/Smith (1985), Mulligan (2004) sowie Simons (1988, 1992b, 2000a).

³³¹⁹ Vgl. Guizzardi (2005: 211).

³³²⁰ Vgl. Nardi et al. (2015).

Ansätze bestehende Fehlkonzeption wird dann zum Problem, wenn SOA als Basis komplexer IoX-Systeme auf ED-SOA hinausläuft. Denn dann ist offensichtlich, dass der SOA-Gedanke mit dem Endurantismus genauso auf der falschen Grundlage steht wie mit einer neo-aristotelischen Ontologiekonzeption insgesamt. Simons' (1998a) *Farewell to Substance* besitzt somit eine ganz praktische Bewandnis, denn selbst im *SOA Pragmatism* steht die Ontologiefrage nach der SOA-Strategie an zweiter Stelle der pragmatischen Implementierungsrichtlinien.³³²¹

In der Universalienfrage vertritt die "*School of Manchester*" anfänglich einheitlich einen neo-aristotelischen Ansatz, womit es sinnvoll erscheinen kann, mit Pkt. 5.2 zunächst auf diese (neo-) aristotelische Substanzontologie einzugehen. Wenn Smith gerade auch auf Brentano aufbaut, ist wiederum auf Brentanos (1933) substanzorientierte *Kategorienlehre* zu verweisen, die ebenfalls in dieser Tradition steht. Im Grunde lässt sich sagen, dass die gesamte philosophische Ontologie entweder direkt oder mindestens indirekt die *formale Ontologie* der Informatik fundiert. Aber nicht nur das: Hinzu kommen die damit teils unmittelbar verbundenen epistemologischen wie wissenschaftstheoretischen Positionen, die für die AI-Tradition in Sachen der Kognition und Wissensrepräsentation ebenso von essentieller Natur sind. Also geht es insgesamt um die Wurzel des Ganzen, um die im vierten Teil erörterte Metaphysik, wie es anhand dieses fünften Teils insgesamt ersichtlich wird. Daraus folgt, dass sich alle ontologischen und epistemologischen Fragen der Informatik in keiner Weise ohne die Metaphysik sachgerecht klären lassen. Sie ist für die Informatik elementar. Natürlich gilt dabei umgekehrt, dass die Metaphysik dieser Aufgabe nur dann gerecht werden kann, wenn es sich um die *insgesamt richtige* Klasse von Metaphysik handelt, nämlich um die Klasse-4-Metaphysik. Alle metaphysischen Fragen sind zweifelsohne interdependent, indem etwa aus einer prozessualen Weltauffassung, wie sie Rescher verfolgt, auch das Erfordernis einer prozessualen Epistemologie resultiert usf. Genauso anschaulich lässt sich die enge Interdependenz von Metaphysik, Ontologie, Epistemologie und Methodologie bei Popper feststellen, indem sie alle Puzzleteile eines zusammenhängenden Ganzen umfasst, die nicht jeweils für sich allein betrachtet werden können. Mit dem Gesagten gilt in der TLO-Debatte insgesamt ein Grundsatz: Wer sich für einen philosophischen Ansatz entscheidet, muss die Alternativen kennen. Das gilt einmal mit Blick auf die elementare Bedeutung, die die *Top-level Ontologie* im Sinne McCarthys (1995) für die Informatik besitzt. Das gilt zum anderen in der Hinsicht, dass mit den zahlreichen sich grundsätzlich widersprechenden Positionen, wie sie in der TLO-Debatte vertreten werden, grundlegende Irrtümer naturgemäß keineswegs ausgeschlossen sind.³³²²

³³²¹ Vgl. Shan (2009).

³³²² Dabei stehen natürlich nicht allein die TLO-Ansätze im Widerspruch, sondern vor allem die philosophischen Ansätze, auf denen sie beruhen. Wenn sich also die Chisholm-TLO Miltons gegen die Position Bunes wendet, steht sie damit nicht nur im Widerspruch etwa zur BWW-TLO. Mit ihrem Eintreten für die Positionen Chisholms besteht damit auch ein impliziter Widerspruch etwa zu den Positionen Whiteheads, Poppers oder Reschers, die wiederum unter anderen Aspekten in Opposition zu Bunge stehen, was durch Bunge und Rescher auch artikuliert wird. Für die Informatik entscheidend ist also die Metaphysik.

Die eigentlichen AI-Grundlagen hängen in ontologischer, epistemologischer wie KR-methodologischer Hinsicht also an der Metaphysik, deren Fragen sich ganz besonders bei autonomen, umfassend intelligenten CPS stellen. Für sie bildet die *Top-level Ontologie* der Informatik mit ihren Kategoriensystemen und ihren meta-ontologischen Aspekten die Basis. Insofern wird deutlich, dass eine Evaluierung konkurrierender *Top-level Ontologien* nicht ohne eine eingehendere Kenntnis aller relevanten philosophischen Ansätze erfolgen kann, wie sie in diesem fünften Teil erarbeitet werden. Zwar sind diese philosophischen Ansätze entscheidend, allerdings sind sie keinesfalls allein hinreichend, um die *Top-level Problematik* sachgerecht zu beurteilen, was die Sachlage zusätzlich erschwert: Es ist im Grunde kaum möglich die konkurrierenden TLO-Theorieanwärter zu evaluieren, ohne die Anforderungen an diese zu verstehen. Natürlich sind die Anforderungen mit Hayes (1979) bei *'toy problems'* andere als bei realweltlichen, evolutionären *nontoy worlds*, bei denen die *Top-level Ontologie* ein stabiles Fundament für autonome Cyber-physische Systeme (CPS) zu bilden hat.

Insofern wird auch von philosophischer Seite ein Referenzszenario benötigt, das sich mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* und der ihr immanenten CPS-Problematik in einer umfassenden Weise darstellen lässt. Dann nämlich wird deutlich, dass für die Diskussion der Ontologieproblematik der Informatik gerade IoX-basierte CPSS-Kontexte mitsamt relevanter Aspekte wie CAS, MAS, CEP bzw. SCEP oder SAW- bzw. CAW-Ontologien in der AI-Sphäre entscheidend sind. Das gilt gleichermaßen mit Blick auf CM-Ontologien für die realweltliche Referenzfunktion von Top-level Ontologien, wenn es um Modellierungsfragen der CM-Sphäre geht. Das betrifft hier zahlreiche Aspekte, konkret etwa die nicht unumstrittene Frage der Relevanz diverser TLO-Theorieanwärter für die TLO-Referenz der BPMN-Notation, die ihrerseits wiederum im umfassenden Zusammenhang der *Smart Enterprise Integration* (SEI) steht. Es wird somit deutlich, dass eine tatsächlich fundierte Analyse durchaus aufwändig ist; jedoch kann es nicht wegweisend sein, von dieser in der TLO-Evaluation zu abstrahieren, indem die Sachverhalte interdependent sind. Man kommt also nicht umhin, diese Debatte in ihrem ganzen erforderlichen Umfang zu führen. Mit dem SEI-Aspekt wird die Interdependenz all dieser Momente deutlich, womit sie sich allein aus einem Guss, also auf Basis eines *einheitlichen* metaphysischen Ansatzes sachgerecht erschließen lassen. D.h. man kann nicht etwa im ereigniszentrierten SCEP-Kontext auf *prozessualen* TLO-Ansätzen aufbauen, für die Modellierung der *Smart Enterprise Architecture* jedoch für CM-Zwecke auf TLO-Ansätze zurückgreifen, die wie die gängige BWW-TLO *substanz-* bzw. *dingzentriert* sind. Vielmehr verlangt eine vollumfängliche semantische Interoperabilität nach einer entsprechend mächtigen Basis, die als integrierte Ontologiekonzeption alle Aspekte zu berücksichtigen versteht.

Somit gilt es mit diesem fünften Teil den Rekurs bestehender TLO-Theorieanwärter auf *philosophische Ontologien* zu reflektieren, um etwa die Grundlagen der BWW-TLO im Hinblick auf ihre Fundamente in Form der *Bungeschen Ontologie* in Pkt. 5.3 zu verstehen.

Oder analog die Grundlagen der BFO-TLO, die parallel etwa zur OCHRE-TLO partiell mit Pkt. 5.2 im *Neo-Aristotelismus* liegen, während erste darüber hinaus auf die in Pkt. 5.6 diskutierte *Husserlsche Phänomenologie* rekurriert. Analoges gilt für die Chisholm-TLO, die natürlich nicht ohne den in Pkt. 5.4 berücksichtigten Rekurs auf *Chisholms Metaphysik* verstehbar bzw. evaluierbar ist. Genauso sind etwa für die Sowa-TLO oder die BORO 4D-Ontology die in Pkt. 5.5 behandelten analytischen Ansätze sowie die in Pkt. 5.7 reflektierten *prozessontologischen Ansätze* von Belang. Dieser Rekurs stellt sich im Allgemeinen in zwei Hinsichten dar: zum einen im Hinblick auf die TLO-Kategorien,³³²³ die sich regelmäßig an den philosophischen Kategoriensystemen orientieren, zum anderen im Hinblick auf meta-ontologische Erwägungen, die vor allem im Kontext der verschiedensten philosophischen Ansätze abgesichert werden. Hier ist etwa mit Pkt. 6.2.3 der *Universalienstreit* von Belang, wenn die BFO-TLO sowie die OCHRE-TLO auf dem *immanenten Realismus* bzw. Aristotelismus aufbauen, während im Zuge der DOLCE-TLO ein *platonistischer Realismus* vertreten wird.

Die nachfolgende Abb. 21 als Übersicht relevanter philosophischer Ansätze ist genau zu analysieren, wenn es um die Frage der Auflösbarkeit des in Pkt. 1.2 erörterten *Inkommensurabilitätsproblems* geht. Diese Relevanz besteht z.B. dann, wenn durch Colomb (2007: 90) die Ansicht vertreten wird, dass die DOLCE-TLO und die BWW-TLO schon deshalb miteinander kompatibel seien, als sie beide auf die aristotelische Ontologie zurückgehen. Der gemeinsame Ursprung ist, wie im Folgenden gezeigt, zwar richtig, die – oberflächliche wie letztlich naive – Folgerung einer dadurch bedingten Kompatibilität allerdings *grundfalsch*. Solche Auffassungen sind insofern entsprechend scharf zurückzuweisen, als darauf gründende Versuche eines TLO-Mappings bei hochautomatisierten Systemen folgenschwere Konsequenzen bedingen. Zudem führen sie die ganze Disziplin, insbesondere die nicht in den Tiefen der Ontologieforschung bewanderten Informatiker, über Jahre in die Irre, wenn damit die Strategie eines TLO-Mappings als Option erscheint. Warum besteht diese grundsätzliche Inkompatibilität? Sie beginnt damit, dass es bei Bunge um *ontische* Kategorien geht, bei DOLCE jedoch um eine ganz andere Art von Kategorien, nämlich um epistemische. Colomb (2007) Position liefe also in ihrer Konsequenz darauf hinaus, ontische und epistemische Kategorien zu vermischen. Entsprechend erweisen sich die methodologischen Aspekte, die die Ontologie bei Bunge flankieren, als relevant. Konkret etwa Bunges *wissenschaftlicher Realismus*, den es bei DOLCE gar nicht gibt. Somit hat das Wissen in beiden TLO-Ansätzen natürlich auch eine vollkommen disparate Natur; schon insofern entbehrt jedes Mapping seiner Grundlage. Damit nicht genug: mit Verweis auf den in Pkt. 6.2.4 diskutierten Widerstreit von *Aktualismus vs. Possibilismus* gilt gleiches, wenn Bunge strikt ersten, DOLCE aber genauso strikt zweiten vertritt. Oder bzgl. des in Pkt. 6.2.5 behandelten Widerstreits von *Endurantismus vs. Perdurantismus*, bei dem einerseits bei Bunge ein strenger Endurantismus im Sinne einer dingzentrierten monokate-

³³²³ Vgl. hierzu etwa Sowa (1995) sowie Jansen (2008a).

gorialen Ontologie betrieben wird, während DOLCE eine davon grundsätzlich abweichende bikategoriale Ontologie verkörpert. Daraus folgt, dass sich insbesondere die Ereignis- bzw. Prozesskategorie auf Sachverhalte bezieht, die bei beiden Ansätzen gänzlich inkommensurabel sind. Denn diese ist bei Bunge objektbezogen, während sie bei DOLCE für sich steht. Demgegenüber zeigen sich die Ansätze von Chisholm und Bunge in ihrem neo-aristotelischen Kern schon etwas näher, sind jedoch genauso fundamental inkommensurabel. Das unterstreicht auch Milton (2004) mit seiner Chisholm-TLO, die er bewusst der BWW-TLO entgegenstellt. Es sind also bereits grundlegende Inkompatibilitäten selbst bei TLO-Ansätzen festzustellen, die ähnlichen bzw. ursprünglich den gleichen Philosophietraditionen entstammen. Noch schwerwiegender zeigen sich die Probleme, wenn es um unterschiedliche Philosophietraditionen geht. Um eine erste Orientierung für die Reflexion des TLO-Rekurses auf philosophische Ontologien zu schaffen, ist in der nachfolgenden Abb. 21 die Zuordnung der TLO-Ansätze bzw. die auf diese referenzierenden EO-Ansätze zu den in Pkt. 5.2 bis Pkt. 5.6 behandelten Substanzontologien dargestellt:

Substanzontologien	Rekurrierende TLO-Ansätze	Referenzierende EO-Ansätze
Aristoteles (Pkt. 5.2) Neo-Aristotelismus (Brentano)	- BFO - BWW (via Bunge) - DOLCE (partiell) - GFO (ursprünglich) - OCHRE - Chisholm-TLO (via Chisholm) - SUMO (via Smith) - UFO (via GFO bzw. DOLCE)	- BFO-EO - BPMN-Notation (via UFO)
Bunge (Pkt. 5.3) Revisionäre Metaphysik, auf aristotelischer Metaphysik aufbauend	- BWW - IOMIS	- DEMO (direkt auf Bunge) - REA (via BWW) - BWW (CM) - BPMN-Notation (via BWW),
Chisholm (Pkt. 5.4) Deskriptive Metaphysik, wesentlich auf aristotelischer Kategorienlehre aufbauend	- Chisholm-TLO Miltons - GFO - UFO (via GFO) - Analytic Approach	- Milton (CM) - Analytic Approach (CM)
Analytische Ontologie/Metaphysik (Pkt. 5.5) Deskriptive Metaphysik, auf aristotelischer Kategorienlehre und teils verkürzend auf Kant aufbauend	- DOLCE - UFO (via DOLCE) - Analytic Approach	- SUPER (via DOLCE) - ADACOR (via DOLCE) - BPMN-Notation (via DOLCE) - SSN-Ontology (via DOLCE) - AVILUS (via SUMO) ³³²⁴
Husserl (Pkt. 5.6) formale Ontologie / Phänomenologie Deskriptive Metaphysik, auf Aristoteles und Brentano aufbauend	- BFO - DOLCE (partiell)	- BFO-EO

Abb. 21:³³²⁵ Genealogie und TLO- bzw. EO-Referenz der Substanzontologien

Analog zu den oben in Abb. 21 genannten "Furniture-Ontologien" werden in Abb. 34 in Pkt. 5.7 die dazu konkurrierenden *prozessontologischen* Ansätze überblicksartig darge-

³³²⁴ SUMO stellt einen eklektischen Ansatz dar, der die verschiedensten Ontologiefragmente verkörpert. Mit Blick auf ihren auf Guarino zurückgehenden mereotopologischen Kern ist die SUMO-TLO der Analytischen Philosophie zuzuschlagen. Das erscheint auch hinsichtlich ihrer linguistischen Orientierung wie ihrer damit zusammenhängenden 3D-Perspektive am treffendsten, vgl. zu dieser Verwandtschaft auch Oberle et al. (2007).

³³²⁵ Quelle: eigene Darstellung.

stellt. Vor dem Hintergrund der oben mit Colomb (2007) bzw. Milton (2004) exemplarisch aufgezeigten Inkommensurabilitätsprobleme, die im Folgenden noch deutlicher herausgearbeitet werden, ließe sich oberflächlich vermuten, dass das eigentliche Ontologieproblem durch die Philosophie bzw. die Heterogenität der philosophischen Ansätze verursacht wird. Daraus könnte man dann schließen, dass von *metaphysischen* Top-level Ontologien abgesehen werden sollte zugunsten *linguistischer* Top-level Ontologien, was auf die Debatte in Pkt. 3.3.2 zurückweist. Dabei könnte insbesondere in verbreiteten TLO-Ansätzen wie SUMO oder Cyc UCO die Lösung vermutet werden. Genauer besehen gelangt man jedoch zu einem völlig anderen Schluss: Diese linguistischen Ansätze sind noch problematischer, da sie ambivalent sind, etwa, indem die tatsächliche Natur der Kategorien nicht umfassend expliziert wird. Konkret: SUMO erweist sich in der Kombination disparater philosophischer Fragmente als inkonsistent und bisweilen unklar; während die Fundamente von Cyc genauso diffus sind. Für eine *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik sind das denkbar schlechte Voraussetzungen; letztlich erfüllen solche TLO-Ansätze ihre ureigenste Funktion somit gerade nicht. Darüber hinaus steht die Notwendigkeit zur umfassenderen philosophischen OE-Fundierung der Informatik selbst für solche Fachvertreter der Disziplin außer Frage, die wie Hepp (2008b) selbst einen linguistischen Ontologieansatz ohne TLO-Fundierung vertreten, wie er im dritten und vierten Teil Gegenstand der Kritik war:

»One core part of ontological engineering is the art and science of producing clean, lasting, and reusable conceptual models. With clean we mean conceptual modeling choices that are based on philosophically well-founded distinctions and that hold independent of the application context. [...] In other words: The cleaner our conceptual distinctions are, the more likely it is that we are not putting into one category objects that need to be kept apart in other usages of the same data – in future applications and in novel contexts. So ontology engineering is also a school of thinking that leads to better conceptual models.«³³²⁶

Zieht man aus dem durch Hepp (2008b) Gesagten die notwendigen Konsequenzen, führt eine solch systematisch angelegte philosophisch-kategoriale Reflexion unweigerlich zu genau jener Position, wie sie in Pkt. 3.3 ff., Pkt. 3.4 sowie Pkt. 3.5 entwickelt worden ist. Diese ist insbesondere im Zeichen einer agentenbasierten bzw. MAS-basierten wie CPSS-adäquaten AI-Ontologiekonzeption einzufordern, da sie eine *ereigniszentrische Mehrweltenontologie* impliziert. Wenn dabei gilt, mit der *Top-level Ontologie* die Fundamente zu legen, kommt man an der eingehenden philosophischen Debatte nicht vorbei; sie ist elementar, um die Fundamente sachgerecht zu explizieren, z.B. ob die Ontologiekonzeption aktualistisch oder possibilistisch zu sein hat, oder wie im Fall von CYPO als Mehrweltenontologie beides erfüllen kann. Die obige tabellarische Zuordnung der TLO-Ansätze zu den in diesem fünften Teil erörterten philosophischen Grundlagen offenbart zahlreiche Spannungsfelder. Hierzu gehören alle unter Pkt. 4.1 ff., Pkt. 6.1 ff. sowie Pkt. 6.2 ff. behandelten Aspekte, also von den disparaten Metaphysikklassen über das

³³²⁶ Hepp (2008b: 12).

Problem von Objekt- vs. Prozessontologie bis hin zu den Widerstreiten um Endurantismus vs. Perdurantismus, Aktualismus vs. Possibilismus usf.

Wenn es im TLO-Rekurs der Informatik wie in der damit unmittelbar zusammenhängenden Auseinandersetzung mit den drei AI-Generationen bzw. dem Frame Problem im ersten Teil um das ganze Spektrum der Philosophie bzw. um alle Metaphysik geht, stellt sich die Frage der Eröffnung einer solch umfänglichen Debatte. Führend sind im Folgenden zwei Gedanken: wir starten in Pkt. 5.1 mit dem Rekurs der AI-Disziplin auf Quine nicht deshalb, weil dieser gängig ist, sondern indem man sich im Grunde die tiefere Diskussion alles Folgenden sparen könnte, wenn der Position Quines rechtgegeben werden müsste. Denn Quine erachtet in der Tradition Wittgensteins bzw. Carnaps nicht nur die Metaphysik an sich als unnötig, sondern er will gleich die ganze Philosophie abschaffen, indem diese auf die *Wissenschaftstheorie* zu reduzieren sei. Allerdings offenbart eine tiefere Auseinandersetzung mit Quine, dass man um die Philosophie in allen wesentlichen meta-ontologischen Dispositionen wie allen ratio-empirischen Kategorien nicht umhinkommt. Dabei bemerkt Quine nicht, dass er seine eigenen Kategorien letztlich der ratio-empirischen Metaphysik seines akademischen Lehrers Whitehead zu verdanken hat. Indem die Quinesche Option keine ist, stellt sich anschließend die Frage erneut: wie eröffnet man in geeigneter Weise den philosophischen Diskurs der Informatik? Die Antwort ist letztlich einfach, indem damit zu beginnen ist, was die Philosophie bzw. Metaphysik der Informatik derzeit in überaus problematischer Weise letztlich im Kern kennzeichnet, nämlich mit dem durch Seibt (1996, 2005) kritisierten *Mythos der Substanz*. Auch wenn deren Ursprünge älter sind, ist es die in Pkt. 5.2 behandelte aristotelische Substanzontologie, auf die letztlich alles Objektdenken der gegenwärtigen Informatik zurückgeht. Dabei wurde bereits gezeigt, dass mit Vermesan et al. (2009) selbst bei *Internet of Things* (IoT) noch unmittelbar und explizit die metaphysische Basis bei Aristoteles gesucht wird. Mit diesem eigentlich zu beginnen gebietet aber nicht nur der Umstand, dass dessen Substanzparadigma für zahlreiche andere Strömungen konstituierend ist, sondern auch, dass von Aristoteles das erste Kategoriensystem stammt, während diese Systeme mit Pkt. 6.1.3 für die Ontologie der Informatik elementar sind. Im Grunde besteht diese Relevanz für sämtliche der nachfolgend behandelten philosophischen Richtungen, nicht nur für Brentano, Husserl, Chisholm oder Bunge, sondern auch noch für die heute im Fokus der landläufigen Metaphysikdiskussion stehende Analytische Philosophie. Das gilt ungeachtet des Umstands, dass die Vertreter der analytischen Ontologie (vgl. Pkt. 5.5) sich oftmals gar nicht gewahr sind, wie sehr ihre formalen Untersuchungen in Wirklichkeit durch das Substanzparadigma präsupponiert sind.

Die formale Logik ist im Allgemeinen seit Leibniz mit der metaphysischen Ontologie verbunden und somit ab der Klasse-2-Metaphysik der Metaphysik unmittelbar inhärent. Whitehead konstatiert in diesem Sinne: »the reformation of Logic has an essential refer-

ence to Metaphysics. For Logic prescribes the shapes of metaphysical thought«. ³³²⁷ Das gilt für den in Pkt. 4.1 behandelten Unterschied von Klasse-1- und Klasse-2-Metaphysik, indem die formale Logik mit Leibniz zu einer neuen Art von Metaphysik führt. Bezüglich des Unterschieds von objektzentrischer und ereigniszentrischer Metaphysik dreht sich das oben genannte Verhältnis von Logik und Metaphysik jedoch grundsätzlich um. Natürlich ist an sich nicht die Logik primär, sondern immer die Metaphysik als Erste Philosophie. Entsprechend ist es umgekehrt angezeigt, mit H.R. Smart (1925) die metaphysischen Präsuppositionen der mathematischen Logik zu hinterfragen, wie sie bei Russell (1908) zum Vorschein kommen. ³³²⁸ Dabei spielt der Situations- bzw. der Ereigniskalkül bei allen in Pkt. 5.7 behandelten jüngeren prozessontologischen Ansätzen eine zentrale Rolle. Das gilt sowohl für die analytische Metaphysikklasse 2, als auch für die ratio-empirische, nämlich die wissenschaftliche bzw. techno-wissenschaftliche der Metaphysikklassen 3 und 4. Tatsächlich überwunden wird das hoffnungslos überholte und im Widerspruch zu den modernen Wissenschaften stehende Substanzparadigma aber weder durch die Klasse-2- noch durch die Klasse-3-Metaphysik. Mit der letzten Debatte um die ontologische Philosophie in Pkt. 5.7 wird vielmehr deutlich, dass es nicht um die Prozessontologie als solche, sondern vielmehr um die richtige Art von Prozessmetaphysik gehen muss. Richtig verstanden ist diese mit Pkt. 4.2 allein auf Basis der Whiteheadschen (1929a) strukturalistischen *Klasse-4-Metaphysik*. Sie ist nicht nur mit Seibt (2005) die »die bisher erklärungsstärkste Ontologie«, sondern sie ist in ihrer Cyber-Physik die mächtigste Prozessontologie überhaupt: sie und keine andere ist die *Metaphysik der Informatik*, womit mit dem folgenden Pkt. 5.1 zu zeigen ist, dass alle Disziplinen im Kontext der transdisziplinär vorauszusetzenden Cyber-physischen Systeme (CPS) der Komplexitätsforschung von Quine zur *metaphysica generalis*, speziell zu jener von Whiteheads *Klasse-4-Metaphysik* zurückmüssen.

5.1 Zum gängigen Rekurs der AI-Disziplin auf die Ontologie Quines

»In philosophy, ontology is the branch that studies what things exist. [...] Quine's view is that the ontology is what the variables range over. Ontology has been used variously in AI, but I think Quine's usage is best for AI.«

— John McCarthy (2000: 45)

Quines Ontologiekonzeption ist für die Ontologiediskussion der Informatik aus einer Reihe von Gründen von außerordentlichem Stellenwert. Eine Auseinandersetzung mit ihr ist schon deshalb geboten, weil sie in den Reihen der Informatik zwar häufig bemüht, aber beinahe ebenso oft gründlich missverstanden wird. Daneben lässt sich gerade anhand der Quineschen Ontologie gut diskutieren, was für die Ontologie vorausgesetzt werden sollte – und was nicht. Die Diskussionspunkte, die im Zusammenhang mit Quines Ontologie stehen, sind höchst facettenreich, und es erscheint zunächst am sinnvollsten nachzuzeichnen,

³³²⁷ Vgl. Whitehead in Quine (1934: ix f.).

³³²⁸ Vgl. auch Grossmann (1996), der konträr zu Wittgenstein postuliert, dass Logik eine Ontologie besitzt.

warum Quines Ontologie gerade in Teilen der AI-Tradition eine solch hohe Anerkennung erfährt. Tatsächlich steht die Ontologie der Informatik seit ihren Ursprüngen bei Mealy (1967) und McCarthy/Hayes (1969) im expliziten Zeichen Quines, und auch die gegenwärtige IS- bzw. AI-Ontologie beruft sich oftmals auf Quine.³³²⁹ Genauso hält McCarthy (2000: 45) als einer der Urväter der AI-Tradition das Quinesche Ontologiekonzept für die AI-Ontologie für das passendste. Unter Pkt. 3.3 wurde der durch die AI-Tradition oftmals bemuhnte vermeintliche Unterschied zwischen philosophischer Ontologie und AI-Ontologie dargestellt. Nur gibt es auf Grundlage der Quineschen Ontologie diesen Unterschied mindestens in dem Sinne ebenso, als auch Quine sich für einen *realistischen*, nicht für einen definitorischen Existenzbegriff ausspricht und entsprechende Identitatskriterien bemuhnt.

Die aus AI-Sicht teils gewollte Unterscheidung zwischen philosophischer Ontologie und AI-Ontologie hat viele Gründe; u.a. jenen, dass die Disziplin sich in der Ontologiesache möglichst selbst genügen soll – und dabei liegen die Hoffnungen nicht zuletzt auf Quine. Diese Hoffnungen beruhen dabei mit dem einfachen Existenzquantor auf der – in der Sichtweise der Informatik im positiven Sinn gemeinten – Trivialität des Quineschen ontologischen Kriteriums,³³³⁰ die Quine selbst konzедiert.³³³¹ Quines Ontologie weist zu den im Folgenden behandelten übrigen philosophischen Ontologien die Besonderheit auf, dass sie im Zeichen des Quineschen Gesamtansatzes die Philosophie auf *Wissenschaftstheorie* reduzieren will: in diesem Sinne ist Philosophie für Quine *Wissenschaftsphilosophie*, deren Kern die Naturwissenschaften ausmachen. Für Quine (1953a: 446) ist »philosophy of science philosophy enough«; mit seinem Naturalismus will er gerade die *Erste Philosophie*, mithin die klassisch philosophische Ontologie und mit ihr die gesamte Metaphysik überwinden. Damit ist bei Quine auch für metaphysische Kategorien zwangsläufig kein Platz. Indessen haben Feibleman (1949) und andere dargelegt, dass gerade auch der Empirismus letztlich nicht um Ontologie im philosophischen Sinne umhinkommt.

Demgegenüber fordert Quine (1981: 72) in offensichtlicher Nachwirkung des Logischen Positivismus Carnaps und anderer:³³³² »The fifth move, finally, brings naturalism: abandonment of the goal of a first philosophy. It sees natural science as an inquiry into reality, fallible and corrigible but not answerable to any supra-scientific tribunal, and not in need of any justification beyond observation and the hypothetico-deductive method«. In diesem Sinne kann *Wissen* für Quine (1987: 108 ff.) auch nicht mehr sein als »justified true belief«, wenngleich er dabei ausdrücklich auf das in Pkt. 3.5 erwähnte Gettier-Problem hinweist.^{3333, 3334} Quines Ontologie ist insofern auch weniger als *philosophische* Ontologie als vielmehr als *naturwissenschaftliche* Ontologie, bzw. genauer: als Ontologie naturwis-

³³²⁹ Vgl. etwa Ashenhurst (1996), Partridge (1996), Vetere/Lenzerini (2005) oder Wyssusek/Klaus (2005b).

³³³⁰ Aus Sichtweise der philosophischen Ontologie wird diese *Trivialität des Existenzquantors* als logikbasierter "es gibt"-Redeweise umgekehrt sehr kritisch gesehen.

³³³¹ Vgl. Quine (1992a).

³³³² Quine (1987: 8) ist schließlich weiter, wenn er hier auf Poppers *Falsifikationskriterium* abstellt.

³³³³ Vgl. Quine (1987: 108 f.).

³³³⁴ Vgl. hierzu auch Quine/Ullian (1970: 63 ff.).

senschaftlicher Theorien zu verstehen, die im Zeichen mathematischer Logik stehen. Insofern impliziert das *Pro oder Contra Quine* eine fundamental meta-ontologische Entscheidung, weil es im positiven Ausgang die Verzichtbarkeit philosophischer, mithin metaphysischer Ontologie präsupponiert. Somit ist die Quinesche Ontologie entsprechend vorgezogen zu behandeln. Auf der Grundlage der Erkenntnisse des dritten Teils ließe sich diese Frage dann *pro Quine* entscheiden, wenn Quines Ontologie die Grundlage für folgende sieben Anforderungen stellen könnte: für (i) einen *einheitlichen Ontologiebegriff*, (ii) eine *integrierte Ontologiekonzeption* im Sinne einer W1- bis W4-Ontologie, (iii) eine *Ontologie der Artefakte* (W3), (iv) die Grundlegung einer *Top-level Ontologie*. Im Zusammenhang mit letzterer müsste die Quinesche Ontologie (v) die für die AI-Tradition essentielle *Transdisziplinarität* eröffnen können und müsste (vi) somit den Status einer *Universalontologie* besitzen. Im Kontext der W2-Ontologie als *Welt rationaler Intelligenz* müsste (vii) Quines epistemologische Position zudem mit jener der AI-Tradition kompatibel sein, was agentenbasierte Ansätze notwendig mit einzubeziehen hätte. Inwieweit diese sieben Anforderungen durch die Quinesche Ontologie tatsächlich erfüllt werden, gilt es im Folgenden zu untersuchen.

Es gibt wie gesagt kaum eine Ontologie, die regelmäßig so gründlich missverstanden wird wie jene Quines.³³³⁵ So etwa bei der doppelt fundamentalen Fehlinterpretation durch Wyssusek (2004a) sowie Wyssusek/Klaus (2005b): zum einen behaupten sie, dass AI-Ontologien *nichts* mit der Außenwelt zu tun hätten, und wollen sich dabei gerade auf Quine berufen: »[O]ntologies in artificial intelligence are linguistic conventions that do not tell us anything about the outside world. Yet, in philosophy we have come to use ontologies in a similar vein (e.g., Quine, 1961)«. ³³³⁶ Zum anderen bringen sie – wie auch viele andere – Quine in die Nähe zu Gruber,³³³⁷ und sehen Quine damit ganz offensichtlich in jenem Ontologieverständnis, das bei Strawson (1959) unter *deskriptive Metaphysik* bzw. bei anderen unter *interne Metaphysik* fällt. Quine ist aber, häufig unverstanden, das genaue Gegenteil, nämlich Realist,³³³⁸ vor allem aber Empirist und Naturalist: die Außenwelt bildet für Quine gerade das *Essentielle*; er vertritt im grundsätzlichen Gegensatz zu Gruber keine deskriptive, sondern genau umgekehrt letztlich eine *revisionäre* Position bzw. keine interne Metaphysik, sondern einen *Naturalismus* als Äquivalent *externer* Metaphysik.³³³⁹ Damit besteht

³³³⁵ Analoges lässt sich indessen von dem in Pkt. 4.2 behandelten Ansatz Whiteheads sagen.

³³³⁶ Vgl. Wyssusek/Klaus (2005b: 336); vgl. ähnlich Wyssusek (2004a: 4305).

³³³⁷ Vgl. hierzu etwa Guarino/Carrara/Giaretta (1994b) sowie Borst (1997: 12).

³³³⁸ Quine (1981: 21) spricht von einem *"robust realism"*; vgl. hierzu auch Quine (1981: 72): »Naturalism has two sources, both negative. One of them is despair of being able to define theoretical terms generally in terms of phenomena, even by contextual definition. A holistic or system-centered attitude should suffice to induce this despair. The other negative source of naturalism is unregenerate realism, the robust state of mind of the natural scientist who has never felt any qualms beyond the negotiable uncertainties internal to science«. Vgl. zur Debatte um die Existenz *abstrakter Objekte* Quine (1960a: 233 ff.); Quine bezieht hier eine *realistische*, nicht eine nominalistische Position.

³³³⁹ Vgl. hierzu etwa Quine (1995: 15 ff.).

seine Position in so etwas wie einem *revisionären Naturalismus*,³³⁴⁰ da Quine zwar dem empiristischen Moment folgt, nicht jedoch dem spekulativ-rationalistischen Pendant, wie es der *Ratio-Empirismus* mit sich bringt: »What is empirically significant in an ontology is just its contribution of neutral nodes to the structure of the theory«. ³³⁴¹ In Quines Empirismus und Naturalismus geht es letztlich um bedingungslose *reale* Existenz der Entitäten, womit Quine zur Postulierung der für Cyber-Ontologien elementaren *möglichen Welten* entsprechend eine höchst skeptische bzw. negative Haltung einnimmt.³³⁴² Für Quine (1956: 180) sind *intensionale* Entitäten »creatures of darkness«, ³³⁴³ und damit nimmt er in der Debatte um *mögliche Welten* eine radikal andere Position ein als sein Schüler D.K. Lewis und andere Verfechter modaler Ontologie. Vor allem aber wird deutlich, dass der Quinesche Ansatz mit dem epistemischen Ontologiekonzept Grubers schlichtweg inkompatibel ist.

Die erwähnten Irrtümer basieren offensichtlich auf Quines (1960a) sprachphilosophischen Überlegungen wie auf Quines (1968) *ontologischer Relativität* einerseits, und seinem Stellenwert der mathematischen Logik andererseits.³³⁴⁴ Im Mittelpunkt der Quineschen Ontologie stehen die Werte gebundener Variablen;³³⁴⁵ in ihnen besteht nicht weniger als die einzige Art und Weise, *wie wir uns* ontologisch festlegen können. Entscheidend ist also, dass es um den W2- bzw. W3-Ontologietypus geht, wenn Quine konstatiert »the *only* way we can involve ourselves in ontological commitments: by our use of bound variables«. ³³⁴⁶ Diese Auffassung zur *ontologischen Verpflichtung* findet sich bereits in Quines Fruhwerken: »The ontology to which one's use of language commits him comprises simply the objects that he treats as falling [...] within the range of values of his variables«. ³³⁴⁷ Für Quine (1975b: 131 ff.) wird im Zeichen des Existenzquantors $\exists x$ mit einem "*es gibt*" alles Sein als Wert gebundener Variablen verstanden,³³⁴⁸ womit für Quine (1980: 14) gilt: »To be is to be the value of a [bound] variable«. Darin sehen auch McCarthy (2000) und andere

³³⁴⁰ Vgl. hierzu Quine (1992b: 9): »Naturalism looks only to natural science, however fallible, for an account of what there is and what what there is does. Science ventures its tentative answers in man-made concepts, perforce, couched in man-made language, but we can ask no better«.

³³⁴¹ Vgl. Quine (1992a: 33).

³³⁴² Vgl. Quine (1953b, 1956) sowie Quine (1960a: 195 ff.); vgl. hierzu auch den Anhang bei Plantinga (1974), Sowa (1984: 178; 2000: 309), Marcus (1993: Ch. 14) und Read (1997: 126-131). Quine (1969b, 1976b) entwickelt selbst ein spezifisches Konzept *möglicher Welten*, das extensional orientiert ist.

³³⁴³ Zu intensionalen Entitäten sind neben Brentanos immanenten Objekten, Freges Sinnen, Carnaps Intensionen, Meinongs auerseiende Gegenstände vor allem die Entitäten möglicher Welten der modernen Modalontologie zu zählen.

³³⁴⁴ Vgl. hierzu Quine (1982).

³³⁴⁵ Vgl. zu *freien und gebundenen Variablen* etwa Suppes (1957: 52 ff.). Den Gebrauch letzterer rechtfertigt Quine (1980: 14): »Logicism, represented by Frege, Russell, Whitehead, Church, and Carnap, condones the use of bound variables to refer to abstract entities known and unknown, specifiable and unspecifiable, indiscriminately«.

³³⁴⁶ Vgl. Quine (1980: 12), Hvh. im Orig.

³³⁴⁷ Vgl. Quine (1943: 118).

³³⁴⁸ Vgl. hierzu im Einzelnen Quine (1992a: 25 ff.).

einen Grundpfeiler eines universalen AI-Ontologiekonzepts,³³⁴⁹ das Quine jedoch mit Blick auf die weiter unten erläuterten Argumente in Wahrheit nicht bieten kann. Für Quine selbst steht demgegenüber fest: »Whatever the utility of predicate-functor logic to future computer technology, the variable is more congenial to the mind of man«. ³³⁵⁰ Genauso täuschen sich Wyssusek (2004b) und andere einerseits in ihrer Annahme, dass die Quinesche Ontologie auf eine (finale) Akzeptanz der Existenz multipler Ontologien hinausliefere, andererseits darin, dass sie eine (finale) Reduktion der philosophischen Ontologie auf die Analyse der Sprache impliziert. Tatsächlich ist beides unrichtig, indem diese Sichtweisen gerade nicht dem Standpunkt der Quineschen Ontologie entsprechen; man wäre fast geneigt zu sagen, dass die durch Quine diskutierte McX-Ontologie mit Quines eigener ontologischer Verpflichtung verwechselt wird. Denn damit wird Quines elementarer Gesichtspunkt der Individuation übersehen: Die obige Sentenz geht nämlich mit einer anderen, ebenso gängigen einher, wonach es bezuglich des Identitatskriteriums für Quine (1981: 102) gilt: »There is no entity without identity«. – Im Grunde adressiert bereits Quine das Inkommensurabilitätsproblem, und es wird dabei deutlich, dass sich dieses vor allem zwischen den in Pkt. 3.5 differenzierten W1-, W2-, und W4-Welttypen bewegt. Die Notwendigkeit ihrer strikten Unterscheidung wird umso klarer, wenn Quine konstatiert:

»Now how are we to adjudicate among rival ontologies? Certainly the answer is not provided by the semantical formula "To be is to be the value of a variable"; this formula serves rather, conversely, in testing the conformity of a given remark or doctrine to a prior ontological standard. We look to bound variables in connection with ontology not in order to know what there is, but in order to know what a given remark or doctrine, ours or someone else's, *says* there is; and this much is quite properly a problem involving language. But what there is is another question«. ³³⁵¹

Bei Quine gibt es allein *physikalische Objekte* und *Klassen*;³³⁵² alle physikalischen Objekte besitzen eine raum-zeitliche Identität;³³⁵³ allein dadurch lassen sie sich als Objekte der aktuellen Welt fassen.³³⁵⁴ Bei den Klassen handelt es sich nicht nur um Klassen von (physikalischen) Objekten,³³⁵⁵ sondern auch um Klassen von Klassen,³³⁵⁶ bei denen die Klasse physikalischer Objekte die unterste Ebene darstellt.³³⁵⁷ Dass Quine nur insofern Materialist ist als es sein methodologischer Naturalismus erfordert,³³⁵⁸ zeigt der Umstand, dass anstelle der physikalischen Objekte eine Verdinglichung (Reifikation) von Raum-Zeit-Abschnitten treten kann.^{3359, 3360} Insofern läuft sein methodologischer Naturalismus insbesondere auf

³³⁴⁹ Vgl. etwa McCarthy (1984: 190): »The ontology of a program is the set of entities that its variables range over. Essentially, this is what it can have information about«.

³³⁵⁰ Vgl. Quine (1995: 35).

³³⁵¹ Quine (1980: 15 f.), Hvh. im Orig.

³³⁵² Vgl. Quine (1981: 16).

³³⁵³ Vgl. etwa Quine (1981: 10).

³³⁵⁴ Vgl. hierzu Quine (1976b).

³³⁵⁵ Vgl. hierzu Quine (1963: 1): »Set theory is the mathematics of classes. Sets are classes. The notion of class is so fundamental to thought that we cannot hope to define it in more fundamental terms«.

³³⁵⁶ Vgl. hierzu Quine (1963: 47): »Everything is for us a class [...]. It follows that every class is a class of classes, and hence that everything is a class of classes. A good thing about everything's being a class is that wherever a free variable would make sense a class abstract makes sense too«.

³³⁵⁷ Vgl. Quine (1981: 16).

³³⁵⁸ Vgl. hierzu etwa Quine (1952).

³³⁵⁹ Vgl. Quine (1981: 16); vgl. hierzu auch Quine (1976a, 1985a).

einen *mathematischen Naturalismus* hinaus. Denn diesem Schritt könnte dann eine weitere Transformation der Ontologie folgen, indem bei ihm physikalische Objekte als »classes of quadruples of numbers« ausgelegt werden.³³⁶¹ Am Ende steht eine reine *Mengenontologie* (ontology of pure set theory),³³⁶² die alles Nicht-Mathematische aus der *Ontologie der Physik* verbannt hat. Quines Ziel besteht in der Realisierung der *sparsamsten Ontologie* (most economical ontology) im Sinne des Ockhamschen Rasiermessers als heuristischem Sparsamkeitsprinzip; das Mittel der Wahl ist die *ontologische Reduktion*. Bei Quine (1992b) mündet dieses Streben in einem *mathematischen Strukturalismus*, der strikt aus der Abstraktion bzw. mathematischen Raffination naturwissenschaftlicher Theorien resultiert.³³⁶³ Anzumerken bleibt, dass der *methodologische Naturalismus* im Grunde gar nicht zur Ontologie passt, denn dieser gründet »in der Tendenz des Logischen Empirismus, philosophische Thesen möglichst ohne Bezug auf eine bestimmte Ontologie zu formulieren«. ³³⁶⁴ Der Naturalismus scheidet vielmehr in zweifacher Hinsicht: (i) weil mit einer transdisziplinären universalen Ontologie eine nicht-induktivistische Metaphysik erforderlich wird; (ii) weil jede sachgerecht verstandene emergentistische Ontologiekonzeption Artefakte bzw. CPS nicht vollständig auf tiefere Stufen reduzieren kann, womit eine tatsächlich universale Ontologie im Regeluniversum nicht naturalistisch, sondern allein digitalistisch, mithin *logico-mathematischer* Natur ist. Im Ergebnis könnte dem dann auch Quine zustimmen, wenngleich dies natürlich konsequent zu Whitehead zurückführt.

Quine kann deshalb keine (finale) Akzeptanz der Existenz multipler Ontologien unterstellt werden, weil der Empirismus und Naturalismus gerade deshalb im Zentrum seiner Wissenschaftsphilosophie stehen, um die Probleme linguistischer Ontologie zu lösen. Analoges gilt für den Quineschen Holismus,³³⁶⁵ der auf das gesamte System des Wissens abstellt, wobei dieser Holismus neben inkommensurablen Theorien insgesamt auch die Grenzen des Quineschen Ansatzes offenbart: Denn sein Rekurs auf wissenschaftliche Theorien bedeutet, dass deren Objekte immer disziplinärspezifischen Charakters sind.³³⁶⁶ Der Naturalismus ist also gerade *nicht* Universalontologie, sondern fällt letztlich unter die regionalen Ontologien, die zwar Pluri-, Quer- und Interdisziplinarität zulassen, nicht aber die im ontologischen Zusammenhang von Informatik wie Philosophie elementare *Transdisziplinarität*. Die Transdisziplinarität offenbart, dass sich die *Einheit der Wissenschaften* nicht

³³⁶⁰ Vgl. zur *Reifikation* (Reifizierung) in der *AI-Disziplin* etwa McCarthy (1987: 233).

³³⁶¹ Vgl. Quine (1981: 17).

³³⁶² Ibid.

³³⁶³ Vgl. Quine (1992b: 9): »My global structuralism should not [...] be seen as a structuralist ontology. To see it thus would be to rise above naturalism and revert to the sin of transcendental metaphysics. [...] My global structuralism is a naturalistic thesis about the mundane human activity, within our world of quarks, of devising theories of quarks and the like in the light of physical impacts on our physical surfaces«.

³³⁶⁴ Vgl. Kanitscheider (2006: 325).

³³⁶⁵ Dieser *Holismus*, Quines (1981) dritter Schritt seiner *fünf Meilensteine des Empirismus*, stellt darauf ab, dass es bei Theorien immer um *Theorien als Ganzes* geht; nicht der einzelne Satz zählt, sondern das ganze System an Sätzen, vgl. Quine (1981: 70 f.).

³³⁶⁶ Vgl. auch B. Smith (2014).

über einzelne Leit- resp. Grundlagendisziplinen realisieren lässt. Das ist weder im Zuge des *methodologischen Reduktionismus* in der Variante des Logischen Positivismus Carnaps (1934a) bzw. in der Variante des radikalen Empirismus Quines (1975b, 1980, 1981) möglich, noch im Zuge eines *ontologischen Reduktionismus*, wie er sich etwa bei Oppenheim/Putnam (1958) in Form des Physikalismus (bei Quine auch: Naturalismus) findet.³³⁶⁷ Diese naturalistischen Reduktionismen stehen im Geiste des oben erwähnten ontologischen Sparsamkeitsprinzips, doch ist diese Strategie bei einer *emergentistischen Mehrebenenontologie* vollends verfehlt. Denn die Physik kann im Zuge des Physikalismus weder dieser als Leit- bzw. Basisdisziplin gerecht werden noch insgesamt das philosophische Fundament der Wissenschaften ersetzen. Entsprechend ist es weniger adäquat, wie Bunge (1983c: 171) zu konstatieren: »Physicalism is both an ontology and an epistemology«, als vielmehr, dass dieser mit ontologischen wie epistemologischen Positionen durchsetzt ist, ohne selbst über eine echte Ontologie bzw. Epistemologie zu verfügen bzw. sich hinreichend mit diesen in der erforderlichen Tiefe auseinanderzusetzen. Somit ist mit Schopenhauer (1859, II: 200) festzustellen: »Die Physik vermag nicht auf eigenen Füßen zu stehen, sondern bedarf einer Metaphysik, sich darauf zu stützen; so vornehm sie auch gegen diese thun mag«. Natürlich trifft analoges für jeden Biologismus zu. N. Wiener (1968: 200), als Begründer der Kybernetik mit transdisziplinärem Denken bestens vertraut, warnt entsprechend auch davor, »die Methoden der Naturwissenschaften auf die Gebiete der Anthropologie, Soziologie und Volkswirtschaft auszudehnen, in der Hoffnung, einen ähnlichen Erfolg auf sozialem Gebiet zu erreichen«.

Das ontologische Sparsamkeitsprinzip sollte nicht in dem Sinne missverstanden werden, dass es zulasten ontologischer Prinzipien wie etwa der Vollständigkeit von Ontologien (Ontological Completeness) führt.³³⁶⁸ Denn für die höheren Ebenen ist die Existenz von Objekten zu unterstellen, die es auf niederen gar nicht gibt, wie etwa soziale oder technologische Objekte. Diese besitzen ihre eigene Qualität, die sich nicht reduzieren lässt. Es ist richtig, dass eine Ontologie auf das Wesentliche zu reduzieren ist, nicht "übervölkert" werden darf. Doch das Sparsamkeitsprinzip ist hier ein anderes; ein für komplexe, emergentische Kontexte sinnvoller, nämlich jenes universaler Ontologie als exklusiver Ansatzpunkt der Transdisziplinarität. Demgegenüber laufen die tradierten Reduktionismen, die im Geiste unzeitgemäßer ontologischer Zielsetzungen stehen, regelmäßig auf eine Querdisciplinarität hinaus, die den einzelnen *emanzipierten Schichten* im Sinne Hartmanns (1940) schon im Ansatz nicht genügt. Das zeigt sich insbesondere dann, wenn mit Popper auch eine Welt 3 zugestanden wird. Physikalische oder biologische Theorien können solche Artefakte nicht bzw. nicht hinreichend erklären; nicht zuletzt auch deshalb lässt ein Materialismus oder ein Naturalismus sie auch regelmäßig nicht zu. Mit dem elementaren Stellenwert des Naturalismus, Empirismus und Holismus steht außer Frage, dass die oben be-

³³⁶⁷ Ein konsequent betriebener Reduktionismus sucht immer bis auf diese unterste Ebene zurückzugehen, vgl. hierzu auch Poser (1988: 117).

³³⁶⁸ Vgl. hierzu etwa Colomb/Weber (1998).

hauptete Quinesche (finale) Reduktion der philosophischen Ontologie auf die Analyse der Sprache ebenso nicht richtig sein kann. Vielmehr tritt bei Quine der methodologische Naturalismus an ihre Stelle,³³⁶⁹ zunächst im Sinne der – letztlich regionalen – Ontologie naturwissenschaftlicher Theorien, erst in letzter methodischer Konsequenz in Form der Mathematik und mathematischen Logik. Das Verständnis der Quineschen Ontologie fordert also den ganzen Quine mitsamt seiner naturalistischen, szientistischen Orientierung.

Mit Verweis auf die in Pkt. 6.2.2 behandelte Differenzierung zwischen revisionärer und deskriptiver Metaphysik Strawsons (1959) ist Quine *nicht*, wie offensichtlich vielfach in der Informatik angenommen wird, der deskriptiven Richtung zuzurechnen, sondern vielmehr der *revisionären*,³³⁷⁰ zu der auch bspw. Bunge zu zählen ist. Ausschlaggebend dafür ist Quines *Naturalismus* (wie ihn in anderer Form auch Bunge vertritt): Im Gegensatz zur deskriptiven Metaphysik, wie sie Strawson selbst vertritt – und in der die linguistische Tradition der Ontologie der Informatik wurzelt, stehen für ihn gerade *nicht* linguistische Aspekte im Vordergrund, mit denen Quine sich vordergründig beschäftigt. Aus dieser Analyse resultiert vor allem die Erkenntnis der Probleme linguistisch zentrierter Ansätze; vor dem Hintergrund des für Quine essentiellen Naturalismus ist auch Quines (1968) *ontologische Relativität* zu verstehen. Es bedarf also eines gewissen ontologischen Regulators. Damit geht es Quine nicht um ein spezifisches gegenwärtiges konzeptuelles Schema, sondern im Whiteheadschen Sinne genau im Gegenteil darum, dieses durch eine *neue Art des Denkens* über die Welt zu ersetzen: Und dieses neue konzeptuelle Schema wird dabei diktiert durch die moderne Naturwissenschaft, wobei bei Quine der Physikalismus dominiert, wenngleich eine naturalistische Hintertür offensteht.³³⁷¹ Quines Absicht besteht also nicht etwa in einer systematischen Semantik natürlicher Sprache, sondern darin, für eine Sprache zu werben, in der sich *so präzise wie möglich* unsere beste Theorie über die Welt ausdrücken lässt.³³⁷² Dies ist für Quine gerade nicht die natürliche Sprache, sondern die *Sprache der Naturwissenschaften*, in deren Sätze bereits für Wittgenstein (1921: § 6.53) das Maß aller Dinge (bzw. bei ihm: *Tatsachen*) besteht. Quines *methodologischer Naturalismus* soll dabei an jene Stelle treten, die bei Bunge für die *wissenschaftliche Metaphysik* reserviert ist:³³⁷³ »We might come to look to pure mathematics as the locus of ontology as a matter of course, and consider rather that the lexicon of natural science, not the ontology, is where the metaphysical action is.«³³⁷⁴ Insofern liegen Quine und Bunge in ihrem Naturalismus *in dieser Sache* gar nicht so weit auseinander.³³⁷⁵

³³⁶⁹ In diesem setzt Quine (2000) den Naturalismus *nicht* mit dem Physikalismus oder Materialismus gleich.

³³⁷⁰ Vgl. Glock (2003: 30), Shields (2003: 12) sowie Crane (2012: 45).

³³⁷¹ Vgl. Quine (2000: 121): »Ich vertrete den Physikalismus als eine wissenschaftliche Position, aber wissenschaftliche Gründe könnten mich dereinst davon abbringen, ohne mich vom Naturalismus abzubringen«.

³³⁷² Vgl. auch Crane (2012: 45).

³³⁷³ Vgl. auch Glock (2003: 30).

³³⁷⁴ Vgl. Quine (1976a: 504).

³³⁷⁵ Dennoch bestehen eine Reihe gravierender Unterschiede, insbes. jener, dass es sich bei Bunge um eine *Substanzontologie*, bei Quine jedoch um eine *Prozessontologie* handelt und Bunge im Unterschied zu

Kommen wir nun auf die Frage zu sprechen, inwiefern sich die Ontologie Quines als Referenzbasis für die AI-Ontologie Grubers (1993, 1995) bzw. für die ODIS-Ontologie Guarinos (1998) heranziehen lässt. Im Fall Grubers handelt es sich um das, was wir hier im Kontext der W2-Welt als *epistemische Objekte* bezeichnen; im Fall Guarinos um *Engineering Artifacts* der W3-Welt. Im Unterschied zu Gruber geht es Quine nicht um mentale Entitäten, also um jene der W2-Welt; wohl aber gibt es bei ihm im Sinne seines Klassenrealismus *abstrakte Entitäten*, und zwar im platonistischen Sinne: »It is an ontology of abstract entities, but not of mental ones. If our sets are ideas, they are ideas in a Platonic rather than a mentalistic sense.«.³³⁷⁶ Ashenhurst (1996) hat dieses – für *linguistische* Ontologien bestehende – Problem bei Quine (1980) erkannt, der in seinem Naturalismus die Existenz fiktiver Objekte ausschließt. Ashenhurst (1996: 322) setzt deswegen in seinem Eklektizismus analytischer Ontologie in dieser Sache nicht auf Quine, sondern auf Grossmann (1992). Nach Ashenhurst müsse man solchen Objekten existentiellen Status zuerkennen, weil auf sie referenziert und über sie gesprochen werden kann. Damit wird hier nochmals die Notwendigkeit einer strikten Trennung zwischen W1-Ontologie und W2-Ontologie offensichtlich. Demgegenüber geht es Quine in seinem extensionalen Platonismus allein um *Klassen*; technologische Artefakte im Sinne von Poppers W3-Verständnis fallen hingegen nicht darunter. Eine *Ontologie der Artefakte* ist offenbar mit Quine nicht zu machen.³³⁷⁷ Demgegenüber fallen seine physikalischen Objekte im Kontext seines Naturalismus in die W1-Welt. Insofern zeigt sich, dass Quines Ontologie weder eigentlich auf die W2-Welt zielt noch auf die W3-Welt echter ontologischer Artefakte. Augenscheinlich spielen die Drei-Welten auch in Quines Ontologie eine gewisse Rolle. Es handelt sich aber *nicht* um eine *Vierwelten-Ontologie* wie CYPO FOX; um eine *emergentistische* schon gar nicht.

Die Grenzen der Quineschen Ontologie sind damit in zehn Punkten ausgemacht: (i) sie kann keine Bezugsbasis für eine *integrierte Ontologiekonzeption* im Sinne der in Pkt. 3.5 umrissenen emergentistischen CYPO FOX bilden, weil sie in ihrem Naturalismus letztlich allein auf die Welt 1 fixiert ist. Aufgrund des strikten Empirismus bzw. Naturalismus handelt es sich – des Quineschen formalen Existenzquantors ungeachtet – nicht wie bei Whitehead (1929a) um eine prinzipiell digitalistische Metaphysik; vielmehr geht es um eine strikt naturalistisch-empiristische und damit letztlich erfahrungswissenschaftlich orientierte Ontologiekonzeption. Damit kann sie (ii) allerdings gerade mit Verweis auf die CPS-Anforderungen nicht die Grundlage für einen *einheitlichen Ontologiebegriff* der Informatik

Quine eine *wissenschaftliche Metaphysik* i.S. einer *Universalontologie* als allgemeinsten Theorie verfolgt, während Quine diese im Sinne seines methodologischen Naturalismus auf die Naturwissenschaften zu reduzieren sucht. In diesem Sinne steht er in Tradition Carnaps, mit dem Unterschied, dass Carnap einen *Physikalismus* verfolgt, während es bei Quine – etwas breiter gedacht – ein *Naturalismus* ist. Allerdings orientiert sich auch Quines Naturalismus primär an der Physik – nur will er sich auf diese nicht langfristig einschränken.

³³⁷⁶ Vgl. Quine (1976a: 503).

³³⁷⁷ Vgl. auch Thomasson (2009: 192).

stellen, was vielfach übersehen wird. Der Naturalismus im Sinne der Substitution philosophischer Ontologie durch letztlich regionale Ontologien naturwissenschaftlicher Theorien konfligiert vielmehr mit dem zentralen Moment *universaler* Ontologie. Somit wird (iii) deutlich, dass Quines Ontologie gerade keine *Universalontologie* ist. Insofern wäre es (iv) auch verfehlt, die *Top-level Ontologie* der Informatik auf ihr gründen lassen zu wollen. In der TLO-Debatte wird demgegenüber etwa mit Grenon/Smith/Goldberg (2004) der für den Naturalismus typische *Reduktionismus* zurückgewiesen; vielmehr favorisieren sie eine Pluralität alternativer, gleichbedeutend legitimer Perspektiven auf die Realität. Diese entspricht nicht nur den verschiedenen disziplinären Standpunkten, sondern vor allem auch einer transdisziplinären Mehrebenenontologie. Entsprechend kann es nicht überraschen, dass keine echte *Top-level Ontologie* auf die Quinesche Ontologie referenziert. Dies ist allenfalls im Eklektizismus analytischer Ontologie bei Ashenhurst (1996) der Fall, und dabei im Sinne solcher Eklektizismen auch nur partiell.

Es ist (v) festzustellen, dass neben der naturalistischen Ausrichtung vor allem Quines Verzicht auf die *spekulative Metaphysik* dafür verantwortlich ist, dass es sich nicht um einen universalontologischen Ansatz handeln kann.³³⁷⁸ Denn dieser kommt nicht um grundlegende Kategorien umhin, auf denen erst eine *allgemeinste Theorie* im Sinne Bunges gründen kann. Als besonders problematisch ist dabei zu werten, dass es sich auch bei Quines prozessualer Ontologie, die *Dinge als Ereignisse* konzipiert, zweifellos um eine – im Mainstream nicht völlig unumstrittene – metaphysische Position handelt: hier wird also schon mit dieser prozessualen Basiskategorisierung dezidiert *metaphysische Ontologie* betrieben ohne Metaphysik. Bzw. handelt es sich offenbar um eine metaphysisch verankerte Ontologie mit einem vermeintlich vorteilhaften antimetaphysischen Anstrich, wie es dem Geiste Carnaps entspricht. Wenn mit Quine von einer *realen* Existenz bestimmter Entitäten auszugehen ist, steht mit Strawson (1992) und F. Wilson (2011) außer Frage,³³⁷⁹ dass sich diese Entitäten kaum sinnvoll klassifizieren lassen ohne grundsätzliche wissenschaftsadäquate *Kategorien*. Und in diese Kategorialanalyse besteht die zentrale Aufgabe spekulativer Metaphysik, die Quine gerade zu überwinden trachtet. Denkt man Quines (1981) *Holismus* konsequent zu Ende, steht die Bedeutung einer solchen *allgemeinsten Theorie* vollkommen außer Frage. Weil (vi) eine solche allgemeinste Theorie allein *transdisziplinäre* Struktur besitzen kann, muss auch die Ontologie vollends emergentistisch sein, und zwar

³³⁷⁸ Insofern kann auch Westerhoffs (2002) Idee der kategorialen Bestimmung auf Basis einer naturalistischen ontologischen Theorie in Quinescher Tradition nicht überzeugen.

³³⁷⁹ Vgl. Strawson (1992: 46 f.): »The proposal is that, instead of asking: 'What are the objects of reference which survive the pressure of critical paraphrase, conducted on severely Quinian [sic!] principles?', we should ask: 'What are the most general categories of things which we *in fact* treat as objects of reference [...] and what are the most general types of predicates or concepts which we employ *in fact* in speaking of them?' Or, in other words: 'What are the fundamental types of individuals, properties, and relations which characterize the structure of our thought and what relations can be established among them?«.

Vgl. ferner F. Wilson (2011: 181): »The Quinean dictum, that to be is to be the value of a variable, for all its popularity, is not a safe guide to ontology. To be sure, ontology is the study of what is, what exists. But what it aims to provide is not a list of what is but a classification, a set of categories. The world, of course, has a structure«.

im Sinne von Hartmanns (1940) emanzipierten Schichten. Das aber ist die Quinesche Ontologie nicht, da sie in ihrem Naturalismus alles Geistige auf physikalische oder neurobiologische Grundlagen zu reduzieren sucht.³³⁸⁰ Quine (1952) vertritt in diesem Kontext einen *Eliminativen Materialismus*, wie er im Einklang mit seinem radikalen Empirismus steht. Insgesamt handelt es sich mit Bunge (1990a) um einen *"one-level materialism"*, der an emergentistischen Sachverhalten komplett vorbeigeht. Demgegenüber verlangt das Ziel der Transdisziplinarität die Aufgabe jeglicher Reduktionismen, sowohl des Naturalismus als auch speziell des Physikalismus.

Entsprechend macht (vii) dieser Naturalismus im Zuge der *naturalisierten Ontologie* auch nicht vor einer *naturalisierten Epistemologie* halt, wenn mit Quine (1981: 72) gilt: »Naturalism does not repudiate epistemology, but assimilates it to empirical psychology«. ³³⁸¹ Für Quine (1974) endet der *befreite Erkenntnistheoretiker* entsprechend als empirischer Psychologe.³³⁸² – Es stellt sich nur mit Blick auf die anders gelagerten Erkenntnisinteressen der AI-Tradition wie in der philosophischen Ontologie-Epistemologie-Kombination die Frage, ob in einer solch naturalisierten Epistemologie nicht eher eine fundamentale Einschränkung der Forschungsfreiheit zu sehen ist als eine angebliche Befreiung. Janich (2001) warnt mit Blick auf die Ontologie der Informatik mit explizitem Bezug auf Quine eindringlich vor solchen naturalistischen Epistemologien und dem damit zusammenhängenden Szientismus,³³⁸³ er vertritt als Verfechter des Methodischen bzw. Erlanger Konstruktivismus demgegenüber eine ihr entgegengesetzte kulturalistische Position.³³⁸⁴ Aus der Kontroverse solcher gegensätzlichen Positionen ist C.P. Snows (1959) These von den *zwei Kulturen* hervorgegangen.³³⁸⁵ Gewiss hat diese These unmittelbare ontologische

³³⁸⁰ Vgl. hierzu generell Suppes (1991).

³³⁸¹ Andere Naturalisten wie Bunge gehen konsequent weiter, indem sie die Psychologie wiederum auf die *Neurobiologie* reduzieren, was mit dem *Eliminativen Materialismus* Quines (1952) kompatibel ist.

³³⁸² Quine (1974: 3): »Our liberated epistemologist ends up as an empirical psychologist, scientifically investigating man's acquisition of science. [...] He no longer dreams of a first philosophy, firmer than science, on which science can be based; he is out to defend science from within, against its self-doubts«.

³³⁸³ Eine explizite Referenz auf Quine, der in seinem radikalen Empirismus die Metaphysik ablehnt, findet sich beispielsweise bei Kanitscheider (2006). Dessen Naturalismusverstandnis geht so weit, dass es zugleich eine *naturalistische Anthropologie* impliziert, vgl. etwa Kanitscheider (2000: 146), wie sie auch Vollmer (2000) fordert. Wissenschaftsdisziplinen, die eigentlich in Richtung des Kulturalismus gehen, werden somit in naturalistischer Weise zu Vereinnahmungen versucht. Indessen wird ein solcher Imperialismus bzw. Szientismus von Vertretern des Kulturalismus entschieden abgelehnt, vgl. etwa Hartmann/Janich (1996, 1998) sowie Janich (1996, 2000).

³³⁸⁴ Vgl. hierzu auch Janich (1996, 2000). Dieser Konflikt zwischen Naturalisten und Kulturalisten hat bekanntermaßen eine lange Tradition; verwiesen sei nur auf die Südwestdeutsche Schule der Philosophie, die etwa mit Rickert (1899) die Kulturwissenschaften gegenüber den Naturwissenschaften methodologisch strikt abzugrenzen suchte. Dieser Konflikt findet sich aber auch zwischen Ostwald (1902: 163 ff.), der ein *energetisches Weltbild* mit dem Ziel erschuf, eine »Weltansicht ohne die Benutzung des Begriffs der Materie ausschliesslich aus energetischem Material aufzubauen«, vgl. Ostwald (1902: 165), und Max Weber (1909). Denn Ostwald (1909) scheute sich nicht, dieses energetische Weltbild auch auf die Kulturwissenschaften zu projizieren, wogegen sich Max Weber (1909) wiederum strikt verwahrte. Wie für Weber und andere evident war, dass die grundlegenden naturwissenschaftlichen Theoreme niemals die essentielle Grundlage der Kultur- resp. Sozialwissenschaften werden bilden können, gilt diese Sichtweise mit dem Aufkommen verschiedener Strömungen heute nach wie vor.

³³⁸⁵ Es ist letztlich der Cartesische Dualismus von Geist und Materie, der zu der Ausbildung dieser tiefen Kluft zwischen den Geistes- und den Naturwissenschaften geführt hat, die C.P. Snow (1959) mit seiner

Relevanz, indem sich mit ihr mit Blick auf eine *integrierte Ontologiekonzeption* zwangsläufig die Frage einer neutralen, universalen Integrierbarkeit stellt. Und dann wird deutlich, dass beide polarisierenden Positionen, sowohl der Naturalismus als auch der Kulturalismus vor dem Hintergrund, dass die *Einheit der Natur* im Sinne des Kantischen Regeluniversums auch eine *Einheit der Wissenschaft* impliziert, offenbar falsch sind.³³⁸⁶ Ontologie zielt tatsächlich auf die *ganze* Erfahrungssphäre, d.h. ungeachtet ihrer primären Stellung nicht allein auf die natürliche Welt, sondern genauso auf die soziale Welt wie auch auf die technologische Welt. Ontologie ist W1- bis W4-Ontologie. Mit dem alles bestimmenden Naturalismus, der in Kombination mit seinem Empirismus auf die Naturwissenschaften weist,³³⁸⁷ wird deutlich, dass es sich bei der Quineschen Ontologie letztlich um eine *regionale* Ontologie, nicht etwa um eine universale handelt. Quines Ontologie fehlt gerade jenes universalontologische Moment, das für die Informatik vollkommen unverzichtbar ist. Denn konzeptuelle wie semantische Modelle wie auch das Ontologiekonzept insgesamt müssen von transdisziplinärer Verfassung sein. Und das ist Quines Ontologie gerade nicht: Eine Einheit der Erkenntnis, des Wissens wie insgesamt eine Einheit der Wissenschaften kann auf Basis des Naturalismus deshalb nicht gelingen, weil Hartmanns (1940) ontologische Schichten sich selbst genügen und sich auch nicht auf tieferliegende Schichten reduzieren lassen. Eine Universalontologie, die tatsächlich transdisziplinär ist, kann nicht naturalistisch veranlagt sein.

Das zentrale Kriterium der integrierten Ontologiekonzeption kann Quines Ansatz (viii) auch insofern nicht erfüllen, als ihm Whiteheads *Subjekt-Superjekt* fremd ist, während es bei Quine im Sinne des Inkommensurabilitätsproblems gleichzeitig gerade um die W2-

These von den *zwei Kulturen* beschrieb. Der Physiker Feynman (1967: 58) sah die Ursache für die Existenz der durch Snow differenzierten beiden Kulturen in einem fehlenden Mathematikverständnis der anderen Seite, um die Welt als Einheit begreifen zu können. Tatsächlich aber ist das Voraussetzen dieser Einheit nur dann möglich, wenn die mathematische Methodologie auf eine *Metaphysik* referenziert, über die sich diese Einheit im Sinne Whiteheads (1929a) erst tatsächlich begründen lässt. Das Voraussetzen dieser Einheit ist selbst also ein metaphysischer Akt, der rational durch ein metaphysisches System darzulegen ist. Ironischerweise wird mit Blick auf die Spaltung der zwei Kulturen wiederum gerade Feynman durch einen anderen Physiker, nämlich Farmer, dafür kritisiert, dass ihm im Gegensatz zu älteren Physikern wie Einstein die philosophische Grundbildung fehle, vgl. J. Doyne Farmer in Brockman (1995: 28 f.). Später prophezeit Snow (1964) eine *dritte Kultur*, die die Kluft zwischen den beiden Wissenschaftspolen überwinden wird. Positionen, wie jene Mayrs (2002) zur *Autonomie der Biologie*, erweisen sich heute als Relikte der Vergangenheit. Mit der Komplexitätsforschung geht Snows (1964) *dritte Kultur* auch tatsächlich in Erfüllung. Allerdings reicht diese in ihrem bisherigen Zuschnitt nicht aus, um auch Brockmans (1995) Vorstellung davon gerecht zu werden, da diese kosmologischer Provenienz ist: »The third culture consists of those scientists and other thinkers in the empirical world who, through their work and expository writing, are taking the place of the traditional intellectual in rendering visible the deeper meanings of our lives, redefining who and what we are«, vgl. Brockman (1995: 17).

³³⁸⁶ In methodologischer Hinsicht gilt entsprechend, dass der Dualismus zwischen einem *nomothetischen Theorietypus* auf Seiten der Naturwissenschaften, und einem *idiographischen Theorietypus* auf Seiten der Geistes- resp. Kulturwissenschaften mit Blick auf die Einheit der Wissenschaften nicht zu verteidigen ist. Grundsätzlich gilt mit Popper ihre Einheit. Entsprechend relativieren bereits Windelband und Rickert den gezeichneten Gegensatz zwischen beiden Typen, und so besteht dieser Gegensatz bereits für Windelband (1894: 12 f.) nur in der Behandlung des Wissens, nicht in seinem Inhalt, und für Rickert (1902: 528 ff.) nur der Tendenz nach und hängt bei ihm jeweils mit dem Ziel der jeweiligen Wissenschaften zusammen.

³³⁸⁷ Insofern ist der *Naturalismus* bei Quine gewiss nicht allein ein *methodologischer* Naturalismus.

W1-Problematik geht. Ein Kategoriensystem im Sinne ontischer bzw. epistemischer Kategorien gibt es bei Quine genauso wenig wie ihre Differenzierung an sich. Bei Quine gibt es allein mathematische Kategorien und die Ontologie wird entsprechend in Ablehnung aller Metaphysik auf die Mathematik und Logik im Zusammenspiel mit dem Empirismus reduziert. In Verbindung mit dem fehlenden W4-Ontologietypus ist die Quinesche Ontologie (ix) nicht MAS-adäquat. Sie ist aber vor allem auch (x) nicht CPSS-adäquat, indem ihr einerseits ein Realitätsbegriff fremd ist, der auf eine erweiterte Realität (*Augmented Reality*) bzw. synthetische Realität zielt und diese in kausaler Hinsicht adressieren kann. Damit zusammenhängend kann sie auch nicht die W1-W3-Interdependenz abbilden geschweige denn die Welt 3 überhaupt sachgerecht adressieren. Insgesamt fehlt ihr die technologische Ausrichtung, was gerade auch daran deutlich wird, dass sie eigentlich keine möglichen Welten zulässt bzw. Quine diesen höchst kritisch gegenübersteht. Dieses Problem resultiert jedoch daraus, dass auch die Quinesche Ontologie eine Monoweltenontologie, keine Mehrweltenontologie darstellt und dass ihr eine Metaphysik mitsamt nachgeordneter *Mögliche-Welten-Semantik* fehlt. Alles was es gibt, sind in Quines universaler "physical-object"-Ontologie allein physikalische Objekte. Insofern steht die Quinesche Ontologie mit ihrem Empirismus im traditionellen Existenzsinne, nicht etwa in jenem von Meinongs (1913) *Objekttheorie*. Demnach kann auch bei Quine die These vom universalen Charakter der physikalischen Sprache gelten, wie sie etwa bei Quine (1977) zum Ausdruck gelangt: sie ist die universale Sprache zur Darstellung bzw. Erfassung der Wirklichkeit.

Wie auch immer man die Kritik Janichs (2001) sehen mag, in jedem Fall ist festzustellen, dass eine AI-Epistemologie mit einer empirischen Psychologie insgesamt gesehen wenig anfangen kann, insbesondere wenn diese – wie bei Quine – einen Ausschlielichkeitsanspruch stellt. Denn Quines Epistemologie widmet sich genau *einer* Klasse von Agenten bzw. Automaten: »It studies a natural phenomenon, viz., a physical human subject«,³³⁸⁸ wobei sich dieses Studium im Sinne von Quines radikalen Empirismus wesentlich um *beobachtbare* Reizsituationen der Sinnesrezeptoren drehen soll. In diesem Zusammenhang ist auch Quines *Behaviorismus* zu sehen, wobei der naturalisierten Erkenntnistheorie als Ausgangspunkt und Datenbasis allein das menschliche Sprachverhalten zur Verfügung steht. Eine derartig verfasste Erkenntnistheorie kann selbstverständlich für Simons (1992) *Epistemologie für Computer*, wie sie in direkter Verbindung mit der AI-Ontologie steht und als Referenzbasis für die Diskussion Künstlicher Intelligenz fungieren können sollte, *allein* kaum einen geeigneten Zugang zur W2-Ontologie darstellen. Vielmehr führt gerade eine universale agentenbezogene Epistemologie zur Notwendigkeit, sich auch wieder mit jenen Grundfragen auseinanderzusetzen, die in das Feld der klassischen Erkenntnistheorie fallen.³³⁸⁹ Das erscheint nicht nur mit Blick auf die Frage der Wahrmacher geboten, sondern

³³⁸⁸ Vgl. Quine (1969a: 82).

³³⁸⁹ Genauso sind auch andere Varianten der Erkenntnistheorie im Kontext von AI-Agententheorien neu zu interpretieren; allen voran die *Evolutionäre Erkenntnistheorie*.

vielmehr in Bezug auf eine Vielzahl klassischer grundlegender Fragen.³³⁹⁰ Das gilt selbst dann, wenn Simon auch die Informatik für eine *empirische* Disziplin hält,³³⁹¹ seine Kognitionspsychologie mit Quines empiristischer Psychologie korrespondiert, und beide dabei einen Behaviorismus vertreten.³³⁹² Auch der Umstand, dass Simon Computer wie menschliche Gehirne als *physikalische Symbolsysteme* versteht,³³⁹³ deckt sich mit Quines Physikalismus resp. Naturalismus. Indessen reichen bestimmte Spielarten des Naturalismus noch über Quines (1975b) *naturalisierte Erkenntnistheorie* hinaus, indem diese konsequenterweise mit Giere (1985) so weit gehen, eine *naturalisierte Wissenschaftstheorie* vollziehen zu wollen.³³⁹⁴ Damit wäre dann die Philosophie vollends überwunden; tatsächlich aber wird damit der Irrsinn des ganzen Unterfangens umso offener.

Die Philosophie lässt sich letztlich nicht überwinden; vielmehr ist Quines (1953a: 446) Maxime, »that [...] philosophy of science is philosophy enough«, offenbar nur zu halten, wenn man mit Ladyman (2002) die »*Philosophy of science as epistemology and metaphysics*« voraussetzt. Tatsächlich ist die Forderung weit verbreitet, dass jedes wissenschaftliche Forschungsprogramm einer in sich konsistenten Ontologie, Epistemologie und Methodologie bedarf;³³⁹⁵ dieses Fundament ist bei *jeder* Theorie vorhanden, auch wenn es oftmals nur unsichtbar bzw. lediglich implizit gesetzt ist.³³⁹⁶ Dabei sind diese drei Bereiche mit Bunge (1969) von interdependenter Natur und damit in Sicherung ihrer Konsistenz notwendig auf einen Ursprung zu beziehen, der nur in der *Metaphysik* bestehen kann. Denn nur sie ist in der Lage, sich in ihrem Wesen selbst zu begreifen, und sich in ihrer Möglichkeit selbst zu begründen.³³⁹⁷ Sie ist in letzter Konsequenz *Grundwissenschaft*, da sie auch den letzten Grund alles Seienden und unseres Wissens um Seiendes zu ergründen hat.³³⁹⁸ Steht die Bedeutung der Philosophie zur fundamentalen Referenz im Bereich der CM-Ontologie gänzlich außer Frage, gilt analoges auch für die KR- bzw. AI-Ontologie: Gerade die AI-Tradition kommt, wie bereits in Pkt. 1.1 dargelegt, an der Philosophie in keiner Weise vorbei, was auch McCarthy (1988) als einer ihrer zentralen Vordenker nachdrücklich betont:

»Artificial intelligence cannot avoid philosophy. If a computer program is to behave intelligently in the real world, then it must be provided with some kind of framework into which to fit particular facts it is told or discovers. This amounts to at least a fragment of some kind of philosophy, however naive. Here we are agreeing with philosophers advocating the study of philosophy who claim that

³³⁹⁰ Solche für eine universale Konzeption relevante Grundfragen beginnen mit der Klärung der Frage, was *Erkenntnis* heißt; führen über die Bestimmung des Subjekts der Erkenntnis und was als Gegenstand der Erkenntnis zu gelten hat und münden etwa in der Debatte, unter welchen Bedingungen Erkenntnis überhaupt möglich ist. Im Kontext der unter Pkt. 3.5 erwähnten Agententheorien sind solche Aspekte vor dem Hintergrund von Klasse-4-Metaphysiken problemlos zu diskutieren.

³³⁹¹ Vgl. Newell/Simon (1976: 105) sowie H.A. Simon (1995a).

³³⁹² Vgl. etwa Simon (1990).

³³⁹³ Intelligentes Verhalten ist nach Newell/Simon (1976) insgesamt nur auf Basis solcher *physikalischen Symbolsysteme* möglich.

³³⁹⁴ Vgl. hierzu kritisch Siegel (1989).

³³⁹⁵ Vgl. etwa Ayala (1974).

³³⁹⁶ Vgl. auch Bunge (1996: 189): »Yet, there is no scientific research without an ontological, epistemological, and moral basis, even if this is usually hidden«.

³³⁹⁷ Vgl. Coreth (1994: 29).

³³⁹⁸ Ibid.

someone who purports to ignore philosophy is merely condemning himself to a naïve philosophy.«³³⁹⁹

Mit McCarthy (1988) wird nochmals offensichtlich, dass in diesem Bezug von AI und Philosophie auch beide Ontologieverständnisse kohärent zu sein haben. AI-Vertreter, die einen Gegensatz zwischen AI-Ontologie und philosophischer Ontologie konstatieren wollen, bedürfen offenbar umso mehr einer umfassenden Auseinandersetzung mit der Metaphysik. Denn ohne das unabdingbare metaphysische Grundverständnis muss es zwangsläufig bei solchen Irrtümern bleiben. Die Metaphysik als Erste Philosophie sei hier betont, denn die Quinesche Ontologie stellt gerade keinen geeigneten Bezugspunkt zum Verständnis philosophischer Ontologie dar. Denn sie kann weder die notwendige philosophische Grundlegung im Sinne eines philosophischen Gesamtsystems leisten, noch kann sie mit einem geschlossenen metaphysischen Kategoriensystem aufwarten. Beides ist jedoch zur Fundierung der *Top-level Ontologie* der Informatik zentral. Indessen gibt es zahlreiche Alternativen. Quines Versuch die Metaphysik zu überwinden,³⁴⁰⁰ ist wie sein Versuch die Epistemologie rein auf Grundlage der Psychologie naturalistisch zu fassen,³⁴⁰¹ vollständig gescheitert. Das zeigt nicht zuletzt die analytische Metaphysik, mit der implizit eingestanden wird, dass sich weder die Metaphysik noch die Ontologie durch Sprachphilosophie bzw. logische Analyse der Sprache überwinden lassen.³⁴⁰² Wenn Quine zu den bekanntesten Naturalisten zu zählen ist, kann dies kaum ohne Konsequenz für den Naturalismus selbst bleiben. Das gilt auch dann, wenn sein Ansatz mit dem allgemeinen Naturalismusverständnis konfligiert.³⁴⁰³ Dessen Begriff ist insgesamt hochgradig ambig und wird mittlerweile entsprechend berechtigterweise als wenig aussagekräftig aufgefasst.³⁴⁰⁴

Schon Strawson (1987: 13) hat festgestellt, dass der "Naturalismus" ein "dehnbarer Begriff" ist, und dass es entsprechend naheliegt, zwischen verschiedenen Arten von Naturalismus zu unterscheiden. Nach Keil (1993), der ein ausgewiesener Kenner der Naturalismusdebatte ist, hat der *Naturalismus* – etwa gegenüber dem Physikalismus und Materialismus – »gerade aufgrund seiner Allgemeinheit und Vagheit überlebt«. Allerdings befindet er sich seiner Meinung nach heute im Zeichen der verschiedensten Versuche seiner Neuinterpretation in gleicher Weise wie der Physikalismus oder Materialismus auf einem

³³⁹⁹ McCarthy (1988: 243 f.).

³⁴⁰⁰ Vgl. Quine (1981).

³⁴⁰¹ Vgl. Quine (1975b).

³⁴⁰² Vgl. hierzu auch Runggaldier (2007: 57).

³⁴⁰³ Vgl. zu einer Fundamentalkritik des *Quineschen Naturalismusverständnis* Koppelberg (2000, 2007).

³⁴⁰⁴ Hierzu gehört nicht nur die Differenz zwischen *hartem* und *weichem* Naturalismus bzw. zwischen dem *starken* und *schwachen* erkenntnistheoretischen Naturalismus, sondern auch die mit dem weichen resp. schwachen Naturalismus zusammenhängende Tatsache, dass auch Vertreter der *wissenschaftlichen Metaphysik* wie etwa Bunge als *Naturalisten* bezeichnet werden. Analoges gilt für Whiteheads wissenschaftsadaquate *spekulative Metaphysik*, vgl. etwa Hampe (1990); vgl. ähnlich Urban (1941). Bei Conner (2009) und der zugehörigen Replik Howes (2009) wird deutlich, dass solche Kategorisierungen mitunter im Kontext theistischer Erwägungen erfolgen, vgl. hierzu insbes. die *Naturalismusdefinition* Conners (2009: 180). Der Naturalismusbegriff ist also mit seiner extremen Bandbreite weitgehend aussagenlos geworden; er bedarf auf jeden Fall immer eines konkretisierenden Adjektivs.

»verzweifelten Rückzugsgefecht«.³⁴⁰⁵ Quines Naturalismus ist ganz offensichtlich übertrieben, vor allem wenn man fragt, was davon im Kern wirklich zwingend ist: das ist, methodologisch gesehen, bei genauerer Betrachtung vor allem eines, nämlich das, was der *Kritische Rationalismus* Poppers verkörpert, auf den Quine (1987: 8) in seinem Empirismus auch explizit abstellt. Mit den aufgezeigten Problemen, die Quines *naturalisierte Epistemologie* mit sich bringt, spricht vieles dafür, diesen Kern Quines im Original zu belassen; d.h. im Gesamtsystem Poppers. Denn dieses ist nicht nur mit der philosophischen Ontologie resp. Metaphysik vereinbar, sondern belässt auch der klassischen Erkenntnistheorie ganz entschieden ihren Platz. Es ist diese, die für die AI-Tradition ihre Relevanz besitzt, wie es etwa auch die in Pkt. 3.3 erwähnte, durch Hayes und andere verfochtene *Android Epistemology* offenbart.³⁴⁰⁶ Auch vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die AI-Tradition mit Poppers erkenntnistheoretischer Position besser beraten ist als mit Quines *naturalisierter Epistemologie*. Das gilt umso mehr, als Popper mit der durch ihn ebenfalls vertretenen *Evolutionären Erkenntnistheorie* zeigt,³⁴⁰⁷ dass er in der Epistemologiefrage für naturalistische Standpunkte durchaus offen ist. Natürlich steht außer Frage, dass die Poppersche erkenntnistheoretische Position im AI-Kontext genauso einer Neuinterpretation bedarf wie die damit zusammenhängende *Drei-Welten-Lehre*, wie sie in Pkt. 3.5 vollzogen wurde.

Tatsächlich ist der Naturalismus heute in *konzeptioneller* Hinsicht *post-Quine*; das betrifft etwa den Realismusbegriff oder die Metaphysikfrage. In beiden Fällen werden oftmals die Quineschen Positionen durch die Popperschen ersetzt. Das gilt etwa für die Naturalismusposition des Sozialphilosophen und Soziologen Habermas (2005: 157), die mit Blick auf die wissenschaftliche Transdisziplinarität und universale Ontologie von Interesse ist. Habermas vertritt einen "nicht-szientistischen" oder "weichen" Naturalismus, für den allgemein ein *ontologischer Realismus* kennzeichnend ist,³⁴⁰⁸ bekämpft aber gleichzeitig den "harten" resp. "szientistischen" Naturalismus samt seines Reduktionismus vehement:

»Ich vertrete einen nicht-szientistischen oder ‚weichen‘ Naturalismus. Nach dieser Auffassung ist alles und nur das ‚real‘, was in wahren Aussagen dargestellt werden kann. Aber die Realität erschöpft sich nicht in der Gesamtheit der regional beschränkten Aussagen, die nach heutigen Standards als wahre erfahrungswissenschaftliche Aussagen zählen.«³⁴⁰⁹

Habermas votiert entsprechend ebenso für die *Drei-Welten-Lehre* Poppers. Dass das "real" ist, was sich mit Habermas in "wahren Aussagen" darstellen lässt, korrespondiert letztlich insofern mit der *Realität aller drei Welten*, als es für jede der Welten unterschiedliche, wie jeweils auf sie zugeschnittene Wahrmacher gibt. Analoges gilt dann für die in Pkt. 3.5 abgegrenzte vierte Welt. Auf dieser Wahrmacher kommen wir in Pkt. 6.2.8 zurück. Letztlich fordert Habermas damit implizit eine transdisziplinäre universale Ontologie, die kein Naturalismus ohne einen philosophischen Überbau bewerkstelligen kann. Denn die Ontologien der einzelnen Naturwissenschaften sind, was gerne übersehen wird,

³⁴⁰⁵ Vgl. Keil (1993: 10 f., 389).

³⁴⁰⁶ Vgl. hierzu Ford/Glymour/Hayes (1995, 2006) sowie Glymour (2000).

³⁴⁰⁷ Vgl. hierzu Popper (1973, 1974b, 1987a) sowie ergänzend Popper/Lorenz (1985).

³⁴⁰⁸ So etwa bei Vollmer (1993: 161-181) oder bei Bunge/Mahner (2004: 10, 211).

³⁴⁰⁹ Habermas (2005: 157).

gewiss genauso regional resp. spezifisch, wie die Ontologie jeder anderen Erfahrungswissenschaft. Denn sie sind jeweils auf eine ganz bestimmte Domäne bzw. Erfahrungssphere mitsamt spezifischen Erkenntnisinteresse und Perspektiven ausgerichtet. Nicht aber auf die Whiteheadsche Cyber-Physik. Die Option der Informatik wie aller Disziplinen besteht nicht in einem "*Pro oder Contra Metaphysik*", sondern vielmehr mit Bunge (1967a: 92) allein darin, zwischen guter und schlechter Metaphysik zu wählen. Dabei ist "*schlechte Metaphysik*" letztlich das, was die Protagonisten eines starken Naturalismus explizit als *Antimetaphysik* preisen, indem mit Habermas (2005: 215) gilt: »Die Ontologisierung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu einem naturalistischen, auf 'harte' Fakten geschrumpften Weltbild ist nicht Wissenschaft, sondern schlechte Metaphysik«. Natürlich lassen sich W4-Sachverhalte nicht auf W1-Sachverhalte reduzieren. Daher ist der Kritische Rationalismus, wie er in Quines Empirismus bemuhrt wird, im Kontext von CYPO FOX durch eine *metaphysische Ontologie* der Klasse 4 zu ergänzen. Erst die Kombination von beidem kann eine *universale Ontologie* über alle vier Welten faktisch gewährleisten. Popper selbst hat zu der notwendig werdenden metaphysischen Fundierung eindeutige Präferenzen.³⁴¹⁰

Die Grenzen des Quineschen Naturalismus seien an einem weiteren Fall illustriert: Offensichtlich läuft das, was unter *Naturalismus* verstanden wird, oftmals auf Poppers Kritischen Rationalismus hinaus, so auch bei Vollmer (2000), der ihn explizit für den Naturalismus heranzieht. Wenngleich Quine (1981) mit seinem radikalen Empirismus die Metaphysik zu überwinden sucht, steht heute für die meisten Naturalisten explizit außer Frage, dass man in der Wissenschaft nicht ohne Metaphysik auskommen kann: »all science presupposes some metaphysics«. ³⁴¹¹ Vor diesem Hintergrund fordern Vollmer (2000) und andere eine Art *Minimalmetaphysik*. Dabei spricht auch Wendel (1993: 104) von einem »Minimum an Metaphysik«, dass der Naturalismus voraussetzen muss, wobei das »Vorschlagen und Prüfen solcher vorempirischer metaphysischer Annahmen« ein Wirkungsfeld philosophischer Forschung sei, dass durch keine wissenschaftliche ersetzbar ist. Diese Feststellung wendet sich bei Wendel (1993) explizit gegen die naturalistischen erkenntnistheoretischen Programme, zu denen unter anderem auch die naturalistische Epistemologie Quines zu rechnen ist. Indessen ist die These von einer *Minimalmetaphysik* unhaltbar, nämlich bereits insofern, als sie die gängige Systematik der Metaphysik verkennt. Metaphysik ist immer *metaphysica generalis*, mithin *Ontologie*, die wiederum zur Evaluierung ihrer Kategorien der *metaphysica specialis* als *spekulativer Metaphysik* bedarf. Metaphysik ist daher immer die ganze Metaphysik; entsprechend lässt sich auch keine Naturphilosophie im Sinne von Wolffs (1730) *rationaler Kosmologie (cosmologia rationalis)* aus der Gesamtsystematik zur Fundierung des Naturalismus isolieren. Es geht nicht um *Minimalmetaphysik*, sondern um "gute" Metaphysik, und das kann mit Verweis auf eine zur Wissensrepräsentation unabdingbare *Top-level Ontologie* allein eine Klasse-4-Metaphysik

³⁴¹⁰ Vgl. Popper/Eccles (1977: 7).

³⁴¹¹ Vgl. Bunge (1977a: 17), ohne Hvh. des Orig.; vgl. dazu auch Vollmer (2000: 50 ff.) sowie Riedl (2000).

sein. Denn nur auf ihrer Grundlage lässt sich die *Top-level Ontologie* tatsächlich universal konzipieren, so dass sie sämtlichen techno-wissenschaftlichen Belangen wie der CPSS-Adäquanz entspricht, die mit der Cyber-Physik vorauszusetzen ist.

Ungeachtet ihrer letztlich Unhaltbarkeit für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bzw. für eine integrierte Ontologiekonzeption steht das große Verdienst der Quineschen Ontologie außer Frage. Das nicht nur in dem Sinne, dass sich auf Basis ihrer Defizite wesentliche Anforderungen an eine integrierte Ontologiekonzeption formulieren lassen, etwa, dass sie nicht von naturalistischer, sondern letztlich allein von *metaphysischer* Verfassung sein kann. Vielmehr überzeugt die Quinesche Ontologie auch im substantiellen Sinne, wobei insbesondere fünf Punkte hervorzuheben sind: Die Quinesche Ontologie zeigt (i) wie kein anderer Ontologieansatz das generelle *Inkommensurabilitätsproblem* von Ontologien auf: für Quine (1980) ist die *Übernahme einer Ontologie* ähnlich der Übernahme einer wissenschaftlichen Theorie zu sehen, etwa eines Systems der Physik mitsamt seines Begriffsschemas. Das zeigt für Quine, dass die Ontologie durch das Begriffsschema determiniert ist. Die Übernahme einer Ontologie ist damit für Quine im gleichen Maße eine Angelegenheit der Sprache. In diesem Sinne lässt sich feststellen, dass *ohne* ein naturalistisches Korrektiv – im Sinne linguistischer Ontologie – dasjenige *existent* ist, wofür es nach vernünftiger Entscheidung Begriffe gibt. Ohne dieses naturalistische Korrektiv bleibt die Ontologie bei Wittgenstein stehen: die Kenntnis der Welt wird mittels Sprache erzeugt; die Welt existiert (im Sinne der W2-Ontologie) genau so, wie sie vom Subjekt *sprachlich* erzeugt wird. Entsprechend bedeuten mit Wittgenstein (1921) die »*Grenzen meiner Sprache* [...] die Grenzen meiner Welt«. ³⁴¹²

Quines Ontologie ist dann richtig verstanden, wenn man Quine genau zwischen Wittgenstein und Popper einordnet; denn er verbindet gerade beide Positionen. Wenn sich die Ontologie (als Weltmodell) durch das Begriffsschema determiniert zeigt, ist nicht nur evident, dass unterschiedliche Begriffsschemata unterschiedliche Weltmodelle erzeugen, sondern in der paradigmatischen Ontologieubernahme auch, dass Individuen Begriffe immer nur ähnlich, kaum aber wirklich gleich verstehen. In diesem Zeichen steht Quines zentrale sprachphilosophische These der Ubersetzungsunbestimmtheit, nach der sich Aussagen nicht präzise, sondern allenfalls angenähert in eine andere Sprache übersetzen lassen. Zwar gibt es für Quine keine objektiven bzw. neutralen Beschreibungen und Theorien; Quine spricht hier von einer *Unterbestimmtheit der Theorien* als Wissenssysteme gegenüber der Erfahrung. ³⁴¹³ Diese These steht bei Quine insgesamt in der Doktrin, »that natural science is empirically under-determined; under-determined not just by past observation but by all observable events«. ³⁴¹⁴ Offenbar sind die präzisesten Systeme vorzuziehen. Grundsätzlich bestehen diese für Quine in naturwissenschaftlichen Theorien. Dabei sind die von einer

³⁴¹² Vgl. Wittgenstein (1921: § 5.6), Hvh. im Orig.

³⁴¹³ Vgl. Quine (1960a).

³⁴¹⁴ Vgl. Quine (1975a: 313).

Theorie vorausgesetzten Gegenstände die Werte ihrer gebundenen Variablen.³⁴¹⁵ Mit der Unterbestimmtheit der Theorien gegenüber der Erfahrung geht ihre *ubersetzungsunbestimmtheit* einher, nämlich die prinzipielle Unmöglichkeit, Begriffe exakt in andere Sprachen zu übertragen. Auf eine analoge Ebene zur *Top-level Ontologie* gebracht folgt aus dieser – jenseits der Kuhnschen (1962) wissenschaftstheoretischen Untersuchungen stehenden – Argumentation die *prinzipielle Inkommensurabilität* heterogener TLO-Ansätze.

Damit zeigt die Quinesche Ontologie (ii) die deutlichen Grenzen der linguistischen Ontologie auf. Entsprechend werden auch die Gründe deutlich, warum Ontologen wie Whitehead der sprachlichen Analyse als grundsätzlicher ontologischer Methode keinen Wert zumessen und sie aufgrund epistemologischer Erwägungen schließlich ablehnen.³⁴¹⁶ Es bleibt jedoch das Verdienst Quines, diese Probleme herausgearbeitet und (in Form des Naturalismus) für sie einen Lösungsvorschlag unterbreitet zu haben. Gleichzeitig wird somit (iii) der Stellenwert ersichtlich, den der *empirische* Bezug ontologischer Aussagen tatsächlich besitzt. Dies gilt insbesondere mit Blick auf die AI-Ontologie, und ganz besonders in Hinsicht auf Grubers (1993, 1995) *epistemische Objekte*, während McCarthy (2000: 45) für die empiristische Ontologiekonzeption Quines votiert. Aber dieser empirische Bezug ist nicht nur für die Informatik, sondern gerade auch für die Philosophie von elementarer Bedeutung. Quines Gedanke einer Wissenschaftsphilosophie bzw. einer wissenschaftlichen Philosophie ist vom Grundsatz her bestechend, nur ist er im Sinne einer *wissenschaftlichen* Metaphysik und dann in aller Konsequenz zu vollziehen. Darüber hinaus ist es (iv) insbesondere die Ontologie Quines, mit der die grundsätzlich neue Qualität der mathematischen Logik – gegenüber der traditionellen formalen Logik – deutlich wird. Quine hat hierzu festgestellt: »Mathematical logic differs from the traditional formal logic so markedly in method, and so far surpasses it in power and subtlety, as to be generally and not unjustifiably regarded as a new science«. ³⁴¹⁷

Das Verhältnis zwischen Logik und Metaphysik resp. Ontologie ist bislang in aller Regel in der Sichtweise der *traditionellen* Logik untersucht worden, im Sinne von Sprachzusammenhangen oder allenfalls als Methodologie des Denkens.³⁴¹⁸ Dabei ist hervorzuheben, dass für gewöhnlich die traditionelle Logik als »radically different from ontology« verstanden wird.³⁴¹⁹ Es ist das Verdienst Bochenskis (1974), die Besonderheiten speziell der *mathematischen* Logik in ihrem Verhältnis zur Metaphysik bzw. Ontologie herausgearbeitet zu haben. Für Bochenski ist die mathematische Logik »not an ‘art of thought,’ but a theory of a sort of objects«. ³⁴²⁰ Entsprechend stellt schon Husserl (1929: 128) die Frage, ob

³⁴¹⁵ Vgl. Quine (1981).

³⁴¹⁶ Vgl. etwa Whitehead (1929a: 11 f., 137, 157 ff.).

³⁴¹⁷ Vgl. Quine (1965: 1), ohne Hvh. des Orig.

³⁴¹⁸ Selbst bei Russell (1957) als einem der Wegbereiter der mathematischen Logik ist das der Fall. Die Debatte zwischen E.J. Nelson (1949), Ambrose (1949), E.W. Hall (1949) sowie Nagel (1949b) zeigt sich durch diese verschiedenen Interpretationen der Logik geprägt.

³⁴¹⁹ Vgl. Bochenski (1974: 285).

³⁴²⁰ Ibid.

»die formale Logik [...] als formale Ontologie anzusehen« sei. Die mathematische Logik, so wie sie etwa in Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* grundgelegt wird, soll schließlich nicht weniger bewerkstelligen als dass die Mathematik von der Logik deduzierbar wird;³⁴²¹ oder, anders gewendet, dass die gesamte Mathematik in die Logik übersetzbar ist.^{3422, 3423} Damit ändert sich natürlich der Status der Logik grundsätzlich; nicht umsonst sieht auch Bochenski (1974) – wie Quine – mit dem Aufkommen der mathematischen Logik einen "radikalen" Bruch zur traditionellen Logik.³⁴²⁴ In der Entwicklung der Logik von Aristoteles zu Boole, mit dem schließlich Entscheidungsverfahren möglich werden,³⁴²⁵ sieht Bochenski (1974) nur eine große Ausnahme – und das ist Leibniz.³⁴²⁶ Da Leibnizens Logik bereits die Idee der mathematischen Logik vorwegnimmt, gestaltet sich bei ihm das Verhältnis zwischen Logik und Ontologie entsprechend automatisch in vollkommen anderer Weise als die ganzen Jahrhunderte vor ihm.

Quines Ontologie macht (v) im Rahmen ihrer naturalistischen Existenzaussagen auch offensichtlich, warum ein *exklusivistischer Vierdimensionalismus*, also eine echte *4D-Ontologie*,³⁴²⁷ eine *reine Prozessontologie* wie jene seines Lehrers Whitehead, eine richtige fundamentale meta-ontologische Entscheidung darstellt. Nach ihr existieren allein Ereignisse (bzw. Prozesse); Kontinuanten (Continuants) bilden dabei spezielle Arten von Prozessdingen.³⁴²⁸ In diesem Vierdimensionalismus gibt es keine Substanzen mehr; bei Quine werden sie als *physikalische Objekte* behandelt.³⁴²⁹ Mit der großen Rezeption Quines in der Informatik wird zudem offenbar, dass der Gedanke einer solch *exklusivistischen 4D-Ontologie als Prozessontologie* bereits in der Ontologie der Disziplin angekommen ist.

Die erzielten Einsichten mögen für die Ontologiediskussion der Informatik ernüchternd sein, denn tatsächlich wird Quines Ontologie – bei genauerer Analyse – keiner einzigen der eingangs gestellten sieben, für eine moderne integrative Ontologie objektiv nachvollziehbaren Anforderungen gerecht. Zwar weiß die Quinesche Ontologie in den fünf oben genannten substantiellen Punkten zu überzeugen und ist für die Ontologiediskussion von einigem Aufschluss, doch kann sie als zentrale ontologische Grundlegung einer *Ontologie komplexer IoX-Systeme* genauso wenig fungieren wie für die Informatik insgesamt. Der Diskurs um die Quinesche Ontologie ist auch insofern erhellend, als gerade sie in ihrem Empirismus das oftmals mit ihr assoziierte Grubersche (1993, 1995) Ontologieverständnis als völlige Fehlkonzeption *ad absurdum* führt. Offenbar sollte es die AI-Tradition in dieser Sache eher mit ihrem Vordenker McCarthy (2000: 45) halten. Dennoch kann in Quines

³⁴²¹ Vgl. Russell (1948b: 137); vgl. hierzu kritisch Putnam (1975a).

³⁴²² Vgl. Quine (1980: 80 f.).

³⁴²³ Vgl. auch Russell (1959: 74): »The primary aim of *Principia Mathematica* was to show that all pure mathematics follows from purely logical premisses and uses only concepts definable in logical terms«.

³⁴²⁴ Vgl. Bochenski (1974: 285).

³⁴²⁵ Vgl. auch Kneale/Kneale (1962: 420).

³⁴²⁶ Vgl. Bochenski (1974: 284 f.).

³⁴²⁷ Vgl. etwa Quine (1981: 10); vgl. hierzu auch bereits Quine (1960a: 255).

³⁴²⁸ Vgl. Quine (1960a: 171).

³⁴²⁹ Vgl. Quine (1981: 10).

Ontologie ein guter Referenzpunkt für die Ontologiedebatte bestehen; allerdings insgesamt offensichtlich keine Lösung. Insofern bleiben die im Folgenden behandelten Alternativen philosophischer Ontologie zu diskutieren. Insgesamt ist der Naturalismus nicht nur mit R.W. Sellars (1944a) nicht hinreichend, sondern vielmehr ist er im Sinne universaler Ontologie fehlleitend. Somit gilt mit R.W. Sellars (1944b: 694) im Zeichen der in Pkt. 4.1 umrissenen *wissenschaftlichen Metaphysik* »that epistemology and ontology are not impedimenta but ways of giving precision to the world-view growing out of science«.

Es wird oftmals übersehen, dass die Ontologie Quines letztlich eine *strikt wissenschaftliche* ist, die zudem reduktionistisch ist. Quines Ontologie folgt elementar einem strikten Realismus, Empirismus sowie einem Naturalismus mitsamt eines teils explizit betonten Hangs zu einem reformulierten Physikalismus,³⁴³⁰ der entgegen seinen offiziellen Verlautbarungen deutlich reduktionistische Züge besitzt.³⁴³¹ Daraus erwachsen eine ganze Reihe zentraler Probleme, die dazu führen, dass das Ontologieverständnis Quines für die Informatik als nicht passend zu werten ist. Indem Quinesche Ontologien letztlich auf *Scientific Ontologies* hinauslaufen, wird mit dem AI-Votum von McCarthy (2000) gleichzeitig deutlich, dass diese offensichtlich von zentralem Belang für die Disziplin sind.³⁴³² McCarthys (1995) Frage nach einem AI-adäquaten "*general world view*" kann sich selbstverständlich nicht auf einen Empirismus, Naturalismus oder physikalischen Reduktionismus, genauso wenig auf den *Scientific Realism* fixieren. Vielmehr haben McCarthy/Hayes (1969) den "*general world view*" schon insofern richtig konstituiert, indem sie dessen *metaphysische* Natur erkannt haben.

Die verschiedenen essentiellen Probleme der Quineschen Ontologie hängen damit zusammen, dass Quine *Ontologie* gerade *offiziell* nicht als metaphysische Ontologie versteht, wengleich Quines Ontologie in Wahrheit völlig mit metaphysischen Dispositionen durchsetzt ist.³⁴³³ Hierzu gehören etwa sein Bekenntnis zu 4D-Entitäten, sein darauf gründendes Objektverständnis, sein Nominalismus, seine Vorbehalte gegen mögliche Welten,³⁴³⁴ die damit zusammenhängenden spezifischen Identitätsbedingungen usf.³⁴³⁵ Für Quine-Kenner ist daher ausgemacht: natürlich ist Quine ein "analytic metaphysician",³⁴³⁶ allerdings ein

³⁴³⁰ Vgl. etwa Quine (1977: 187, 191).

³⁴³¹ Vgl. etwa die Ausführen zu *kausalen Erklärungen* bei Quine (1977: 196).

³⁴³² Das gilt auch dann, wenn Smith hinsichtlich etwa der Universalien und des Endurantismus in der aristotelischen Tradition steht, während Quine in dieser Hinsicht demgegenüber der Whiteheadschen Tradition verpflichtet ist.

³⁴³³ Rini/Cresswell (2012: 166) und andere liegen also richtig, wenn sie von "*Quine's metaphysics*" sprechen.

³⁴³⁴ Vgl. hierzu etwa Quine (1960a: 195 ff.).

³⁴³⁵ Quines (1981: 102) Diktum: »There is no entity without identity« ist in zweifacher Hinsicht von Relevanz: (i) in Bezug auf die umstrittene Voraussetzung möglicher Welten, sowie (ii) in Bezug auf das genauso umstrittene Universalienproblem. Ad (i) besteht für Quine das Grundproblem aller Possibilia primär darin, dass ihnen in Bezug auf die raum-zeitliche Extension die Identitatskriterien fehlen, um sie individuieren zu können. Demgegenüber gilt für physische Objekte mit Quine (1974: 140): »Every physical object is specifiable with help of spatiotemporal coordinates, and so can be named by a singular description«. Ad (ii) lässt Quine auch Universalien in Form von *Klassen* zu; allerdings gilt auch hier das Quinesche Diktum.

³⁴³⁶ Vgl. R.F. Gibson (1995: 426).

empirischer. Offiziell aber will sich Quine (1968: 185) ontologisch allein auf die Naturwissenschaften fixieren und behauptet: »There is no place for a prior philosophy«. Gewiss ist bei Quine damit primär die Klasse-1- bzw. Klasse-2-Metaphysik gemeint. Indessen ist die Ontologie Quines erst dann richtig verstanden, wenn die Unterschiede zur Klasse-3- und schließlich zur Klasse-4-Metaphysik herausgearbeitet sind. Erst dann lässt sich verstehen, was am Quineschen Ontologieverständnis tatsächlich für die Informatik zielführend ist – vor allem aber, welche zentralen Aspekte die Disziplin genauso in die Irre führen. Vor allem wird erst dann deutlich, warum die Informatik von Quine zurück zu Whitehead muss. Wenn die größte Verwandtschaft der Quineschen Ontologie zur Klasse-3-Metaphysik besteht, ist nach den Unterschieden und etwaigen Defiziten zu fragen. Der zentrale Unterschied liegt darin begründet, dass die Klasse-3-Metaphysik nicht bloß wie Quine einen Empirismus betreibt,³⁴³⁷ sondern vielmehr einen *Ratio-Empirismus* favorisiert. Das heißt, dass die wissenschaftliche Metaphysik ausgehend von erfahrungswissenschaftlichen Schlüsseltheorien am Versuch einer *empiristischen "Universalsynthese"* ansetzt, und diese in einem weiteren Schritt im Zuge des Rationalismus auf die Ebene einer allgemeinsten Theorie bringt. Diese allgemeinste Theorie besteht in einem spekulativen Entwurf eines Kategoriensystems, mit dem sämtliche Kategorien systematisch konzipiert und in eine universale Ordnung gebracht werden.

Bei Quine findet sich ein solches Kategoriensystem nicht bzw. nur sehr bedingt, indem man bei Quine nur dann von Kategorien sprechen kann, wenn diese nicht realontologisch gefasst sind, sondern mathematisch. Mit Quine (1977: 190) gilt: »The brave new ontology is [...] the purely abstract ontology of pure set theory, pure mathematics«. Vor diesem Hintergrund haben nur wenige die Quinesche Ontologie richtig verstanden; sie steht nämlich zu einem guten Teil im Geiste seines akademischen Lehrers Whitehead, der von der mathematischen Physik zur Ontologie gelangt ist, aber sie dennoch ganz anders konzipiert als Quine. Denn Quines Ontologie ist im Grunde ausschließlich wie unmittelbar auf die mathematische Physik fixiert, während die Whiteheadsche mit ihren universalen strukturalistischen Kategorien eine metaphysisch-transdisziplinäre ist. Bunge (1990a: 590) hält vor diesem Hintergrund die Quinesche Ontologie überhaupt nicht für eine "Ontologie", denn diese besteht für ihn in einem »hypothetico-deductive system dealing with the basic questions of being and becoming« – was der Ansatz Quines tatsächlich nur bedingt ist. Inwiefern das gelten kann, hat D.W. Smith (2004: 246 ff.) geklärt, indem er die Natur der Quineschen Ontologie in fünf Schritten richtig herausarbeitet und dabei auch darlegt, inwiefern bei Quine überhaupt von Kategorien gesprochen werden kann:

- (i) das Universum ist aus physikalischen Partikeln [Teilchen] zusammengesetzt;
- (ii) ihr Verhalten wird durch die Mathematik beschrieben;
- (iii) Mathematik ist reduzierbar auf Mengenlehre zuzüglich Logik;

³⁴³⁷ Vgl. dazu Quines (1974: 138) Handlungsmaxime: »Don't venture farther from sensory evidence than you need to«.

- (iv) Logik besteht in der Transformation von Sätzen, die Strukturmuster aus Schall, Druckerschwärze oder Informations-Bits in Gehirn oder Computer bilden, und sich aus physikalischen Partikeln zusammensetzen;
- (v) Somit ist alles, was in der Welt ist, *Partikel* [Elemente] und *Mengen*.³⁴³⁸

Mit Van Inwagen (2011) ist *jede* Ontologie *kategorial*; entsprechend lassen sich die Kategorien bei Quine in zwei Varianten definieren: (a) mit Runggaldier/Kanzian (1998: 195) könnte man sie als "ein-kategoriale Prozess-Ontologie" klassifizieren. Das erscheint jedoch in doppelter Hinsicht verfehlt: zum einen ist die Quinesche Ontologie weder deskriptive noch revisionäre Metaphysik, während eine Prozessontologie jedoch nach allgemeiner Auffassung einer dieser Strömungen zurechenbar ist; damit verbunden lässt sie sich genauso entweder als ontische oder als epistemische Kategorie einordnen. Quine lehnt jedoch – zumindest offiziell – alle Metaphysik ab, während die Epistemologie bei ihm naturalisiert ist. Daher besteht offensichtlich ein erster Widerspruch. Zum anderen zeichnen sich echte Prozessontologien – im Gegensatz zu Substanzontologien – allgemein gerade dadurch aus, dass sie sich universal auf *sämtliche* Prozesse anwenden lassen, also auch auf nicht-physische, d.h. virtuelle bzw. mentale Prozesse. Insgesamt muss sie vor allem den Anforderungen der Whiteheadschen Cyber-Physik entsprechen. Allerdings bezieht sich die Ontologie bei Quine *allein auf physische* Objekte bzw. Ereignisse, womit ein zweiter Widerspruch identifiziert ist. Daraus folgt, dass die Einordnung Runggaldier/Kanzians (1998) letztlich unhaltbar ist. Richtig ist demgegenüber (b) die Position D.W. Smithens (2004: 246 ff.), der erkennt, dass es sich bei Quine weder um ontische bzw. epistemische Kategorien handelt, sondern um mathematische. Dann besteht das *mathematische* Kategorienschema Quines aus *Partikeln* [Elementen] und *Mengen*. Wenn vor dem Hintergrund von Quines (1975b: 131 ff.) Existenzquantor $\exists x$ alles Sein als Wert gebundener Variablen zu verstehen ist, wird deutlich, dass die Quinesche Ontologie rein *physische* Welten adressiert. Denn jenseits des mathematischen Zugangs zur Ontologie dürfen die meta-ontologischen Dispositionen nicht übersehen werden. Wenn die Methodologie im Kontext physischer Objekte auf einen strikten Empirismus hinausläuft, steht außer Frage, dass für sämtliche Objekte in Quines Ontologie der »material content of any portion of space-time« konstituierend ist.³⁴³⁹ Virtuelle Welten werden indessen auf physische reduziert, und können in Quines "*one-level materialism*" keine eigenständige Existenz besitzen.³⁴⁴⁰ Es ist genau dieser Umstand, der für die Informatik inakzeptabel ist. Denn damit ist gezeigt, dass die Quinesche Ontologie nicht CPSS-adäquat ist, weil diese den virtuellen Welten in abgestuften Popperschen Weltmodi eine eigene Existenz zubilligen müsste. Das aber ist mit den Quineschen *Sparsamkeitsprinzipien*, die für sein Ontologieverständnis bestimmend sind, in keiner Weise zu vereinbaren. Wenn der »material content of any portion of space-time« bei

³⁴³⁸ Vgl. D.W. Smith (2004: 247), übers. des Verf.; Hvh. im Orig.

³⁴³⁹ Vgl. Quine (1985a: 167).

³⁴⁴⁰ Von diesem "*one-level materialism*" spricht Bunge (1990a: 590).

Quine das Existenzprinzip begründet, ist es bei Cyber-physischen Systemen (CPS) anders gesetzt; hier ist es nicht wie bei Quine materiebedingt, sondern setzt im Leibniz-Whiteheadschen Sinne auf dem informatorischen Prinzip kausaler Wirksamkeit auf.

Quines 4D-Events wie sein mathematischer Strukturalismus beruhen genauso unmittelbar auf der Whiteheadschen Verschmelzung von mathematischer Logik mit der Quanten- und Relativitätstheorie. Es sind diese, die auch den tatsächlichen Kern von Quines Ontologie ausmachen, nicht etwa seine sprachphilosophischen Überlegungen, die aufbauend auf Russells (1905) Kennzeichnungstheorie ontologisch letztlich nur als Zusätze gewertet werden können. Somit ist Quines *analytischer Logizismus* nicht etwa im sprachphilosophischen Sinne fehlzuinterpretieren, wenn dieser an der naturalistischen Wissenschaftssprache ansetzt. Vielmehr ist dieser im Lichte eines *globalen Strukturalismus* zu sehen, von dem Quine (1992b) im Zuge seines Naturalismus spricht. Dieser wiederum darf nicht verwechselt werden mit einem *metaphysischen Strukturenrealismus* resp. einer *strukturalistischen Ontologie*, die Quine (1992b) explizit ablehnt. Vielmehr geht es Quine um einen mathematischen Naturalismus. Entsprechend interpretiert auch Quine (1987: 12 ff.) Atome strukturalistisch im Sinne von "point-events" bzw. "momentary local states", womit gilt:

»Our point-events are atoms whose kinds are the distinct states that a point can be in according to the physics of the day. In other words, the atoms here are minimal spatiotemporal localities and the kinds are the few things that can happen in such a place.«³⁴⁴¹

Auf der Linie von Whitehead-Weizsäcker-Wheelers Quantentheorie der Information findet sich auch Quine wieder, indem auch er Atome und Bits zusammenbringt, womit schließlich auch die Verbindung zur Automatentheorie offensichtlich wird:

»[T]he atoms are the positions on one or more halftone grids: the places where a black dot may but need not appear. The kinds of atoms are two: black positions and blank white ones. When we cite the color of a position – black or white – we thereby convey one bit of information as to the eventual picture on the grid. Each further position reported adds another bit. The number of such bits conveyed is the amount of information conveyed. Each bit of information thus announces one binary choice.«³⁴⁴²

Wenn sich die Analytische Philosophie oftmals auf Quine oder Carnap beruft, wird somit nochmals deutlich, dass sich die Ontologie offensichtlich entgegen der Praxis der Klasse-2-Metaphysik kaum unabhängig von den Erfahrungswissenschaften konzipieren lässt. Vielmehr ist dies allein auf Basis einer Klasse-4-Metaphysik möglich, auf die auch Quines Position – ungeachtet seiner offiziellen Ablehnung aller Metaphysik – letztlich im Sinne des Whiteheadschen Ratio-Empirismus klar hinausläuft: denn genau von dieser stammt Quines ontologischer Kern, den er anders nicht hätte konzipieren können; sprachphilosophischer Natur ist dieser Kern demgegenüber auf keinen Fall.

Dass die Whitehead-Quinesche Pixeltheorie für die ontologische CPSS-Adäquanz maßgeblich ist, zeigen mit J.A. Barnett (1978: 37) bereits *Distributed Sensor Networks* (DSN), bei denen das »problem of constructing a world picture from sensor data« im Vordergrund steht. Damit wird nochmals deutlich, dass Objekte erst aus einzelnen Pixeln bzw. Bits ent-

³⁴⁴¹ Quine (1987: 14).

³⁴⁴² Quine (1987: 103).

stehen, und somit die grundsätzliche AI-Kategorie im *Ereignis* zu sehen ist.³⁴⁴³ Mit der Whitehead-Quineschen Pixeltheorie wird deutlich, dass (i) Metaphysik erforderlich ist, und zwar in Form einer Computer- bzw. Digitalmetaphysik und dass (ii) Information im Sinne von Leibniz, Boole bis Morse auf die binäre Logik hinausläuft, indem sie in digitaler Hinsicht auf der Zweiwertigkeit des Bits gründet. Damit steht außer Frage, dass eine universale Konzeption von Information und Semantik nicht auf dem OLP-Paradigma, sondern allein auf dem ILP-Paradigma bzw. der mathematischen Logik selbst gründen kann. Vor dem Hintergrund der Pixeltheorie ist der prozessuale Fluss der Welten im Sinne eines digitalen Videos vorzustellen, bei dem die Pixel in Raumzeit angeordnet sind. Alternativ dazu ließe sich die graphische Simulation der 4D-Trajektorie ins Feld führen. Ein solches Digitalvideo kann sich auf die *aktuale Welt* wie auf *mögliche Welten* beziehen und in beiden Fällen gilt Wheelers "It from Bit". In der aktualen Welt ist dabei die Verbindung zwischen Bit und Atomen im Sinne der Quantentheorie der Information gegenwärtig, die sich empirisch im Sinne raumzeitlicher Lokalisierungen nachvollziehen lässt. Somit ist ersichtlich, dass ein universaler ontologischer Zugang allein über eine Computer- bzw. Digitalmetaphysik als Klasse-4-Metaphysik möglich wird, die allerdings nicht mit Quine, sondern nur mit Whitehead zu machen ist.

5.2 Zum TLO-Rekurs auf neo-aristotelische 3D+T Substanzontologien

»All modern philosophy hinges round the difficulty of describing the world in terms of subject and predicate, substance and quality, particular and universal.«

— Alfred N. Whitehead (1929a: 49)

Indem außer Frage steht, dass das TLO-Inkommensurabilitätsproblem wie die Koexistenz konkurrierender Ontologiekonzeptionen einschließlich der Fundamente der Wissenschafts- wie Alltagssprache *metaphysisch* bedingt sind, wird Quines rein wissenschaftstheoretische Position unhaltbar und eine in der Tiefe geführte philosophische Ontologiedebatte unvermeidbar. Dabei bietet es sich aus zwei Gründen an den Ausgangspunkt der Explikation der *Top-level Ontologie* in Bezug auf ihre Rekurse auf die philosophische Ontologie in der aristotelischen Substanzontologie zu suchen: Erstens liegt der Schnittpunkt zwischen Metaphysik und Ontologie in den Kategoriensystemen, womit es naheliegt, ihre Diskussion mit dem ersten Kategoriensystem Aristoteles' zu eröffnen. Zweitens ist mit der zentralen Relevanz des CPST- bzw. IoX-Hyperspace zu klären, ob die in Frage stehende Metaphysik auf eine Objekt- bzw. Substanzontologie oder auf eine Ereignis- bzw. Prozessontologie hinausläuft. Konkret ist zu klären, ob die IoX-Subsysteme, allen voran das *Internet of Things* (IoT) tatsächlich auf der aristotelischen Philosophie gründen können, wie es das CERP-IoT bzw. Vermesan et al. (2009) vermuten. Daneben ist deshalb mit einer Reflexion der aristotelischen Substanzontologie zu beginnen, indem diese für die meisten anderen in

³⁴⁴³ Vgl. hierzu bereits Nii/Feigenbaum (1978).

der Informatik bemuhnten philosophischen Strömungen von elementarem Belang ist, und dabei auch in direkter bzw. indirekter Weise hinter diversen *Top-level Ontologien* steht.

Wenn festzustellen ist, dass die kontroversen Positionen in der Ontologiedebatte elementar im aristotelischen Ontologieverständnis, seiner Interpretation wie der Frage seiner heutigen Gültigkeit bzw. Übertragbarkeit wurzeln, ist zu folgern, dass der weitere Verlauf der ontologischen Revolution der Informatik in wesentlicher wie kritischer Weise an *dieser* philosophischen Ontologie festzumachen hat. Aus diesem Grunde ist das aristotelische Ontologieverständnis eingehender zu behandeln. Das ist auch deshalb erforderlich, weil sämtliche der nachfolgend in Pkt. 5.3 bis Pkt. 5.7 behandelten philosophischen Strömungen ohne genauere Kenntnis der aristotelischen Positionen nicht hinreichend zu verstehen sind. Das gilt für den Bungeschen Hylemorphismus genauso wie für Chisholms aristotelischen *Common Sense-Realismus*; das gilt aber auch für die deskriptive Metaphysik der analytischen Philosophie, die maßgeblich auf Aristoteles aufbaut, ebenso wie für die Phänomenologie Husserls. Und auch die Kontroversen in der Prozessontologie sind nicht unwesentlich durch aristotelische Überlegungen geprägt; die Defekte etwa im Prozessverständnis von Seibt, Stout oder Galton gehen mit Verweis auf Pkt. 5.7 unmittelbar auf die deskriptive Interpretation der aristotelischen Metaphysik zurück. In anderen Fällen wie der Whitehead-Quineschen Richtung, kommt man indessen um Aristoteles insofern nicht umhin, als universalisierte Prozesssachverhalte auf Basis der modernen Naturwissenschaften in zentralen Teilen als explizite Gegenpositionen zur überholten aristotelischen Metaphysik formuliert werden. Die Antithese ist also genauso wie die Synthese nicht ohne tiefere Kenntnis der These zu verstehen.

Darüber hinaus stehen gerade die wichtigsten *Top-level Ontologien* in direkter Weise auf dem aristotelischen Fundament, womit dieses Metaphysiksystem wiederum den natürlichen Ausgangspunkt manifestiert. Zu den unmittelbar unter dem Regime des aristotelischen Ontologieverständnisses stehenden Top-level Ontologien gehören allen voran BFO, BWW, partiell DOLCE,³⁴⁴⁴ sowie schließlich GFO in der ursprünglichen Variante.³⁴⁴⁵ Indem es sich bei den ersten drei genannten TLO-Ansätzen, also bei BFO, BWW und DOLCE, um die verbreitetesten und insofern wichtigsten handelt, wird die ganze Tragweite der aristotelischen Metaphysik offensichtlich. Diese fundiert genauso unmittelbar etwa die Chisholm-TLO oder die OCHRE-TLO. Mittelbar gilt sie für UFO wie SUMO, indem beide Ansätze aristotelisch-geprägte Fundamente fusionieren. Zwar variieren Art und Umfang der Aristoteles-Rezeption zwischen den genannten TLO-Ansätzen, doch sind

³⁴⁴⁴ Die möglichen Welten und Universalien bei DOLCE konfliktieren mit aristotelischen Positionen.

³⁴⁴⁵ In Bezug auf die frühere GFO-Variante ist festzustellen, dass BFO, GFO und OCHRE mit dem GOL-Projekt indirekt eine gemeinsame Wurzel besitzen. Dieses Projekt wird 1999 als gemeinsames Forschungsvorhaben des *Institute for Computer Science* sowie dem *Institute for Medical Informatics, Statistics and Epidemiology* (IMISE) an der medizinischen Fakultät der Universität Leipzig initiiert; B. Smith ist bereits hier involviert, vgl. dazu Herre (2015b). Die Aufspaltung in diese drei TLO-Ansätze beginnt Mitte 2002, indem BFO am IFOMIS und GFO am IMISE als separate Projekte entwickelt werden. Ungefähr zur gleichen Zeit entsteht mit OCHRE ein dritter TLO-Ansatz, der durch den IFOMIS-Mitarbeiter L. Schneider entwickelt wird.

sie alle im Kern durch die aristotelischen Ontologiepositionen geprägt. Das in einem Maße, dass alle genannten TLO-Ansätze ohne die aristotelischen Grundlagen in keiner Weise sachgerecht zu verstehen sind.

Die gegenwärtige Koexistenz einer Vielzahl widersprüchlicher TLO-Ansätze ist mit Blick auf die natürlichen Integrationserfordernisse der Informatik inakzeptabel. Anders gewendet ist die durch maßgebliche Ontologen wie Guarino (1997c) oder Smith/Ceusters (2010) geforderte *Einheits-TLO* richtig. Umgekehrt ist die durch Milton/Kazmierczak (2006) vertretene Gegenposition bzw. kritische Haltung zu diesem Ansinnen, wonach es keinen "Gold Standard" geben könne, da »no one, best ontology exists«, abzulehnen. Zweifelsohne lässt sich ein solcher "Gold Standard" im Sinne einer *universalen Ontologie* definieren; das gilt selbst dann, wenn diese impliziert, dass sie universal auf sämtliche Integrationserfordernisse der Informatik in integrativer Weise anwendbar ist. Dabei besteht der "Gold Standard" genau in derjenigen TLO-basierten Ontologiekonzeption, die dieses Charakteristikum erfüllt, ihm am besten genügt bzw. ihm am nächsten kommt. Mit anderen Worten besteht der "Gold Standard" in der *universellsten* Ontologie, die sich an der gleichzeitigen Anwendbarkeit für wissenschaftliche, technologische und praktische Zwecke bzw. an deren Kombination zu messen hat. Entsprechend hat sie sich am U-PLM-Referenzszenario der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zu bewähren.

Indem Computer mit D. Moore (1992) als "*Reality Machines*" zu verstehen sind, muss eine solche Ontologiekonzeption CPSS-adäquat sein, woraus sich wiederum verschiedene andere Anforderungen ergeben. Das betrifft etwa ihre Relevanz für IoX-Umgebungen oder ihre CEP-Ereigniszentrierung, die mit der CPS-Sensorik notwendig wird. Ferner gilt dies für ihre Befähigung zur Fundierung MAS-basierter Systeme, die aus dem komplexen Systemcharakter Cyber-physischer Systeme resultiert und wiederum eine techno-wissenschaftliche *Mögliche-Welten-Metaphysik* genauso impliziert wie eine *Mehrweltenontologie*. Wenn der Frage nachgegangen wird, inwiefern die durch Smith/Ceusters (2010) propagierte BFO-TLO den Erfordernissen einer solchen *Einheits-TLO* gerecht wird, lässt sich diese Frage nur dann sachgerecht beantworten, wenn die eigentlichen Fundamente dieses TLO-Ansatzes in der erforderlichen Tiefe freigelegt werden. Indem diese eine neo-aristotelische Position verkorpernt, ist die Antwort auf die Frage des "Gold Standards" in der TLO-Kontroverse zunächst einmal im Bereich ihrer metaphysischen Bezugsbasis und damit in der Metaphysik selbst zu suchen. Analoges gilt für alle übrigen TLO-Ansätze, nicht nur für solche, die ebenfalls essentiell auf der aristotelischen Substanzontologie aufbauen. Diese ist mitsamt ihrer metaphysischen Bezugsbasis insbesondere in folgenden zehn Hinsichten für die Ontologiedebatte der Informatik von elementarem Belang:

1. Mit Van Inwagen (2011) ist *jede* Ontologie *kategorial*, weshalb mit Pkt. 6.1.3 die Analyse der metaphysischen Kategoriensysteme essentiell wird; denn diese bilden die Grundlage für die Top-level Kategorien in den TLO-Ansätzen der Informatik. Wenn von Aristoteles dabei das erste wirkliche Kategoriensystem stammt, das da-

ruber hinaus den Referenzpunkt einer Reihe weiterer Systeme darstellt, ist dieses entsprechend umfassend zu diskutieren. Das gilt selbst dann, wenn es – wie im Fall Kants (1781) oder Whiteheads (1929a) – um eine überaus kritische Auseinandersetzung geht. Es lässt sich also sagen, dass in kategorialen Ontologiefragen nichts verstanden ist, solange das aristotelische Ausgangssystem in seinen Zusammenhängen nicht durchdrungen ist.

2. Das gilt umso mehr mit Reschers (1992: 76) Feststellung, wonach »[t]he Aristotelian primacy of substance and its ramifications [...] has proved decisive for much of western philosophy«. Vor diesem Hintergrund ist das diesem Kapitel vorangestellte Zitat Whiteheads entsprechend kritisch zu verstehen; denn mit seiner Prozessmetaphysik weicht er fundamental davon ab. Dabei lässt sich Reschers (1992) Feststellung problemlos um die Ontologie der Informatik erweitern, wenn zu konstatieren ist, dass die drei wichtigsten TLO-Ansätze, nämlich BFO, BWW und DOLCE maßgeblich durch das aristotelische Kategoriensystem geprägt sind. Das gilt ungeachtet dessen, dass sich dies jeweils auf höchst unterschiedlichem Wege vollzieht. Mehr noch: die Mehrzahl der Ontologien in Philosophie *und* Informatik bauen auf der aristotelischen Substanzidee auf. Bzgl. der TLO-Ansätze gilt dies genauso etwa für die OCHRE-TLO oder die Chisholm-TLO. Selbst AI-Ontologieansätze, die wie im Fall von Hayes (1985b, 1985c) oder Russell/Norvig (1995) an sich im 4D-Sinne *ereigniszentriert* sind, rekurren partiell auf die Substanzidee, was offensichtlich inkohärent ist. Nicht unproblematisch ist vor diesem Hintergrund der Umstand, dass das, was unter "Substanz" verstanden wird, höchst unterschiedlich definiert wird: es gibt die erste (*prote ousia*) und zweite (*deutera ousia*) Substanz bei Aristoteles ([Cat.]),³⁴⁴⁶ die ihrerseits im Kontext einer Pluralität von Bedeutungen stehen.³⁴⁴⁷ Es gibt die materiellen und geistigen Substanzen bei Descartes (1644a), die ewige, unendliche und aus sich selbst heraus existierende (göttliche) Substanz bei Spinoza (1677), oder die geistigen Substanzen bei G. Berkeley (1710). Es gibt die *Monaden* als *aktive Substanzen* bei Leibniz (1714a), während Substanzen für Schelling (1800a) gerade das "in der Zeit Beharrende" repräsentieren, wobei das Beharrende wiederum so strikt gedacht wird, dass die Substanz "weder entstehen noch vergehen" kann.³⁴⁴⁸ Ungeachtet dieser sehr heterogenen Auslegungen des Substanzgedankens besinnt Brentano (1862, 1933) sich schließlich wieder auf die aristotelische erste und zweite Substanz zurück. Demgegenüber läuft die moderne, den Naturwissenschaften mehr zugewandte Substanzinterpretation mit P.M.S. Hacker (2004b) auf die parallele Bemühung zweier Substanztypen hinaus. Dabei werden *Substanzen als Dinge* (Things) und *Substanzen als materielle*

³⁴⁴⁶ Vgl. hierzu ergänzend C. Rapp (2005).

³⁴⁴⁷ Vgl. hierzu Segalerba (2008).

³⁴⁴⁸ Vgl. Schelling (1800a: 224).

Stoffe (Stuffs) unterschieden.³⁴⁴⁹ Demgegenüber werden bei E.J. Lowe (1998) unter Substanzen sowohl (materielle) Stoffe, Organismen als auch Artefakte ("artefactual substance") subsumiert, womit sich schließlich jenseits Berkeleys (1710) erneut die Frage der insgesamt *realen* Existenz der Substanzkategorie stellt, zumal E.J. Lowe (1998) unter Artefakte nicht nur Schiffe oder Tische, sondern auch etwa Sprachen fasst. Währenddessen ist für die moderne Physik seit langem ausgemacht, dass die Annahme einer beständigen Substanz Illusion ist. Mach (1918) weist darauf hin, dass ihre gängige Interpretation das "bedingungslos Beständige" meine, während es wirklich bedingungslose Beständigkeit nicht gibt. Für Mach ist die Substanz auch im Zeichen der Materie kein bedingungslos Beständiges. Vielmehr sei das, was wir Materie nennen, ein gewisser gesetzmäßiger Zusammenhang der Elemente, was Mach (1905) in Form eines kritisch hinterfragten wissenschaftlichen Substanzbegriff im Einzelnen darlegt. Dieser Umstand steht auch für Bunge (1977a) als theoretischen Physiker außer Frage; dennoch bleibt er bei einer wissenschaftlich geläuterten Variante der Substanzmetaphysik,³⁴⁵⁰ indem er die bei P.M.S. Hacker (2004b) erörterten zwei Substanztypen in dem Sinne vereinheitlicht, als in seiner materialistischen Metaphysik an die Stelle der Substanzen *materielle Dinge* treten, die auf Grundlage der Bungeschen systemischen Ontologie prinzipiell relational vernetzt sind. Schlussendlich ist es wissenschaftlich unhaltbar, physikalische Prozesse im Substanzsinne auslegen zu wollen; vielmehr setzt die Selbstorganisation in der Physik auf den Elementarteilchen als kleinsten Bausteinen der Materie auf. Man kann das mit Prigogine im großen Ganzen halten, wenn er die Rolle der Elementarteilchen bei der Entstehung der Zukunft unterstreicht und hervorhebt, dass diese zum "Werden der Welt" gehören.³⁴⁵¹ Man kann es aber auch etwa mit Vicsek et al. (1995) empirisch en détail sehen, wenn sie im Rahmen physikalischer Forschung die Selbstorganisation von Partikeln untersuchen. In jedem Fall gilt mit Popper, dass der Materialismus *sich selbst überwindet*,³⁴⁵² denn es gibt keine materiellen Wesenheiten die von unendlicher Halbwertszeit sind, die nicht einmal Protonen und Neutronen besitzen. Es gibt – entgegen M. Ayers (1991) – keine *materiellen selbstidentischen Wesenheiten* und damit auch keine *festen Träger*; keine materiellen Substanzen, bei denen sich lediglich Eigenschaften verändern.^{3453, 3454}

³⁴⁴⁹ Vgl. hierzu ergänzend Gracia (1999: 46 ff.).

³⁴⁵⁰ Wenn von *Substanzmetaphysik* gesprochen wird, ist damit gemeint, dass nicht das "Werden", sondern das "Sein" der Dinge und damit eine zeitindifferente Sichtweise zugrundegelegt wird, bei der emergentistische kosmologische Wandlungsprozesse als unwesentlich erachtet beziehungsweise ausgeblendet werden. Diese Metaphysikposition ist ausgehend von Parmenides, partiell für Platon, für Aristoteles, die scholastische Philosophie bis hin zur neuzeitlichen Cartesischen Tradition prägend, und findet sich heute noch in vielen Substanzontologien.

³⁴⁵¹ Vgl. Prigogine in Stiller (1979: 21).

³⁴⁵² Vgl. Popper in Popper/Eccles (1977: 3 ff.).

³⁴⁵³ Vgl. hierzu Popper in Popper/Eccles (1977: 7), Toulmin (1978: 413 ff.) sowie Seibt (1996).

³⁴⁵⁴ Wenn Teilhard de Chardin (1965: 25 f.) aus dem Scheitern der *materialistischen Philosophie* zu folgern sucht, dass nur der "*Geist*" das *festе Prinzip des Universums* bilden kann, ist festzustellen, dass es mit ei-

Die ganze Problematik der konventionellen Substanzen, wie sie im Zeichen beider Seiten des Cartesischen Dualismus stehen, ist auch für Russells Schüler Wittgenstein (1921) in seiner Frühphase evident. Entsprechend hat der Substanzbegriff bei ihm auch nichts mehr damit zu tun; dennoch gibt es ihn auch bei Wittgenstein (1921),³⁴⁵⁵ jedoch in der Variante des Logischen Atomismus. Die Substanz ist hier also weder *per se* materiell noch entspricht sie der der Cartesischen *res cogitans*; vielmehr ist sie hier *Form*, konkret *logische Form* im logischen Raum. Es handelt sich also prinzipiell nicht mehr um den aristotelischen, sondern um den platonistischen Substanzgedanken, wie er in dieser Tradition des Logischen Atomismus bzw. jener von Whitehead und Russell die strukturalistische Physikauffassung Carnaps (1928a), Eddingtons (1939) oder C.F. von Weizsäckers (1974) bestimmt. Die Substanz ist somit im Zeichen der formalen Logik primär eine strukturwissenschaftliche Kategorie; erst in zweiter Hinsicht eine erfahrungswissenschaftliche, wie es dem Primat von Wittgensteins naturwissenschaftlichen Sätzen entspricht. Am konsequentesten ist entsprechend Russells Lehrer Whitehead (1929a), wenn er den Substanzbegriff in dieser Denkschule vollständig aufgibt, indem es in seiner 4D-Perspektive in *aktualen* Prozessen nichts ewig Beharrendes gibt. Dennoch steht der universale Strukturalismus Whiteheads mit Pkt. 6.1.2 genauso im Zeichen der platonistischen Form, die wiederum *logische Form* ist. Mit Pkt. 4.2 ist es bei Whitehead (1929a) die *actual entity*, die das *wirkliche Einzelwesen* resp. das *wirkliche Ereignis* repräsentiert, und als *organisch gewachsene Prozesse* im Gegensatz zu den aristotelischen Substanzen die Bausteine des Kosmos bilden. Die logische Form bei Whitehead ist jedoch wiederum anders konzipiert als die logische Form als Substanz bei Wittgenstein; denn bei letztem ist sie im Sinne *deskriptiver* Metaphysik eine *idealsprachliche* und damit *epistemische* Kategorie, während die vorgelagerte ontologische Analyse fehlt. Bei Whiteheads metaphysischen Logizismus bildet die *actual entity* als logische Form hingegen eine *ontische* Kategorie, die sich nachgeordnet auf Basis einer Formalsprache repräsentieren lässt. Im Zeichen der revisionären Metaphysik erweist sich dabei die ontologische Analyse primär. Der Urstoff der *Materie*, wie er durch den aristotelischen bzw. Cartesischen Substanzgedanken vergegenwärtigt ist, wird also bei Wittgenstein durch eine *neutrale anti-materialistische* *Deskription* ersetzt, womit die Substanz zur Grundkategorie für alles im logischen Raum bzw. in den möglichen Welten avanciert. Allerdings wird

nem Austausch der *res extensa* durch die *res cogitans* sicher nicht getan ist. In der Negierung der Materie liegt mit Mainzer (1996) sicher der falsche Weg, und insgesamt wäre eine solche ontologische Position nicht CPSS-adäquat. Richtig kann allein eine strukturalistische Sichtweise wie jene von Russell und Whitehead erscheinen, indem es sich in allen Fällen um logico-mathematisch zugängliche "*systems of events*" handelt, womit alle Popperschen Welttypen auf die einheitliche Basis der Automatentheorie zu stellen sind. Insofern ist offensichtlich der "*general world view*" dann in seinem Kern gefunden, wenn festgestellt wird, dass er sich in Form von *World Automata* konstituiert.

³⁴⁵⁵ Vgl. dazu auch Proops (2004).

damit eine ontische Kategorie durch eine epistemische ersetzt, was nur auf den ersten Blick der Kantischen Orientierung, die bei Wittgenstein (1921) zu konstatieren ist, entspricht. Denn Kant lenkt zwar die Orientierung im Agentensinne auf die epistemischen Kategorien, während für ihn im Gegensatz zu Wittgenstein evident ist, dass diese bei ihm die ontischen gerade nicht ersetzen können. Genauso wenig entspricht diese sprachliche Substitution der Leibnizschen Auffassung möglicher Welten, an denen Wittgensteins logischer Raum über Russell unmittelbar orientiert ist; denn primär ist bei Leibniz die *metaphysica generalis* und damit das Automatenuniversum im platonistischen Sinne. Entsprechend ist Wittgenstein (1921) letztlich weder auf der Linie Leibnizens noch auf der Linie Kants. Das ist allein Whitehead. Bei ihm wird die aristotelische bzw. Cartesische ontische Substanz auch *ontisch* ersetzt. Für die Cyber-physischen Systeme (CPS), mit denen es die Informatik zu tun hat, besteht darin der entscheidende Schritt, der zugleich die Disziplin erst begründet: denn mit dieser ontischen Substitution wird der Urstoff ersetzt; d.h. *Materie* weicht der *Information*. Wenn C.F. von Weizsäcker (1974) mit den Strukturwissenschaften resp. Eigen (1987; 1997) mit der Komplexitätsforschung auf die Maßgeblichkeit dieses Urstoffs der *Information* abstellen, dann stehen Strukturen als logische Form bzw. komplexe Systeme nicht im Logischen Atomismus Wittgensteins, sondern in dessen Ursprungsgedanken bei Whitehead. Für den "*general world view*" der Informatik ist das entscheidend, indem ihre CPS-Grundlagen mit dem Wechselspiel zwischen Sensorik und Aktorik einerseits und der Intelligenz adaptiver Agenten in der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik und ihrem Urstoff der Information zu suchen sind, während Wittgensteins sprachphilosophischer Zugang sich dafür genauso disqualifiziert wie der Substanzgedanke als solcher.

3. Die Entstehung des metaphysischen *Substanz-Qualitäts-Schemas* mitsamt des Rückgriffs auf die Sprache in Form der *Subjekt-Prädikat-Struktur* ist untrennbar mit Aristoteles bzw. der aristotelischen Logik verbunden. Die aristotelische Kategorienschrift ist entsprechend in Verbindung mit der *Ersten Analytik* des Aristoteles ([An.pr.]) zu sehen, will man die aristotelische klassische Logik in ihrer metaphysischen Relevanz bei Aristoteles verstehen.³⁴⁵⁶ Schon Kant erlag dem Irrtum zu meinen, dass die Logik mit Aristoteles mehr oder weniger zum Abschluss gekommen sei.^{3457, 3458} Auch die AI-Wissensrepräsentation ist gegenwärtig noch maßgeblich

³⁴⁵⁶ Vgl. hierzu ergänzend Corcoran (1972).

³⁴⁵⁷ Vgl. Kant (1787: VIII f.): »Daß die Logik diesen sicheren Gang schon von den ältesten Zeiten her gegangen sey, läßt sich daraus ersehen, daß sie seit dem Aristoteles keinen Schritt rückwärts hat thun dürfen [...]. Merkwürdig ist noch an ihr, daß sie auch bis jetzt keinen Schritt vorwärts hat thun können, und also allem Ansehen nach geschlossen und vollendet zu seyn scheint«, ohne Hvh. des Orig., sowie Kant (1800: 22): »Uebrigens hat die Logik von Aristoteles [sic!] Zeiten her an Inhalt nicht viel gewonnen, und das kann sie ihrer Natur nach auch nicht«, ohne Hvh. des Orig.

³⁴⁵⁸ Das hat sich schließlich als unrichtig herausgestellt, wobei bereits die damals unbekanntenen Teile des Leibnizschen Werks einen neuen Zugang zur Logik bedeuteten. Wenige Jahre nach Kant (1800) beginnt bekanntlich mit Boole (1847, 1854) die mathematische Logik, mit der Kants (1800: 22) Positionen um-

durch die klassische Logik geprägt.³⁴⁵⁹ Tatsächlich aber sollte in der Analyse des aristotelischen Zusammenhangs von *klassischer Logik* und *Substanzmetaphysik* nicht mehr als die Propädeutik für das Verständnis der Beziehung von *mathematischer Logik* und *Prozessmetaphysik* gesehen werden. Dabei ist wiederum die maßgeblich auf Leibniz aufbauende Whiteheadsche Prozessmetaphysik zentral, da ihr Ereigniszentrismus für die Wahl des prozessualen *Ereigniskalküls* bestimmend ist.

4. Die (neo-) aristotelische Substanzontologie ist nicht zuletzt auch insofern von größter Bedeutung, als mit Blick auf den in Pkt. 6.2.2 behandelten Widerstreit um die *deskriptive* und *revisionäre* Metaphysik durch beide metaphysische Richtungen Aristoteles als eigentlicher Ursprung geltend gemacht wird. Tatsächlich lässt sich sagen, dass Aristoteles zwischen diesen beiden Richtungen steht, wobei sich bereits auf Basis des aristotelischen Werks die Frage des Vorrangs beider Richtungen klären lässt. Wichtig ist dabei, dass sich die aristotelischen Kategorien und die Metaphysik nicht voneinander isolieren lassen; d.h., dass sich die aristotelischen Kategorien nicht etwa sprachphilosophisch von der aristotelischen Metaphysik und Physik abkoppeln ließen – vielmehr sind die Kategorien erst vor dem Hintergrund der Metaphysik sachgerecht zu verstehen. Das betrifft gerade auch die meta-ontologischen Dispositionen. Daraus folgt, dass bei der Diskussion des aristotelischen Kategoriensystems weiter auszuholen ist, indem die Substanzidee untrennbar mit den im Folgenden behandelten Aspekten wie der *Teleologie*, der dadurch bestimmten *Entelécheia* usw. verwoben ist. In den meisten TLO-Ansätzen wird diesem Zusammenhang nicht hinreichend Rechnung getragen, vor allem wenn man meint, auf Basis der aristotelischen Kategorienlehre eine völlig einseitige sprachphilosophische Ontologie begründen zu können. Darüber hinaus ist bei TLO-Ansätzen wie der BFO-TLO, die nicht nur auf der aristotelischen Substanzidee, sondern auch auf den aristotelischen immanenten Universalien mit dem expliziten Ziel einer *Scientific Ontology* aufbauen, zu hinterfragen, inwiefern sich das Ganze tatsächlich mit den modernen Wissenschaften verträgt. Dazu müsste in der Ontologiedebatte jedoch zunächst einmal eine empiristische Universalsynthese nach Maßgabe des Ratio-Empirismus gezogen werden. Wenn allerdings in der bisherigen Ontologiedebatte eine solche empiristische Universalsynthese erst gar nicht versucht wird, lässt sich auch nicht die im Folgenden herausgearbeitete grundsätzliche Inkompatibilität der aristotelischen Ontologie mit den ontologischen Dispositionen der modernen Wissenschaften feststellen. Daraus folgt, dass die bisherige Ontologiediskussion am falschen Ende ansetzt, und sie damit zu falschen Schlussfolgerungen gelangt. In-

gekehrt werden, wenn dieser konstatiert: »Die Logik ist [...] keine allgemeine Erfindungskunst und kein Organon der Wahrheit; keine Algebra, mit deren Hülfe sich verborgene Wahrheiten entdecken liessen«. Tatsächlich herrscht bis ins neunzehnte Jahrhundert die Aristotelische Logik vor, bis es zur Mathematisierung der Logik durch Boole, Frege, Peirce, Whitehead, Russell und Wittgenstein kommt. Die heutige Einteilung der Logik unterscheidet vor allem Aussagenlogik, Prädikatenlogik und Modallogik.

³⁴⁵⁹ Vgl. etwa Lifschitz et al. (2008).

dem Ontologie gerade auch bei Aristoteles als *kombinierte metaphysische Wissens-ontologie* zu verstehen ist, und gar nicht anders verstanden werden kann, ist die kategoriale Debatte selbstredend auf die *gesamte* aristotelische Metaphysik zu erweitern. Denn für die kategoriale Verhältnisbestimmung aller Entitäten wie für die zentrale Substanzidee ist zunächst die aristotelische Weltauffassung in Gänze zu hinterfragen. Bei diesem Unterfragen sind die neo-aristotelischen Positionen zur Substanzmetaphysik insofern mit zu berücksichtigen, als sie die heutige Substanzauslegung wesentlich beeinflusst haben. Vor diesem Hintergrund ist das aristotelische System zunächst im Sinne *revisionärer* Metaphysik zu diskutieren, also primär (i) mit *metaphysischem* Blick im Sinne einer techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik auf die fundamentalen Strukturen der Realität. Dann sollte die Aufmerksamkeit (ii) den konkreten *technologischen* Anforderungen der Informatik zu gelten, einschließlich der Frage nach den fundamentalen Strukturen von Cyber-Welten, bevor (iii) in einem letzten Schritt die Aufmerksamkeit der deskriptiven Erfassung ontologischer Entitäten gelten kann. Anders gewendet gilt Simons' (2006b: 95) Feststellung: »metaphysics constrains semantics«. Indessen wird diese Reihenfolge in der Ontologiediskussion in aller Regel nicht eingehalten. Zumeist aber stellt sich die Sachlage weitaus problematischer dar, indem man versucht, das Procedere im Zuge deskriptiver Metaphysik allein auf den letzten Schritt, auf die sprachphilosophische bzw. linguistische Diskussion von Entitäten zu beschränken.

5. In *revisionärer* Hinsicht wird die *Substanz* etwa in Bunges *revisionärer* Metaphysik (vgl. Pkt. 5.3) mit ihren umfassenden Defekten zwar sogleich in ein neutrales *Ding* transformiert, doch bleibt die aristotelische Prägung mit dem Hylemorphismus im Materialismus Bunges wie auch in der 3D-Konzeption von Entitäten bestehen. Analoges gilt etwa für die explizit neo-aristotelische Ontologie E.J. Lowes (2012), die diesen Hylemorphismus teilt.³⁴⁶⁰ In *deskriptiver* Hinsicht verbirgt sich die Substanz letztlich hinter dem *Objekt*; das ist bei Chisholms Metaphysik (vgl. Pkt. 5.4) als aristotelischer *Common Sense-Realismus* der Fall, der als Ansatz analytischer bzw. *deskriptiver Metaphysik* zu werten ist. Insofern ist es erklärbar und kein Widerspruch, wenn Milton (2004) bzw. Milton/Kazmierczak (2006) dem wesentlich aristotelisch geprägten Naturalismus Bunges bzw. der darauf gründenden BWW-TLO den ebenfalls aristotelisch geprägten *Common Sense-Realismus* Chisholms in Form der Chisholm-TLO entgegenzustellen suchen. Dabei weist die Chisholm-TLO in mancher Hinsicht eine Verwandtschaft zu DOLCE auf, etwa mit Blick auf den 3D-Modus der DOLCE-TLO oder ihre linguistische Prägung.
6. Ungeachtet der überaus entscheidenden Unterschiede im Detail sind alle oben genannten Substanz-, Ding- und Objektontologien letztlich insofern eins, als sie alle-

³⁴⁶⁰ Vgl. hierzu auch Hübner (2012).

samt zu den erwähnten "*Furniture*"-Ontologien zu zählen sind.³⁴⁶¹ Das gilt selbst für moderne Substanzinterpretationen, etwa für P.M.S. Hacker (1979: 239), bei dem es heißt: »Substances, understood as material particulars, are the constituents of the world, the furniture of reality«. Für diese ist charakteristisch, dass sie sich durch *Gegenstände* leiten lassen, und entsprechend die *Diskursuniversen* oder *cyber-physischen Welten* als "*furnished rooms*" zu adressieren suchen. Solche "*furnished rooms*" stehen als metaphysischer Ansatz jedoch im diametralen Gegensatz zum Gedanken von *Prozessuniversen*, wie er durch die CYPO-Ontologiekonzeption auf Basis von Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik und der Automatentheorie bzw. komplexen adaptiven Systemen (CAS) zu entwickeln ist. Ergänzend zu den Ausführungen in Pkt. 4.1 wurde mit Pkt. 4.3 deutlich, dass der Komplexitätsforschung im Zuge der ontologischen Grundlegung der Informatik eine Schlüsselrolle zukommt. Diese ist gerade auch im Hinblick auf eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption elementar. Im Folgenden wird deutlich, dass weder die Substanzidee noch der mit ihr verbundene aristotelische Hylemorphismus mit der Theorie komplexer Systeme vereinbar sind; das gilt auch dann, wenn bestimmte Teile des aristotelischen Werks den Eindruck vermitteln, dass Komplexitätsmomente für dieses von Relevanz sind.³⁴⁶²

7. Die (neo-) aristotelische Substanzontologie steht aber nicht nur zwischen der *deskriptiven* und *revisionären* Metaphysik, sondern genauso zwischen *Sein und Werden*, was unmittelbar auf den für die Ontologie der Informatik zentralen Streit zwischen der Substanz- und Prozessmetaphysik hinausläuft, wenn auch dieser Streit in ihren Reihen bisher nicht als zentral identifiziert wird. Dieser Streit ist jedoch für die Ontologiekonzeption der Informatik insofern essentiell, als das Universum mit Popper weniger nach Diktion der Substanzmetaphysik bzw. der "*Furniture*"-Ontologien als eine Ansammlung von Dingen, sondern vielmehr als Menge von in Wechselwirkungen stehenden Ereignissen oder Prozessen zu sehen ist.³⁴⁶³ Anstatt Substanzkategorien in Form selbstidentischer, alle zeitlichen Veränderungen überdauernde Wesenheiten als Zugrundeliegendem eines ewigen Universums zu erachten,³⁴⁶⁴ rücken im Einklang mit der Prozessmetaphysik wie der Komplexitätsforschung *dissipative Systeme* in den Fokus ontologischer Analyse, die im Zeichen komplexer Entitäten mit ihren Wechselwirkungsprozessen fortwährend neue Ordnungsstrukturen hervorbringen. Damit erhalten Prozesse einen grundlegenden, nicht bloß einen abgeleiteten Status.

³⁴⁶¹ Bei BFO und DOLCE gilt dies zumindest für ihren elementaren 3D-Modus.

³⁴⁶² Vgl. etwa Aristoteles ([Met.]: 1045a): »Denn bei allem, was mehrere Teile hat und als Ganzes nicht wie eine bloße Anhäufung besteht, sondern wo das Ganze etwas außer den Teilen ist, gibt es eine Ursache der Einheit [...]«; vgl. hierzu ferner Aristoteles ([Met.]: 1035a-1036a) sowie Aristoteles ([Pol.]: 1253a).

³⁴⁶³ Vgl. Popper in Popper/Eccles (1977: 7).

³⁴⁶⁴ Vgl. hierzu auch die Charakterisierung der aristotelischen Substanzen bei B. Smith (2006c: 139 f.).

8. Indem sich "*furnished rooms*" entweder auf Basis des aristotelischen *Common Sense-Realismus* oder aber auf Basis des aristotelischen Naturalismus bzw. Hylemorphismus auf *Realitätsrepräsentationen* beziehen, wird die auch gerade mit Blick auf die Ontologie der Informatik strittige wie zur Überwindung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems über aus mazgebliche *Universalienfrage* (Pkt. 6.2.3) in spezifischer Weise entschieden. Natürlich geht der aristotelische *immanente Realismus*, dem etwa die BFO-TLO verpflichtet ist, unmittelbar auf die damit korrespondierende Idee der "*furnished rooms*" zurück. Demgegenüber ermöglichen *Prozessuniversen* nicht nur mit Verweis auf Pkt. 3.5 sowie Pkt. 4.6 ein vollkommen anderes Realitätsverständnis, sondern sie lassen auch problemlos die Integration einer *Ontologie der Artefakte* in eine integrierte Ontologiekonzeption zu. Damit zusammenhängend lässt sich auch die Universalienfrage vollkommen anders beantworten, nämlich im Zeichen einer integrierten Ontologiekonzeption in einer Weise, wie sie Cyber-physische Systeme (CPS) erfordern. Wenn die aristotelische Ontologie genau zwischen Sein und Werden steht, bleibt somit zu klären, inwiefern sie Grundlage einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption sein kann, auf deren Basis sich komplexitatsinduzierende Prozessuniversen in geeigneter Weise fassen lassen.
9. Die Diskussion der (neo-) aristotelischen Substanzontologie ist in anderer Hinsicht nicht minder entscheidend, nämlich mit Blick auf die endlos geführte Debatte um den Widerstreit von *Endurantismus vs. Perdurantismus* (vgl. Pkt. 6.2.5). Auch dieser ist für die Überwindung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems über aus wesentlich, weil mit der aristotelischen Substanz-, Ding- oder Objektidee in "*furnished rooms*" eine 3D-Position verbunden ist. TLO-Ansätze, die hingegen von AI-Experten konzipiert sind, verfolgen eine damit inkommensurable 4D-Position. Das ist bei der 4D Upper Ontology mit Norvig (Google) genauso der Fall wie bei Sowas (IBM) Prozessontologie oder der durch M. West (Shell IT) favorisierten BORO 4D-Ontology. Genauso vertreten empiristisch orientierte philosophische Ontologen wie Carnap (1958), Quine (1960a, 1970b) und natürlich Whitehead (1920, 1929a) und Russell (1927a) eine 4D-Perspektive, während genau jene philosophische Ontologien dem defekten 3D-Schema verhaftet sind, die eine aristotelische Wurzel besitzen. Hierzu sind die neo-aristotelischen Ansätze von Chisholm, Lowe oder des frühen Simons genauso zu zählen wie der Hylemorphismus in Bunge's defekten Materialismus. Analoges gilt für nahezu alle Ontologien, die im Zeichen der analytischen Metaphysik stehen,³⁴⁶⁵ die als deskriptive Metaphysik mit ihrer 3D-Position unmittelbar oder mindestens mittelbar auf der aristotelischen Kategorienlehre bzw. dem aristotelischen *Common Sense-Realismus* aufzubauen suchen.

³⁴⁶⁵ Eine Ausnahme bildet der *Modale Realismus* von D. Lewis (1986b), der jedoch Quine-Schüler ist; für die andere Strömung *modaler Ontologie* trifft dies indessen nicht zu, vgl. hierzu die Quellen in Fn. 1342.

10. Mit Pkt. 1.1 erfolgt ein Rückgriff auf die aristotelische Tradition auch durch den *Cluster of European Research Projects on the Internet of Things* (CERP-IoT) bzw. Vermesan et al. (2009) zur philosophischen Reflexion von IoT-Fragestellungen. Inwiefern ein solcher Rekurs gerechtfertigt ist, wird am Ende dieses Kapitels zu klären sein. Das betrifft nicht zuletzt die Frage ihrer tatsächlichen CPSS-Adäquanz. Natürlich hält die aristotelische Position auch mit Blick auf alle anderen meta-ontologischen Debatten umfassende Implikationen bereit. Das gilt selbstverständlich nicht nur mit Blick auf die Frage *möglicher Welten* (Pkt. 6.2.4), einer realistischen vs. konstruktivistischen Epistemologie (Pkt. 6.2.6), multiplikative oder reduktionistische Repräsentationen (Pkt. 6.2.7) oder die Frage der Wahrmacher (Pkt. 6.2.8), die im Aristotelismus selbstredend auf eine Korrespondenztheorie beschränkt ist. Insgesamt wird an all diesen Debatten deutlich, dass für die Ontologie der Informatik die aristotelische Position zwar gerade mit Blick auf H.A. Simons (1995a) AI-Disziplin als *Empirical Science* bzw. Smith/Ceusters (2010) *Scientific Ontologies* überaus relevant, jedoch für ihre Zwecke in wesentlichen Teilen genauso defekt ist. Diese Defekte werden offensichtlicher, wenn es um die Frage einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption geht, an der weder die AI-Tradition im Besonderen noch die Informatik im Allgemeinen vorbeikommt: Mit ihr wird deutlich, dass nicht allein aristotelische Positionen, sondern gerade u.a. auch jene Platons, jene Leibnizens oder jene Kants von mindestens gleichem Stellenwert sind. Wenn dies außer Frage steht, sollte das Erfordernis der Informatik klarer werden, dass sie für ihre Ontologiezwecke eine metaphysische *Weltauffassung* benötigt, die all diese im Einzelnen gerechtfertigten Aspekte zusammenbringt, und dabei gleichzeitig technologisch maßgebliche Aspekte wie Innovation, Präzision oder Komplexitätsreduktion eröffnet. Die Defizite und Defekte der einzelnen TLO-Ansätze gehen nicht zuletzt darauf zurück, dass sie diese Synthese nicht zu bewerkstelligen vermögen. Es sollte dabei nicht übersehen werden, dass eine TLO-Synthese zunächst einmal eine metaphysische Basis erfordert, die den Anspruch einer *metaphysischen Synthese* für sich reklamieren kann.

Die Entstehung des metaphysischen *Substanz-Qualitäts-Schemas* geht darauf zurück, dass die griechische Philosophie auf die Grundformen der Sprache zurückgriff, um zu allgemeinen Kategorien zu gelangen. Daraus geht die *Subjekt-Prädikat-Struktur* hervor, wie sie sich in der aristotelischen Kategorienlehre findet. Allerdings ist wesentlich, dass diesem Substanz-Qualitäts-Schema mit seiner Subjekt-Prädikat-Form bei Aristoteles primär eine *logische* Bedeutung zukommt, was sich nicht nur am Charakter der Kategorienschrift selbst zeigt, sondern auch daran, dass Aristoteles diese nicht zur Grundlage seiner eigenen Metaphysik macht. In der Kategorienschrift wird die Welt gezeichnet als eine Welt von Substanzen, die sich wiederum durch ihre Qualitäten oder Akzidenzen bestimmt sehen,

was zuweilen entsprechend als *Substanz-Qualität-Metaphysik* bezeichnet wird.³⁴⁶⁶ Entsprechend ist der Substanzbegriff bei Aristoteles zunächst *logisch* bestimmt: Die Substanz wird über die Analyse spezieller Subjektbegriffe, die ihrerseits nicht als Pradikatsbegriffe auftreten können, definiert.³⁴⁶⁷ Allerdings findet sich bereits bei Aristoteles insofern bereits eine *realistische* Interpretation des Substanzbegriffs, indem zum einen der Substanz eine Tragereigenschaft zugewiesen wird: Substanzen sind das allen nicht-substantiellen Formen, d.h. den anderen neun Kategorien, Zugrundeliegende. Zum anderen beruht diese realistische Interpretation auf der aristotelischen Differenzierung zwischen erster und zweiter Substanz. Danach wird der Gegenstand selbst mitsamt seiner akzidentellen Bestimmungen als erste Substanz bezeichnet, während der den Gegenstand definierende Begriff (sein Wesen) die zweite Substanz bildet.³⁴⁶⁸ Bei Aristoteles ist es diese Unterscheidung zwischen ersten und zweiten Substanzen,³⁴⁶⁹ die das Universalienproblem berührt. Auf den Grundbestimmungen über die Substanz und deren Verhältnis zu den Eigenschaften basiert die ganze Unterscheidung der aristotelischen Kategorien.³⁴⁷⁰

Wenngleich kein Diskurs um die Ontologie der Informatik ohne ein umfassendes Verständnis der Defekte der (neo-) aristotelischen Substanzontologie möglich ist, sind ihre Kategorien weder aus dem Nichts entstanden noch sind sie in ein solches übergegangen. Vielmehr sind für die Herausbildung der aristotelischen Positionen die Vorsokratiker genauso wesentlich wie insbesondere auch die Positionen Platons,³⁴⁷¹ auf denen Aristoteles unmittelbar in kritischer Weise aufbaut. Insofern kommen wir in diesem Kapitel genauso wenig um einen Blick auf diese Vorlauer umhin wie um eine Analyse der Rezeption und Adaption des aristotelischen Werks, wenn sich dieses in vielfacher Form bis heute behaupten kann. Dazu zählt auch, dass es in eine Reihe von TLO-Ansätzen direkten oder mindestens indirekten Eingang gefunden hat. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in kaum einer Disziplin alles mit allem so verbunden ist wie zwischen den einzelnen Ansätzen der Ontologie bzw. Metaphysik; kaum ein ontologischer Ansatz ist zu verstehen ohne das Verständnis einer Vielzahl anderer maßgeblicher Ontologieansätze bzw. TLO-Entwürfe, indem einzelne Positionen entweder unmittelbar aufeinander aufbauen, oder sich als genauer Gegenentwurf scharf zueinander abgrenzen. Entsprechend sind auch die aristotelischen Positionen nicht ohne den Blick auf vor- bzw. nachgelagerte Positionen sachgerecht verstehbar.

Tatsächlich kündigt sich die für die Ontologie der Informatik überaus wesentliche Kontroverse um die Substanz- vs. Prozessmetaphysik bereits bei den Vorsokratikern an, und

³⁴⁶⁶ Vgl. Fetz (1981: 35).

³⁴⁶⁷ Vgl. Aristoteles ([Cat.]: 5, 2a 11-13; [Met.]: Z3, 1029a 8-9).

³⁴⁶⁸ Vgl. Aristoteles ([Cat.]: 5, 2a 11-19).

³⁴⁶⁹ Vgl. Aristoteles ([Cat.]: 5, 2a 11-18).

³⁴⁷⁰ Vgl. den Kommentar Oehlers in Aristoteles ([Cat.]: 185).

³⁴⁷¹ Mit Cumpa/Tegtmeier (2011: 7) gilt, dass die *Theorie der Kategorien* zwar durch Aristoteles begründet wurde, aber kaum ohne Platon als wichtigsten und direkten Vorlauer zu verstehen ist.

zwar mit dem bedeutungsvollen Disput zwischen Heraklit und Parmenides.³⁴⁷² Dabei vertritt Heraklit von Ephesus bereits die Auffassung, dass die Dinge der Welt einem ständigen Werden und Vergehen unterliegen und in jedem zeitlichen Moment von neuer Natur sind. Für ihn ist alles im Fluss begriffen, nichts ist in der Ruhe. Demgegenüber meint Parmenides von Elea, der ein Schüler des Xenophanes ist, dass die reale Welt immer an ein- und derselben Stelle verharre, ohne sich jemals zu bewegen. Damit existiert für Parmenides allein ein ewig ruhendes, sich stets gleichbleibendes Sein, während er Werden und Veränderung als unwahren Schein identifiziert.³⁴⁷³ Insofern ist der Ursprung der Substanzphilosophie bei Parmenides,³⁴⁷⁴ jener der Prozessphilosophie bei Heraklit zu sehen. Die für den Diskurs um Substanz- versus Prozessmetaphysik entscheidenden Fragen nach Kosmologie und Veränderung, nach Sein oder Werden haben sich damit bereits gleich zu Anfang allen philosophischen Denkens gestellt. Auch werden sie nicht nur durch Platon mit dem Phänomen des Prozesshaften aufgegriffen,³⁴⁷⁵ sondern auch Aristoteles ([Met.]: 1065b ff.) widmet sich in seiner Metaphysik ausführlich dem Problem der *Bewegung (kinesis)*, und sucht dabei den mit Parmenides und Heraklit bestehenden vermeintlichen Widerspruch zwischen Sein und Werden durch die konzeptionelle Differenzierung von Wirklichkeit und Möglichkeit zu überwinden.³⁴⁷⁶

»[D]er Stoff [ist] dem Vermögen nach, weil er zur Form gelangen kann; sobald er aber in Wirklichkeit ist, dann ist er in der Form. Ebenso auch bei dem übrigen, auch bei dem, dessen Ziel Bewegung ist. [...] Denn das Werk (*érgon*) ist Zweck, die Wirklichkeit aber ist das Werk. Daher ist auch der Name Wirklichkeit von Werk abgeleitet und zielt hin auf Vollendung (*entelécheia*).«³⁴⁷⁷

Somit ist die Substanz nicht zu verstehen ohne die Teleologie, womit der vermeintliche Widerspruch von Sein und Werden bei Aristoteles auf spezifische Weise gelöst wird:

»[N]icht *aus* dem Werden (*génésis*) wird [...] das Werdende, sondern *nach* dem Werden. [...] Bei der anderen Art des Werdens dagegen findet die Umkehrung der Folge statt. Bei beiden Arten aber ist ein Fortschritt ins Unendliche unmöglich; denn das eine muß als ein Mittleres (*metaxý*) ein Ende (*télos*) haben, das andere aber erleidet eine Umkehr in einander, indem das Vergehen (*phthorá*) des einen Entstehen (*génésis*) des andern ist. [...] [D]a das Entstehen nicht einen Fortschritt ins Unendliche aufwärts zuläßt, so kann dasjenige, aus welchem als erstem durch sein Vergehen etwas entstand, nicht ewig sein. Ferner das Weswegen (*tò hoû héneka*) ist Endzweck (*télos*). Endzweck aber ist das, welches nicht um eines andern willen, sondern um des willen das andere ist. Wenn es also ein solches Äußerstes gibt, so findet dabei kein Fortschritt ins Unendliche statt; gibt es kein solches, so gibt es überhaupt kein Weswegen.«³⁴⁷⁸

Vor diesem Hintergrund wird Aristoteles gelegentlich als ein Vorläufer zur Prozessphilosophie verstanden,³⁴⁷⁹ was jedoch mit der Substanzzentrierung nur sehr eingeschränkt

³⁴⁷² Vgl. hierzu auch Rescher (1995a).

³⁴⁷³ Vgl. hierzu auch Rescher (1992: 75), Coreth (1994: 77) und Popper (2001: 44, 47); vgl. zu Heraklits Implikationen für die Prozessphilosophie Dye (1974), vgl. zu Heraklit kritisch Lucas (1983: 5).

³⁴⁷⁴ Vgl. hierzu auch Tegtmeier (2008).

³⁴⁷⁵ Vgl. Whitehead (1920: 17 f.) und Rescher (1996: 10).

³⁴⁷⁶ Vgl. hierzu auch Holz (1984b: 404 ff.).

³⁴⁷⁷ Aristoteles ([Met.]: IX, 8, 1050a 15 ff.), Hvh. im Orig.

³⁴⁷⁸ Aristoteles ([Met.]: II, 2, 994b 1), Hvh. im Orig.

³⁴⁷⁹ Vgl. etwa Rescher (1962: 416): »It is [...] only a point of historic justice to observe that Aristotle himself was never so much of an 'Aristotelian' logician as to be blinded to the importance of process in metaphysics [...].« Rescher (1996: 11) sieht gar in Aristoteles eine der Schlüsselfiguren in der Geschichte der Prozessphilosophie und konstatiert: »While Aristotle's metaphysics of substances and natural kinds was an emphatic substantialism, Aristotle's metaphysics nevertheless also deployed a considerable array of processist elements. For, so Aristotle insisted, the 'being' of a natural substance is always in transition,

gelten kann. Demgegenüber setzt sich mit der Scholastik mit ihrer Überbetonung der Logik ein einseitig statisches Substanzdenken durch, das erst in der neuzeitlichen Philosophie, die sich wesentlich an den Naturwissenschaften orientiert, allmählich wieder aufgebrochen wird. Doch ist gerade noch für Descartes ein Substanzdualismus wie für Spinoza ein Substanzmonismus prägend. Es ist vor allem Leibniz mit seinen *Monaden*, der hier großen Fortschritt bringt, wenngleich diese einer prozessualisierten Substanzidee verhaftet sind. Auch sind später Teile des deutschen Idealismus, konkret die Werke Schellings und Hegels maßgeblich durch prozessuale wie selbstorganisatorische Momente geprägt.³⁴⁸⁰

Mit dem Neuplatonismus um die Metaphysik des Plotin und seiner Schüler wird versucht das zu vollenden, was bei Parmenides und Platon nur Idee war, nämlich das wahrhaft Seiende in eine Ordnung zu bringen und die vielen Ideen in einer obersten zu vereinen. Auch die zentrale parmenideische Vorstellung, die bereits Platons Denken beherrscht, tritt bei Plotin weit schärfer hervor, nämlich dass das wahrhaft Seiende nur das Überempirische, Unveränderliche ist, das allem Einzelnen, Begrenzten und aller Bewegung vorgeordnet ist.³⁴⁸¹ Das damit verbundene Substanzdenken, wie es sich später in der Scholastik zeigt, geht jedoch gerade auch zentral auf die Substanzidee der aristotelischen Kategorienlehre zurück. Während das Problem der *Universalien* bereits bei Platon und Aristoteles angelegt ist, mündet es in dem die Scholastik dominierenden Universalienstreit, der wiederum das für die Entwicklung von Philosophie und Wissenschaften überaus maßgebliche moderne Substanzdenken bei Descartes wesentlich beeinflusst.³⁴⁸² Für die Entwicklung der eigentlichen Substanzmetaphysik ist nun entscheidend, dass mit der Scholastik die aristotelischen Kategorien nicht mehr vornehmlich als Repräsentanzen logischer Strukturen interpretiert werden, sondern sie daneben eine *ontische Wendung* erfahren, indem man sie zu den eigentlichen Grundkategorien des Realen macht. In Bezug auf die Auslegung der aristotelischen Kategorienlehre ist diese ontische Wendung, die vom aristotelischen Standpunkt so nicht zulässig gewesen wäre,³⁴⁸³ als *Interpretationsfehler* zu identifizieren.

Die Schwierigkeit insbesondere der Scholastik, dem logischen und ontologischen Doppelcharakter der Substanz gerecht zu werden, setzt sich mit Descartes und Spinoza in der Philosophie der Neuzeit fort und verschärft sich dort erheblich. Tatsächlich findet die realistische Interpretation des Substanzbegriffs in der Cartesischen Metaphysik der Moderne ihren Höhepunkt. Analog zu Aristoteles ist die Substanz für Descartes ein Ding, das zu

involved in the dynamism of change. [...] Aristotle's position was accordingly something of a halfway house, seeing that his ontology was less one of substances pure and simple than one of substances-in-process«.

³⁴⁸⁰ Vgl. hierzu Rescher (1996: 12 f.); vgl. zum Prozessualen bei Leibniz auch Kaulbach (1965: 30 ff.) und Holzhey (1990), vgl. in Bezug auf Hegel MacDonald (1938), Lucas (1979) und Christensen (1989).

³⁴⁸¹ Vgl. Mensching (1992: 18 f.).

³⁴⁸² Vgl. hierzu Mensching (1992).

³⁴⁸³ Die Kategorienschrift ist im Gegensatz zur aristotelischen Metaphysik als *logischer* Traktat und nicht als realistischer resp. ontologischer Beitrag verfasst.

seiner eigenen Existenz keines anderen Dinges bedarf.³⁴⁸⁴ Dabei sieht sich das Universum nach dem Diktum Descartes' durch nichts anderes charakterisiert als durch die Existenz von Substanzen nebst ihrer Akzidenzen: »Und außer den Substanzen und deren Modi erkennen wir keine andere Gattung von Dingen an.«³⁴⁸⁵ Whitehead (1929a: 50) sieht hier zu Recht die Substanzdefinition des Descartes als Derivat der aristotelischen Variante. überhaupt steht keinesfalls allein Aristoteles, sondern genauso Descartes als Synonym für die Substanzmetaphysik, und es ist nicht zuletzt der die neuzeitliche Philosophie bestimmende Descartes, den Prozessmetaphysiker wie Whitehead (1929a) auf Basis einer neuen Weltanschauung zu überwinden suchen. Der Grund dafür liegt auf der Hand, indem es zu Zeiten Whiteheads im Zuge der *zweiten Revolution* der Physik galt, das Cartesisch-Newtonsche naturwissenschaftliche Weltbild zu überwinden. Darauf aufbauend entwickelt Whitehead eine neue, *dritte Weltauffassung* bzw. einen "*general world view*", auf dem die *dritte Revolution* der Physik insgesamt gründet. Diese dritte Weltauffassung steht unmittelbar in der Tradition Leibnizens; sie baut neben der logico-mathematischen Ereigniskategorie und dem Subjekt-Superjekt vor allem auf einer durch Relationalität geprägten systemischen Ontologie auf. Diese mündet in jenem Komplexitätsparadigma, das heute für Wissenschaft, Technologie und Praxis bestimmend ist.

Zur Realisierung dieser dritten Weltauffassung ist jedoch zunächst das Substanzparadigma der ersten aristotelischen Weltauffassung wie der zweiten, durch Galilei, Newton und Descartes geprägten Weltauffassung zu überwinden. Whitehead teilt entsprechend genauso wenig das aristotelische Substanzdenken wie die in den Augen Whiteheads verhängnisvolle Cartesische Spaltung von Geist und Materie. Dieser Cartesische Substanzdualismus bestimmt das Denken der Moderne, indem zur mathematischen Fassbarkeit der Substanz im Zuge des Aufkommens der exakten Naturwissenschaften die Isolierung der materiellen *res extensa* deshalb unumgänglich wird, weil erst mit Leibniz die universal einsetzbaren Mittel der mathematischen Logik entdeckt werden. Damit führt dieser Cartesische Dualismus geradewegs zur Theorie einer materialistischen, mechanistischen Natur, die von denkenden Geistern überwacht wird,³⁴⁸⁶ und damit zu einer Spaltung in Subjektivismus und Mechanizismus. Der Kosmos erscheint hier gewissermaßen als linear kausal determinierte Weltmaschine. Der Dualismus des Descartes war so bedeutsam, dass es nicht zuletzt auf seiner Grundlage nach dem Ausgang des siebzehnten Jahrhunderts zu der vorher nicht gekannten Aufspaltung von Wissenschaft und Philosophie kam. In der Folge nahm sich die Wissenschaft der materialistischen Natur an, während sich die Philosophie den denkenden Geistern zuwandte.³⁴⁸⁷ Whitehead (1920, 1929a) wendet sich entschieden gegen die Cartesische Bifurkation resp. den Dualismus und insbesondere auch gegen den

³⁴⁸⁴ Vgl. hierzu die Ausfuhungen bei Whitehead (1929a: 50), der sich auf eine ältere Übersetzung von Descartes' *Principles of Philosophy* bezieht.

³⁴⁸⁵ Vgl. Descartes (1644a: II, 55).

³⁴⁸⁶ Vgl. Whitehead (1925: 145).

³⁴⁸⁷ Ibid.

mechanistischen Materialismus des Descartes. Diesen sucht Whitehead durch ein organisches Wirklichkeitskonzept zu ersetzen, durch eine organistische Philosophie, die auf Basis einer kategorialen Universalisierung der mathematischen Logik Geist und Materie nicht mehr länger separiert.³⁴⁸⁸

Infolge des Neuplatonismus, der wiederum seine Wurzeln in der Vorstellung des parmenideischen ewigen Universums findet, sucht sich die Moderne um Descartes auf *zeitlose Grundsätze* zu konzentrieren, die zu allen Zeiten gleichermaßen gelten. Es war also das Dauernde gefragt, während dem Vorübergehenden mithin dem Prozesshaften kein wesentlicher Stellenwert eingeräumt wurde.³⁴⁸⁹ Im Gegensatz zur älteren Philosophie insbesondere Heraklits und Aristoteles', für die Fragen der Zeitgebundenheit von Entscheidungen, Handlungen, Äußerungen oder Argumenten Hauptthemen sind, haben sie demgegenüber für Descartes und Epigonen keinerlei Bedeutung. Diese sehen die Aufgabe der Philosophie bzw. Metaphysik vielmehr darin, das Zeitlose und mit ihm gerade die unveränderlichen Strukturen zu identifizieren, die allen veränderlichen Naturerscheinungen zugrunde liegen.³⁴⁹⁰ Ungeachtet der Aufteilung des Territoriums zwischen Wissenschaft und Philosophie zieht der sich bis Leibniz haltende Interpretationsfehler der Substanzontologen,³⁴⁹¹ nämlich die realistische resp. ontologische Auslegung der aristotelischen Kategorienlehre, entsprechend problematische Konsequenzen für die Wissenschaft nach sich, indem die Substanzphilosophie mehr und mehr zum ontologischen, methodologischen wie epistemologischen Fundament der Erfahrungswissenschaften avanciert. So führt die Cartesische Substanzkonzeption in ihrer Anwendung auf die Physik zu Newtons Annahme von individuell existierenden physikalischen Körpern mit bloß äußerlichen Beziehungen.³⁴⁹² Die Newtonsche Mechanik hat nicht nur über lange Zeit das physikalische Denken bestimmt, sondern ihre Wirkung entfaltete sich bis in die Sozialwissenschaften hinein.

Für die Zwecke der Informatik ist das Substanzparadigma sowohl der aristotelischen als auch der Cartesisch-Newtonschen Weltauffassung unhaltbar, indem sie mit Verweis auf Pkt. 4.1 ihr Ursprungparadigma im Leibnizprogramm sowie ihr neues Paradigma darauf unmittelbar aufbauend in der Whiteheadschen Prozessmetaphysik besitzt. Wenn die Informatik im Werk Leibnizens ihr genuines Ursprungparadigma besitzt, und damit dezidiert auf einer Leibniz-Whiteheadschen Weltauffassung aufsetzt, dann sollte es außer Frage stehen, dass die gesamte Vor-Leibnizsche Philosophie kaum ein geeignetes Fundament für die Disziplin stellen kann. Wenn das neben der formalen Logik vor allem auch für die Metaphysik und formale Ontologie gilt, ist demgegenüber festzustellen, dass dieser Sachverhalt in der Ontologiedebatte der Informatik vollkommen verkannt wird. Anders gewendet sollte die Ontologiediskussion nicht auf diesen beiden veralteten Weltauffassungen

³⁴⁸⁸ Vgl. hierzu auch Balz (1934).

³⁴⁸⁹ Vgl. Toulmin (1990: 34).

³⁴⁹⁰ Vgl. Toulmin (1990: 33 ff.).

³⁴⁹¹ Erst Leibniz greift wieder bewusst auf die Möglichkeiten eines logischen Verständnisses des Substanzkonzepts zurück.

³⁴⁹² Vgl. Whitehead (1929a: 309).

gründen, sondern sich systematisch der dritten Weltauffassung und damit den Leibniz-Whiteheadschen Positionen zuwenden, für die das Automatenuniversum Leibnizens genauso konstituierend ist wie der Gedanke der *Relationenontologie*. Indessen weichen hier Leibniz und Whitehead in den entscheidenden Details voneinander ab, indem bei Leibnizens prozessualisierten Substanzen bzw. bei seinen "fensterlosen" Monaden etwa in Bezug auf Perzeption und Kausalität nur sehr bedingt von einer *Relationenontologie* gesprochen werden kann. Wie bereits zu seiner *Monadologie* angemerkt,³⁴⁹³ ist Kausalität bei Leibniz nur in einem Fall jenseits des Demiurgs zulässig, nämlich als *intra-substantiale* Verursachung der Monade. Demgegenüber ist die *inter-substantiale* Relation zu anderen Monaden gerade *nicht* unmittelbar als kausale Ursache-Wirkung-Beziehung ausgelegt;³⁴⁹⁴ vielmehr werden bei Leibniz die Ereignisse außerhalb der Monade in ihren Vorstellungszustanden widergespiegelt, was wiederum als essentieller Bestandteil seiner *prastabilisierten Harmonie* zu sehen ist.³⁴⁹⁵ Wenn jede Monade das Universum spiegelt, umfasst diese Repräsentation bei Leibniz alle vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Zustände aller anderen Monaden.³⁴⁹⁶ Daraus ergibt sich bei Leibniz die Eigentümlichkeit, dass zwar keine Monade auf die andere faktisch kausal einwirkt, während dennoch der Eindruck universaler Wechselwirkungen entsteht: Insofern ist die Monade nicht losgelöst von der *prastabilisierten Harmonie* zu sehen, indem der Demiurg in der Vorstellung Leibnizens alle Wechselwirkungen der Monaden von Anfang an aufeinander abgestimmt hat. Im Grunde geht es Leibniz dabei um das, was Kant (1800) später als *Regeluniversum* darlegt.³⁴⁹⁷ Die Monaden bei Leibniz bilden *einfache Substanzen*, die keine Teile haben; sie sind nicht nur den aristotelischen Substanzen verwandt, sondern auch dem aristotelischen Entelechiegedanken.³⁴⁹⁸

Gemäß den aristotelischen Kategorien kann nur dasjenige "sein", was entweder unabhängig von anderem vorliegt und damit *Substanz* ist, oder was an einer Substanz als *Akzidenz* vorliegt, ohne dass es unabhängig von ihr existieren könnte.³⁴⁹⁹ Demnach ist die prinzipielle Autonomie der Substanz und damit ein prinzipielles Unabhangigkeitskriterium als ihr definierendes Merkmal identifiziert.^{3500, 3501} Wenn Aristoteles und auf diesem aufbauend auch Descartes die Ansicht vertreten, dass außer Substanzen und deren Modi keine En-

³⁴⁹³ Vgl. Fn. 2553.

³⁴⁹⁴ Vgl. auch Poser (2016: 39).

³⁴⁹⁵ Vgl. dazu Wunderlich (2015: 114).

³⁴⁹⁶ Vgl. Poser (2016: 39).

³⁴⁹⁷ Insofern haben die Gedanken Leibnizens auch für die Informatik eine konstituierende Funktion; denn genau in dieser Hinsicht sind sie in der Adressierung aller Welten, einschließlich *möglicher Welten*, neu. Indessen steht außer Zweifel, dass die Informatik zur faktischen digitalmetaphysischen Begründung ihrer Theorien, Ansätze und Konzepte allein an der *techno-wissenschaftlichen* Prozessmetaphysik Whiteheads festmachen kann, die dezidiert auf die Adressierung *komplexer Systeme* ausgelegt ist.

³⁴⁹⁸ Vgl. Poser (2016: 137 ff.).

³⁴⁹⁹ Vgl. Aristoteles ([Cat.]: 5, 2b 4 ff.); vgl. hierzu auch Rosenkrantz/Hoffman (1991: 836 f.).

³⁵⁰⁰ Substanz ist für Aristoteles ([Cat.]: 5, 2a 12 ff.), was »weder von einem Zugrundeliegenden ausgesagt wird noch in einem Zugrundeliegenden ist«. Mit unserem Terminus der *prinzipiellen Autonomie* ist hier gemeint, dass Substanzen selbst das Vorliegende sind und nicht eines anderen bedürfen, an denen sie als einem Zugrundeliegenden vorliegen könnten, vgl. Aristoteles ([Cat.]: 2, 1a 20 ff.).

³⁵⁰¹ Vgl. Rosenkrantz/Hoffman (1991).

titaten zu akzeptieren sind, sollten die Folgen für die Informatik evident sein. Denn für diese ist gerade die Relationalität konstituierend, die im Kontext der beiden ersten Welt-auffassungen, also der aristotelischen wie der Cartesisch-Newtonschen auf Basis des Substanzparadigmas zum Problem wird: Wenn es allein *Substanzen* gibt, dann kann es mit Whitehead (1929a) in klassischen Substanzontologien auch keine *Relationen* als solche geben; denn diese können keine Substanzen auszeichnen, indem dies im Widerspruch stünde zur prinzipiellen Autonomie der Substanz einerseits, und dem relationalen Charakter der Relation andererseits:

»The doctrine of the individual independence of real facts is derived from the notion that the subject-predicate form of statement conveys a truth which is metaphysically ultimate. According to his view, an individual substance with its predicates constitutes the ultimate type of actuality. [...] With this metaphysical presupposition, the relations between individual substances constitute metaphysical nuisances: there is no place for them.«³⁵⁰²

Entsprechend ist die Auslegung der Relation als ein *zweistelliges* Prädikat für Aristoteles logisch ausgeschlossen, weil sie dann bei zwei aufeinander bezogenen Substanzen gleichzeitig vorläge. Damit aber wäre das prinzipielle Unabhangigkeitskriterium der Substanz verletzt; beide Substanzen wären als ein Ganzes, als Komposition, aufzufassen. Wenn in der aristotelischen bzw. Cartesischen Weltsicht der offenbare wie gleichermaßen fragwurDIGe Zwang besteht, alles Sein auf die einzelne Substanz gründen zu wollen, wird ein durch *Relationalität* geprägtes Universum unmöglich. Denn eine Relation kann ex definitione nicht lediglich an *einer* Substanz vorliegen, weil ihr relationaler Charakter immer mindestens zwei Substanzen aufeinander bezieht. Eine Relation kann auch nicht der einen oder der anderen Substanz zugeordnet werden, weil dieser Schritt gerade die Einheit des Phänomens, das als *Relation* zwischen den Substanzen bezeichnet wird, zerreißen würde.

Aristoteles wählt in seiner Kategorienschrift entsprechend einen anderen Weg, indem er die Beziehungen, die zwischen Substanzen bestehen können, auf *Relata* einschränkt. *Relata* sind deshalb als *einsteilige* Prädikate zu verstehen, weil ihnen lediglich die Eigenschaft zukommt, in einer bestimmten Relation zu stehen. Beziehungen zwischen Substanzen werden bei Aristoteles ([Cat.]) wie später bei Descartes über einen quasi-relationalen Kunstgriff hergestellt, indem man versucht, diese auf die Qualitäten der Substanzen zurückzuführen. In diesem offensichtlich kaum zeitgemäßen ontologischen Ansatz wird also versucht, Beziehungen durch genau den Schritt existent werden zu lassen, indem sich die Qualitäten verschiedener Substanzen einander entsprechen. Eine Beziehung zweier Substanzen konstituiert sich demnach in der aristotelischen Kategorienlehre und später bei Descartes in Gestalt eines Entsprechungsverhaltnisses zweier Qualitäten, von denen die eine – pro forma – ausschließlich einer ersten, die andere ausschließlich einer zweiten Substanz anhaftet. Ob sich auf diese Weise komplexe Phänomene der Realität erklären lassen, muss allerdings mehr als zweifelhaft bleiben. Das gilt mit Whitehead (1920) nicht zuletzt

³⁵⁰² Whitehead (1929a: 137).

für den Fall, in dem es sich um *multiple Relationen* handelt, die mehr als zwei Relata beinhalten.³⁵⁰³

»Some schools of philosophy, under the influence of the Aristotelian logic and the Aristotelian philosophy, endeavour to get on with admitting any relations at all except that of substance and attribute. Namely all apparent relations are to be resolvable into the concurrent existence of substances with contrasted attributes. [...] Other schools of philosophy admit relations but obstinately refuse to contemplate relations with more than two relata.«³⁵⁰⁴

Indem solche *multiplen Relationen* für dissipative Systeme im Zeichen dissipativer Strukturbildung die Kategorie der *Relation* voraussetzen, und sie damit für die Informatik und Komplexitätsforschung insgesamt unabdingbar ist, wird bereits die Unhaltbarkeit einer Ontologie offensichtlich, die im Kern auf dem aristotelischen Substanzgedanken aufzubauen sucht. Offensichtlich ist es gerade die Konfrontation mit der Whiteheadschen (1929a) Prozessmetaphysik, die erst die eigentlichen Schwächen der aristotelischen Ontologie richtiggehend offenbart. Denn Whiteheads Prozessmetaphysik stellt in einer tiefgreifenden Auseinandersetzung und einer Symbiose der verschiedensten Philosophien deren Schwächen systematisch ab. Hierzu gehört vor allem, dass die aristotelische Substanz bei Whitehead durch die *actual entity* als Ereigniskategorie ersetzt wird, und diese besitzt als wirkliches Einzelwesen einen prinzipiellen *relationalen* Charakter gegenüber der prinzipiellen Autonomie der Substanz. Genauso gehört dazu die Umkehrung des aristotelischen Prozesskonzepts, wie es sich heute immer noch gerade in Form der wichtigsten Top-level Ontologien wie BFO, BWB oder DOLCE findet. Denn dieses ist bei Aristoteles mit der primären Substanz – bzw. bei modernen Ontologien mit dem "Ding" oder "Objekt" – gewissermaßen von der Statik zur Dynamik hin konzipiert, während bei Whitehead das primäre Moment genau umgekehrt im Prozessualen besteht, das erst in der Reproduktion von Ordnungsmustern zum Beharrenden wird. Objekte resultieren also erst aus Prozessen und befinden sich im Sinne dissipativer Strukturen in permanenten Ereignisströmen; damit ist es allein diese Sichtweise, die mit den modernen Naturwissenschaften, etwa der Nichtgleichgewichtsthermodynamik konform geht.

Wenn Aristoteles durch Rescher (1996) zum Vorläufer der Prozessphilosophie erhoben wird, kann das gewiss nur sehr eingeschränkt gelten. Es ist offensichtlich, dass bei Aristoteles die Kategorien im parmenideisch-platonischen Sinne sowohl dem Zustand des Statischen als auch der Dynamik genügen sollen. Entsprechend ist bei ihm auch etwa das Zusammenspiel seiner *Kategorienschrift* einerseits und seiner *Physik* andererseits zu sehen; in deren Buch E werden der Begriff der Bewegung, die Prozesse und Prozessverläufe offensichtlich im Kontext seiner *Kategorienlehre* behandelt.³⁵⁰⁵ Es lässt sich sagen, dass die Physik für Aristoteles die Wissenschaft von Prozessen und von Veränderungen ist, die sich in der Natur vollziehen. Im Grunde genommen muss man zu der Erkenntnis gelangen, dass bei Aristoteles der Kosmos mit den Fixsternen allein an seiner äußersten Grenze eine ge-

³⁵⁰³ Vgl. hierzu Whitehead (1920: 150).

³⁵⁰⁴ Whitehead (1920: 150).

³⁵⁰⁵ Auch behandelt Aristoteles ([Phys.]: H) die Arten von *Veränderung* nach den drei Dimensionen des Ortes, der Qualität und der Quantität, wie es bereits in der *Kategorienlehre* vollzogen wird.

wisse Stabilität erlangt, und dass alle anderen Erscheinungen dem Wandel unterworfen sind.³⁵⁰⁶

Nicht nur in der aristotelischen *Physik*, sondern auch in seiner *Metaphysik* wird dem prozessualen Moment letztlich ein größerer Stellenwert eingeräumt als dem Substantiellen.³⁵⁰⁷ Insofern handelt es sich um eine Fehlinterpretation, wenn Sprachphilosophen im Zuge des Rückgriffs der deskriptiven Metaphysik auf die aristotelischen Kategorien diesen prozessualen Momenten wenig Beachtung schenken. Dann nämlich wäre evident, dass diese prozessualen Momente in eine zeitgemäße Konzeption zu transformieren sind, die gerade auf deren Relationalität und Komplexität abzustellen hätte. Indessen ist es genauso verfehlt anzunehmen, dass es sich bei der aristotelischen Physik um die aktuelle *Physik der Evolutionsprozesse* handelt; analoges gilt für den Umstand, dass die aristotelische Metaphysik gewiss keine *Prozessmetaphysik* darstellt. Auch wenn bei ihm verschiedenste prozesshafte Momente festzustellen sind, darf nicht verkannt werden, dass der aristotelische Ansatz ontisch allein an *Substanzen* festmacht. Es bilden gerade nicht wie bei Whitehead *Ereignisse* bzw. *Prozesse* den eigentlichen Gegenstand der ontischen Analyse. Auch werden auf Basis des aristotelischen Hylemorphismus die Strukturen der Realität gänzlich anders interpretiert als auf Grundlage des Antimaterialismus Whiteheads.

Prozessuale Momente wie Bewegung und Wandel zeigen sich indessen nicht nur in der *Physik* und *Metaphysik* des Aristoteles, sondern in spezifischer Weise auch bereits in der logischen Analyse der aristotelischen *Kategorienlehre*. Hier sucht Aristoteles aufzuzeigen, dass ein und dieselbe Substanz empfänglich dafür ist, konträre Attribute anzunehmen.³⁵⁰⁸ Dies gilt einmal in Bezug auf die *Kategorie der Qualität*, zu der Aristoteles beispielhaft erklärt, dass ein Körper etwa in einem Moment kalt, in einem anderen warm sein kann, oder ein Mensch zu einer Zeit "gut", zu einer anderen "schlecht" ist. Wandel ist auch hinsichtlich der *Kategorie der Quantität* möglich; Bewegung gemäß der *Quantität* zeitigt sich entweder als Wachstum oder als Abnahme. Schließlich trifft dies auch für die *Kategorie des Ortes (das Wo)* zu, bei der es einen Wechsel von hier nach dort gibt; genauso für die *Kategorie der Zeit (das Wann)*, wenn sich die Bewegung vom Früher zum Später vollzieht.³⁵⁰⁹ Allerdings steht außer Frage, dass sich dies auf eine rein akzidentelle Behandlung der Zeit beschränkt; Veränderung in der Zeit ist gerade essentiell nicht in dem Sinne gemeint, dass es sich um eine eigene, vierte Dimension handelt. Die Substanz wird also gerade nicht im raumzeitlichen Sinne endogen transformiert. Es kann deshalb nicht um eine *endogene Transformation* eines Objekts in historischer Zeit gehen, weil dies der Selbstidentität der Substanz widerspräche. Somit steht außer Frage, dass die Selbstorganisationsprozesse der Prozessmetaphysik völlig andere sind als ein Wandel auf Substanzbasis. Das gilt auch dann, wenn Aristoteles bereits die Bedingungen des spontanen Entstehens (*apo*

³⁵⁰⁶ Vgl. auch Rescher (1996: 11).

³⁵⁰⁷ Vgl. hierzu auch Rescher (1962: 416 f.), Schramm (1962) und Kaulbach (1965: 1 ff.).

³⁵⁰⁸ Vgl. Aristoteles ([Cat.]: 5, 4a 10 ff.).

³⁵⁰⁹ Vgl. Aristoteles ([Cat.]: 12, 14a 35 f.).

tautomátou) untersucht,^{3510, 3511} die für selbstorganisatorische Prozesse konstituierend sind. Demgegenüber ist die exogene Behandlung der Zeit in der Kategorienschrift solange legitim, wie dieser Schrift ihr eigentlicher, rein logischer Charakter zukommt. Wenn die Kategorienschrift mit ihrer im Grunde "zeitlosen" Substanzkategorie später jedoch durch Plotin und die Scholastik nicht mehr im *logischen*, sondern im *ontologischen* Sinne ausgelegt wird, wird die exogene Behandlung der Zeit spätestens dann zum Problem, wenn sich der prozessuale Wandel auf wissenschaftlich relevante Sachverhalte bezieht. Wenn die Relationalität verschiedenster Systemelemente in den Vordergrund rückt, indem sie sich etwa temporär zu komplexen Entitäten zusammensetzen. Insgesamt bleibt zu konstatieren, dass die zehn aristotelischen Kategorien zwar in gewissen Grenzen prozessual auslegbar sind, aber – im Gegensatz zur Metaphysik Whiteheads – gewiss nicht genuin prozessual konzipiert sind.

Die (neo-) aristotelische Substanzontologie ist nicht zuletzt auch insofern von größter Bedeutung, als mit Blick auf den in Pkt. 6.2.2 behandelten Widerstreit um die *deskriptive* und *revisionäre* Metaphysik durch beide metaphysische Richtungen Aristoteles als Ursprung geltend gemacht wird. Allerdings beziehen sich diese auf unterschiedliche Werke: bei der *deskriptiven* Richtung geht es vor allem um die aristotelische ([Cat.]) *Kategorien*, die insbesondere Strawson (1959) im Sinn hat; bei der *revisionären* Richtung geht es demgegenüber kaum um diese, als vielmehr in einem naturalistischen Sinne um die aristotelische ([Phys.]) *Physik* bzw. ([Met.]) *Metaphysik*.³⁵¹² Diese *revisionäre* Auslegung des aristotelischen Werks ist insbesondere für die Metaphysik Bunges (1977a) kennzeichnend. Tatsächlich gibt es auch TLO-Ansätze wie die BFO-TLO Smithens, für die sämtliche Werke relevant erscheinen müssen, wenn nicht umsonst für Dritte häufig unklar ist, ob es sich bei diesem – nicht zuletzt in seiner Aristoteles-Rezeption – um einen *revisionären* oder *deskriptiven* Ansatz handelt. Indessen ist in Bezug auf die aristotelische Philosophie die Sachlage klar: es dominieren die Metaphysik als Basis und die Physik als wichtigste empirische Disziplin; die Kategorienschrift behandelt lediglich die klar nachgeordneten Fragen der Repräsentation des Wissens, indem es in zentraler Weise um die Frage geht, was von einem Zugrundeliegenden logisch ausgesagt werden kann. Insofern handelt es sich insgesamt zweifellos um einen *revisionären* Ansatz, womit Strawson (1959) gänzlich falsch liegt, diesen in unzulässig einseitiger Fixierung auf die Kategorienschrift als Ursprung einer für sich stehenden deskriptiven Metaphysik zu bemühen.

³⁵¹⁰ Vgl. Aristoteles ([Met.]: VII, 9).

³⁵¹¹ Vgl. auch Aristoteles ([Met.]: VII, 7, 1032a, 28): »Manche [Arten des Werdens] [...] geschehen [...] auch von ungefähr und durch Zufall (*týchē*), so wie es auch bei dem natürlich Werdenden vorkommt [...]«.

³⁵¹² Der Terminus "*Metaphysik*" war anfänglich lediglich der Name für die Schriften des Aristoteles, die in der ersten Gesamtausgabe nach seinen Schriften über die Physik eingeordnet wurden; bei Aristoteles selbst wird dieses Gebiet aufgrund seines grundlegenden Charakters noch als "*Erste Philosophie*" bezeichnet.

Dass es sich bei Aristoteles insgesamt um einen *revisionären* Ansatz handelt, haben in dessen eine Reihe von Ontologen nicht richtig verstanden, genauso wenig, was die revisionäre Metaphysik eigentlich überhaupt wesentlich ausmacht. Das nämlich ist mit Verweis auf Pkt. 4.1 bzw. Pkt. 6.2.2 der *Ratio-Empirismus*, der durch die wenigsten Metaphysiker betrieben wird, worin ein unmissverständlicher Indikator für überholte Metaphysikkonzeptionen besteht. Tatsächlich ernstzunehmende Metaphysiken sind universal in dem Sinne, dass sie sich auf jene "*nontoy worlds*" beziehen, die Hayes (1979) für die AI-Tradition fordert. Dann geht es offensichtlich ungeachtet der Legitimation möglicher Welten primär um den Kosmos, und mit diesem um Sachverhalte, die allein über eine wissenschaftsorientierte bzw. lebensweltliche Philosophie erschließbar werden. Damit aber ist zum einen impliziert, dass der universale Anspruch der Metaphysik wesentlich wissenschaftliche, technologische wie praktische Ontologien mit zu umschließen hat. Zum anderen, dass Metaphysik mit der Einheit der Erkenntnis wie der Einheit allen Wissens auf eine integrierte metaphysische Wissensontologie hinauszulaufen hat. Entsprechend hat sie insbesondere auch mit der Informatik, speziell mit KR-Belangen zu korrespondieren, womit es essentiell um eine Digital- bzw. Computermetaphysik gehen muss. Insgesamt ist für diese der Ratio-Empirismus genauso wie die techno-wissenschaftliche Ausrichtung der Metaphysik kennzeichnend, womit eine zeitgemäße wie tatsächlich zu rechtfertigende Metaphysik auf eine Klasse-4-Metaphysik hinausläuft. Wenn sich eine adäquate Wissensrepräsentation allein auf Basis universal richtiger Kategorien begründen lässt, ist die Problematik der Substanzmetaphysik offensichtlich. Bunge (1977a: 26) hat diese im Zuge des Ratio-Empirismus erkannt, indem er konstatiert, dass die aristotelische Vorstellung einer selbstidentischen Substanz durch die Wissenschaften widerlegt ist.

Aus dem Unabhängigkeitskriterium, das für die Substanzkategorie charakteristisch ist,³⁵¹³ geht eine Verbindung zwischen Substanzmetaphysik und dem Atomismus Cartesischer Provenienz hervor:³⁵¹⁴ Physische Körper müssen aufgespalten werden in ihre unmerklichen Teile, die erst in Relation zueinander gesetzt die materiellen Dinge konstituieren. Im Atomismus Cartesischer Provenienz müssen die Atome *ex definitione* des Substanzbegriffs notwendig *unveränderlicher* Natur sein, wie es der heutigen Erkenntnis der Naturwissenschaften widerspricht.³⁵¹⁵ Offenbar ist damit weder die Substanzidee noch das aristotelische Kategorienschema aktuell und verlangt nach rigoröser Revision. Das aber wird in der Informatik übersehen, wenn die überwiegende Zahl der Verfechter deskriptiver Metaphysik wie auch anderer Ontologieansätze auf Basis der aristotelischen Kategorien in letztlich wenig reflektierter Weise an einer mehr als zweitausend Jahre alten, und damit unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten veralteten Weltansicht festmachen. Mit der zent-

³⁵¹³ Vgl. etwa Kneale (1940: 108) und Singer (1975: 20).

³⁵¹⁴ Bekanntlich existieren verschiedene Spielarten des *Atomismus*, mit Leukipp seit den Anfängen auch solche, die mit der Prozessmetaphysik konform gehen; entsprechend ist hier jene gemeint, die mit einer deterministisch-mechanistischen Weltauffassung korrespondiert.

³⁵¹⁵ Vgl. hierzu auch Bauberger (2003: 61).

ralen Stellung, die Ontologien für sämtliche Disziplinen besitzen, ist darin ein Kardinalfehler zu sehen, der für sensible Systemintegrationen im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* inakzeptabel ist.

Der Rückgriff auf die aristotelische Metaphysik bzw. Ontologie vollzieht sich insgesamt auf einer breiten Basis. Es ist festzustellen, dass neben (i) einfachen Common Sense-Ontologien bzw. der damit einhergehenden (ii) deskriptiven Metaphysik schließlich auch (iii) die überwiegende Zahl der TLO-Ansätze in einer mehr oder minder engen Verbindung zum aristotelischen Kategoriensystem stehen. Das gilt etwa für folgende TLO-Ansätze: BFO, BWW, OCHRE, UFO, SUMO, Miltons Chisholm-Ontologie sowie partiell auch für DOLCE oder GFO. Allerdings bleibt anzumerken, dass dies in einem teils sehr divergierenden Maße geschieht und die Ansätze, etwa die Ontologie Bunes mitunter erheblich von der aristotelischen Perspektive abweichen. Richtig ist, dass all diese Ansätze insofern "Furniture-Ontologien" darstellen, als sie sich an Gegenständen im Raum orientieren. In genau diesem Sinne besitzen sie mindestens eine Substanzwurzel, und es handelt sich entsprechend entweder um 3D-Ansätze, um 3D+T-Ansätze oder um kombinierte 3D-/4D-Ansätze. Indem solche vorhandenen Gegenstände den Orientierungspunkt bilden, handelt es sich nicht um Prozessontologien bzw. 4D-Ansätze, bei denen die Ordnungen bzw. Objekte erst im Zuge endogener Transformationen im Zeitablauf emergieren. Mit solchen "Furniture-Ontologien" zumeist verbunden sind die aristotelischen immanenten Universalien, indem die Gegenstände im Raum entweder *sortale Universalien* bilden oder *charakterisierende Universalien* aufweisen. Für die BFO-TLO ist beides konstituierend; es handelt sich um einen maßgeblich neo-aristotelisch geprägten Ansatz. Demgegenüber ist etwa für den 3D-Modus der DOLCE-TLO die "Furniture-Ontologie" charakteristisch, genauso Strawsons, vermeintlich auf die aristotelische Kategorienschrift zurückreichende deskriptive Metaphysik. Die genannten TLO-Ansätze sind also in sehr unterschiedlicher Weise "aristotelisch". Ungeachtet ihrer gleichen Wurzel bzw. Teilwurzel sind diese Ansätze dennoch inkompatibel; in Pkt. 3.3.1 wurde bereits auf die Divergenz der verschiedenen neo-aristotelischen TLO-Ansätze hingewiesen.

Das zentrale Problem der aristotelischen Metaphysik besteht somit offensichtlich darin, dass es sich bei ihr insbesondere mit Verweis auf die aristotelische Metaphysik und Physik eigentlich um einen *revisionären Ansatz* handelt, der in der aristotelischen Kombination von Metaphysik und empirischer Wissenschaft selbstredend einen systematisch praktizierten *Ratio-Empirismus* einfordert. Indem dies als Kern der aristotelischen Position zu erachten ist, besteht allein in der Buneschen (1977a) Ontologie die einzig tatsächlich legitime neo-aristotelische Position. Allerdings erstreckt sich dieses Unterfangen mit Verweis auf Pkt. 4.1 auf den Stand der Klasse-3-Metaphysik, also auf die rein wissenschaftliche Metaphysik, nicht auf die für die Informatik erforderliche Klasse-4-Metaphysik. Hinzu kommt mit Verweis auf Pkt. 5.3, dass die Positionen, die Bunge im Rahmen der wissenschaftlichen Metaphysik vertritt, überaus umstritten sind. Indessen lässt sich der Umstand,

dass Bunge erkannt hat, dass die (neo-) aristotelische Substanzontologie auf Basis des *Ratio-Empirismus* zu reflektieren und – wie bei ihm vollzogen – kategorial zu modernisieren ist, nicht genügend hervorheben. Denn eine große Zahl von Metaphysikern bzw. Ontologen ist offensichtlich der Auffassung, dass sich in über zweitausend Jahren metaphysischer Forschung, insbesondere in ihrer Flankierung durch die modernen Wissenschaften die Auffassung von dem, was die fundamentalen Strukturen der Welten, insbesondere der Realität ausmacht, *nicht* grundsätzlich geändert hat. Dass darin ein grundlegender Irrtum besteht, wird dann klar, wenn die fundamentalen Unterschiede zwischen der aristotelischen und der Whiteheadschen Metaphysik im Detail verstanden sind. Wesentlicher ist jedoch die Erkenntnis, dass diese Unterschiede nicht etwa zufällig sind, sondern dezidiert auf die Fortschritte in den Formal- wie den Erfahrungswissenschaften zurückgehen.

Mit Whitehead (1929a: 8) ist im Zeichen des Ratio-Empirismus zu betonen, dass metaphysische Kategorien keine dogmatischen Behauptungen darstellen, sondern vielmehr – im Sinne von Poppers *Kritischen Rationalismus* – vorläufige Entwürfe, um die wesentliche Natur des ultimativ Allgemeinen zu erfassen. Stimmt man diesem Grundsatz zu, ist Ontologie offensichtlich völlig anders zu verstehen als es heute landläufig geschieht. Denn dann ist der Irrtum offenkundig, Kategoriensysteme, deren Kern einer über zweitausend Jahre alten Denklogik entspricht, ohne eine eingehende ratio-empirische Reflexion kritiklos voraussetzen. Gleiches gilt für den damit verbundenen Irrtum, das Zusammenspiel von universaler Ontologie und regionalen Ontologien nicht gebührend zu untersuchen. Vielmehr ist mit Whitehead zu erkennen, welche fundamentale Funktion techno-wissenschaftliche Erkenntnis für die fortwährend zu überprüfenden Kategoriensysteme einnimmt. Diese grundlegende Funktion haben offensichtlich die meisten Ontologen insofern nicht verstanden, als der *Ratio-Empirismus* bei ihnen keine systematische Rolle spielt, was oftmals an der verfehlten sprachphilosophischen Orientierung liegt. Zwar hat dieser Zusammenhang immer bestanden; allerdings wird er heute mit der zentralen Stellung der *Top-level Ontologien* erst richtig offensichtlich. Dabei ist die zentrale Stellung, die Kategorienschemata eigentlich besitzen, aus dem Grunde unübersehbar, als sie das Scharnier zwischen Metaphysik und Wissensrepräsentation bilden, womit eine TLO-basierte Ontologiekonzeption immer als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu verstehen ist.

Die in Pkt. 3.5 dargelegte Idee einer solch *integrierten metaphysischen Wissensontologie* findet sich im Grunde schon bei Aristoteles, nämlich insofern, als sich die Substanz sowohl in der – fälschlicherweise – im Sinne *deskriptiver Metaphysik* ausgelegten Kategorienschrift als auch in seiner Metaphysik findet. Um die Substanzkategorie sachgerecht zu verstehen, ist die *revisionäre* aristotelische Metaphysik heranzuziehen. Legt man sie auf *linguistischer* Basis im objektbezogenen Sinne *statisch* aus, so ist dies mit Verweis auf die weiter unten gemachten Ausführungen falsch. Mit anderen Worten kommt Davidsons (1967) *Logical Form of Action Sentences* bzw. Ereignissemantik mehr als zweitausend Jahre zu spät, wenn Strawson (1959) der Versuchung erliegt, die Kategorienschrift im Zei-

chen seiner deskriptiven Metaphysik zu interpretieren. Jenseits von Metaphysikern wie E.J. Lowe (1998) irren deskriptive Ontologen genauso wie Computerlinguisten in der Annahme, man könne neo-aristotelische Kategorien übernehmen, ohne revisionäre Metaphysik bzw. überhaupt ohne techno-wissenschaftliche Metaphysik mitsamt des Ratio-Empirismus zu vollziehen. Das betrifft schon die aristotelische Auslegung der Kategorien selbst, wenn sich *Sein und Werden* bei Aristoteles nicht ohne die zentrale Rolle der *Entelécheia* verstehen und beurteilen lässt. Dabei wird es zum Problem, wenn die *Entelécheia* in der Kategorienschrift nicht vorkommt, während die substantiellen Werdeprozesse, in denen das Ganze bei Aristoteles steht, allein in der Physik bzw. in der revisionär zu verstehenden Metaphysik behandelt werden.³⁵¹⁶

Eine sachgerechte Auslegung der revisionären Metaphysik hat mindestens eine wissenschaftliche Metaphysik der Klasse 3 zur Konsequenz; mit Blick auf eine universale Wissensrepräsentation muss es sich genauer besehen um eine techno-wissenschaftliche Metaphysik der Klasse 4 handeln. Daraus folgt, dass Ontologie- bzw. TLO-Ansätze, die sich als neo-aristotelisch verstehen, letztlich implizit voraussetzen, dass die kategorialen Erkenntnisse, die sich aus modernen wissenschaftlichen Schlüsseltheorien wie der modernen Evolutions-, Relativitäts- und Quantentheorie oder aus der Theorie dissipativer Strukturen auf Grundlage der Nichtgleichgewichtsthermodynamik ableiten lassen, keine zentrale Rolle spielen. Zumindest geht es dabei nicht um allgemeinste Theorie, wie sie im Zeichen des *Ratio-Empirismus* steht. Dieses Problem stellt sich im Grunde für sämtliche neo-aristotelischen Ansätze mit Ausnahme der Bungeschen Ontologie, die den aristotelischen Substanzgedanken mit dem Ratio-Empirismus einer grundsätzlichen Modifikation unterzieht.

Mit Pkt. 6.1.3 sind metaphysische Kategorienschemata selten falsch; vielmehr erweisen sich die zahlreichen konkurrierenden Entwürfe von Kategoriensystemen als mehr oder minder geeignet, um als tatsächlich *universales* Schema für alle Zwecke fungieren zu können. Insofern lassen sich TLO-Kategorienschemata, die neo-aristotelisch geprägt sind, auch kaum widerlegen. Das gilt insbesondere dann, wenn sie nicht durch empiristische Momente geprägt sind. In diesem Sinne ist Poppers (1979) Verständnis von Metaphysikkritik auf die TLO-Debatte zu übertragen. Insofern ist zunächst nach den Zwecken der Metaphysik zu fragen, um Metaphysikansätze wie auch die metaphysischen TLO-Ansätze sachgerecht evaluieren zu können. Die Zwecke der Metaphysik liegen letztlich immer in der Erkenntnis; insofern Metaphysik auf das Universale und damit auf das Einheitliche zielt, gilt auch hier, dass in der *Einheit der Erkenntnis* und damit letztlich in der *Einheit allen Wissens* die vorderste Zielsetzung bestehen muss. Insofern kommt keine Metaphysik an den Wissenschaften vorbei. Allerdings besteht darin durchaus keine selbstverständliche Position, was nicht einmal für die *Naturphilosophie* gilt, wenn Prigogine/Stengers (1984: 94) feststellen: »We have [...] raised the question of whether it is possible to

³⁵¹⁶ In den aristotelischen ([Cat.]) *Kategorien* beschränkt sich Aktivität bzw. Passivität in typisch linguistischer Art auf ein "Tun" oder "Erleiden"; auch ist zwar von "Werden" und "Vergehen" die Rede, steht hier aber nicht in einem *revisionär metaphysischen*, sondern in einem *sprachlichen* Zusammenhang.

formulate a philosophy of nature that is not directed against science«. Insofern liegt hier manches im Argen. Ungeachtet dessen bestehen die Zwecke jeder ernstzunehmenden Metaphysik wie korrespondierender Kategorienschemata zuvorderst in allem, was in irgendeiner Weise mit Wissenschaft zu tun hat. Das lässt sich genau spezifizieren, indem dies die *wissenschaftliche Philosophie*, die *reine und angewandte Wissenschaft* und schließlich die *Technologie* sind. Dabei gehört die Technologie insofern zur Einzugssphare der Wissenschaften, indem Technologie nicht nur verschiedenste wissenschaftliche Erkenntnisse kombiniert und anwendet, sondern dabei mitunter auch neue wissenschaftliche Fragestellungen aufwirft.

Daraus folgt, dass metaphysische Kategoriensysteme sich keineswegs etwa auf die Philosophie beschränken können, wie es die meisten Metaphysiker gemeinhin annehmen. Vielmehr müssen metaphysische Kategorien im Sinne der Klasse-4-Metaphysik so beschaffen sein, dass sie auch in den Wissenschaften und Technologien Verwendung finden können, denn sonst wird die Metaphysik ihrer universalen Rolle nicht gerecht. Gute Metaphysik kann diese Herausforderung nicht scheuen, sondern muss sie vielmehr schätzen. Denn tatsächlich liegen die größten Probleme der Klasse-1- und Klasse-2 Metaphysik genau darin, dass sie kaum bis gar keinen realen Aussagegehalt besitzen. Dabei handelt es sich um jene Art von Metaphysik, die Kant (1781) im Zeichen seiner Reflexion zu Recht bekämpft, indem sich auf ihrer Basis alles und nichts begründen lässt. Gute Metaphysik steht darüber hinaus in direktem Zusammenhang zur Epistemologie, zur Wissenschaftstheorie und damit insgesamt zur Theorie des Wissens. Damit sollte um einiges klarer werden, warum metaphysische Kategorien über die Wissenschaft hinaus auch für Technologien anwendbar sein müssen. Denn dieser Grund besteht in allen Arten formaler Wissensrepräsentation, deren kategoriale Basis nicht ohne metaphysische Kategorien realisierbar ist. Dabei erweist sich zunächst die Frage nach den fundamentalen Strukturen der repräsentierten Welt als entscheidend, weil ohne diese Frage die Wissensrepräsentation dieser Welten kaum ihrem strukturellen Kern gerecht werden kann.

Indessen betrifft dies nicht nur die jeweilig repräsentierte Welt bzw. das Diskursuniversum (UoD), sondern im Zeichen des Transdisziplinaritatsgedankens mindestens genauso wesentlich die eigentlich entscheidende TLO-Frage nach *universal* anwendbaren Kategorien. Also solchen, die sich im Grunde auf sämtliche Diskursuniversen *einheitlich* anwenden lassen. Wie in Pkt. 3.2.1 gezeigt, zieht jedes andere Vorgehen *semantische Silos* nach sich, die dem Gedanken universaler Ontologie diametral entgegenstehen. Damit zeigt sich erneut das elementare Zusammenspiel von Metaphysik und der zuvorderst durch die *Erste Philosophie* bestimmten AI-Tradition. Damit steht außer Frage, dass eine moderne Metaphysik nicht an den Zwecken der Informatik vorbeikommt; jede gute Metaphysik muss diese erfüllen. Damit steht auch im konkreten AI-Zusammenhang außer Frage, dass jede sachgerecht konzipierte Metaphysik auf eine Klasse-4-Metaphysik hinausläuft. Wie die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* offenbart, können Kategorien nur dann tatsächlich

universal sein, wenn sie das Produkt von Klasse-4-Metaphysiken sind. Und in diesem Sinne müssen die Kategoriensysteme tatsächlich *universal* sein, wie es der Anspruch der Metaphysik an sich ist.

Vor diesem Hintergrund muss es zu denken geben, wenn die neo-aristotelische Metaphysik weder den Prüfungen des Ratio-Empirismus standhält noch überhaupt eine Klasse-4-Metaphysik darstellt. Wieso sind die aristotelischen Grundlagen dann für viele TLO-Ansätze bestimmend? Insofern ist es berechtigt, die aristotelische Metaphysik im Kontext der Informatik einer Kritik zu unterziehen, auch wenn sie nie für ihre Zwecke geschaffen wurde. Zwar bestehen die speziellen Anforderungen der Ontologie der Informatik seit Mealy (1967) erst seit fünfzig Jahren, doch sind die eigentlichen ontologischen Anforderungen gewiss die alten: mit Blick auf die AI-Ontologie geht es um die Frage der kategorialen Repräsentation des Wissens, was eine alte Frage ist. Mit Blick auf die CM-Ontologie geht es um die Frage der generellen realen Weltauffassung, was ebenfalls ein ursprüngliches Anliegen ist. Insofern ist weder McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" noch das Problem der *Top-level Ontologie* an sich neu. Es sind die alten Fragen, wie sie immer schon im Kontext von Metaphysik und Epistemologie stehen. Entsprechend heißt das auch: wenn die alten Antworten heute im Kontext der Informatik nicht als ausreichend erachtet werden können, dann hat dies weniger mit den Besonderheiten der Informatik zu tun als vielmehr damit, dass die Antworten tatsächlich unter einem universalen Standpunkt nicht die sachgerechten sind – bzw. nie solche waren. Die Fixierung der Epistemologie auf die Metaphysik ist sehr viel größer als gemeinhin angenommen: Wenn davon ausgegangen wird, dass Kreativität, Instabilität und damit eine ewige Schöpfung von Neuem dem Kosmos inhärent sind und ein offenes Universum unterstellt wird, unterliegen die Möglichkeiten der Erkenntnis und des Wissens notwendig einer elementaren Beschränkung. Dann erfahren die Erkenntnismöglichkeiten ihre qualitative Veränderung und Ausweitung erst im prozessualen ontischen Fortschreiten, also im Werden des Neuen.³⁵¹⁷

Wenn darüber hinausgehend die Forderung nach einem CPSS-adäquaten Ontologieverständnis gestellt wird, ist es richtig, dass zwar die Rede vom "Cyberspace" neu ist. Indem jedoch deutlich wird, dass der "Cyberspace" nichts als mathematische Logik verkörpert, wird nachvollziehbar, dass dieser weder weit vom platonischen Ideenhimmel noch von Leibnizens Monadologie liegt. Damit kommen wir zurück auf die Frage der Adäquanz des Rekurses von TLO-Theorieanwärtern auf die aristotelische Metaphysik und Kategorien. Diese Frage muss hier auf drei maßgebliche Aspekte beschränkt werden, nämlich auf: (i) den aristotelischen Substanzgedanken, (ii) die spezielle aristotelische Form-/Materie-Dichotomie (Hylemorphismus), sowie (iii) das im Kern vier-kategoriale aristotelische Ontologieverständnis. Ad (i) ist zunächst herauszustellen, dass sich Aristoteles' ([Cat.]) *Kategorienlehre* um den Substanzgedanken zentriert, indem das Seiende als *Substanzen* mitsamt ihrer *Akzidenzen* verstanden wird:

³⁵¹⁷ Vgl. dazu Maruyama (1978), Prigogine (1989a, 2000a, 2003), Allen/Torrens (2005) und Cilliers (2005).

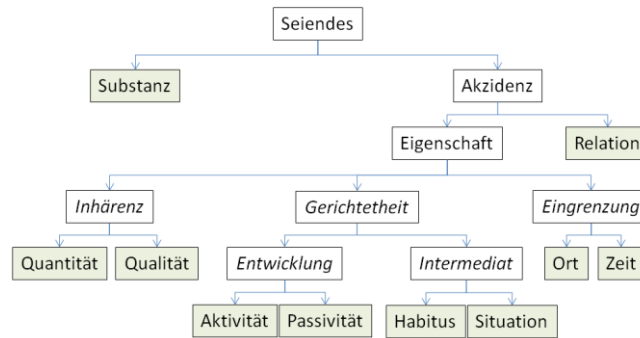


Abb. 22:³⁵¹⁸ Zehn Kategorien des Aristoteles im Schema Brentanos

Die aristotelische Metaphysik repräsentiert demgemäß eine *Substanzmetaphysik*, bei der eine *Substanz* Veränderungen erfährt; diese Substanz besitzt einen materialen Träger, der auch Träger der Veränderung ist. Ad (ii) sind Form und Materie (Stoff) damit auf das Wesen, auf die Substanz bezogen.³⁵¹⁹ Alle lebenden natürlichen Körper werden bei Aristoteles als Substanzen aufgefasst.³⁵²⁰ Ad (iii) findet sich der Ursprung des ontologischen Quadrats mit seiner Differenzierung zum einen von *Substanz und Akzidenz*, wie sie oben in Abb. 22 ersichtlich ist, und zum anderen von *Universalien und Partikularien* in Aristoteles' ([Cat.]: 1a20-1b10) *Kategorienlehre*. Entsprechend resultieren daraus die *vier Kategorien*, wie sie etwa für die *Four-Category Ontology* E.J. Lowes (2002a, 2002b) oder mit B. Smith (1997) für die BFO-TLO bzw. mit L. Schneider (2008, 2009, 2010) für die OCHRE-TLO konstituierend sind.

Wenn wir fragen, inwiefern die *Top-level Ontologie* der Informatik auf der aristotelischen Substanzmetaphysik aufbaut, sind zunächst zwei neo-aristotelische philosophische Ansätze herauszustellen. Das ist einmal der Ansatz F. Brentanos (1862, 1933), der eine moderne Deutung des aristotelischen Werks vollzieht. Brentano stellt einen wesentlichen Anknüpfungspunkt für Chisholm,³⁵²¹ insbesondere aber auch für B. Smith dar.³⁵²² Daneben ist auch E.J. Lowes (2002a, 2002b) neo-aristotelische *Four-Category Ontology* von direkter TLO-Relevanz,³⁵²³ insbesondere für die OCHRE-TLO L. Schneiders. Bunge (1977a: 26 ff.) knüpft demgegenüber direkt an die aristotelischen *Substanzen* an, auch wenn in seiner wissenschaftlichen Sichtweise nicht diese, sondern *materielle Dinge* zentral sind. Für ihn sind Substanzen materielle Dinge, nicht umgekehrt:

³⁵¹⁸ Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an F. Brentano (1862: 175), übersetzt und modifiziert.

³⁵¹⁹ Vgl. Aristoteles ([An.]: II 1, 412a).

³⁵²⁰ Ibid.

³⁵²¹ Vgl. etwa Chisholm/Haller (1978) sowie Chisholm (1982a).

³⁵²² Vgl. etwa B. Smith (1987b).

³⁵²³ Vgl. E.J. Lowe (1998: 203-209); vgl. auch E.J. Lowe (2002a, 2002b).

5. Kritik des TLO-Theorieanwärter-Rekurses auf philosophische Ontologien

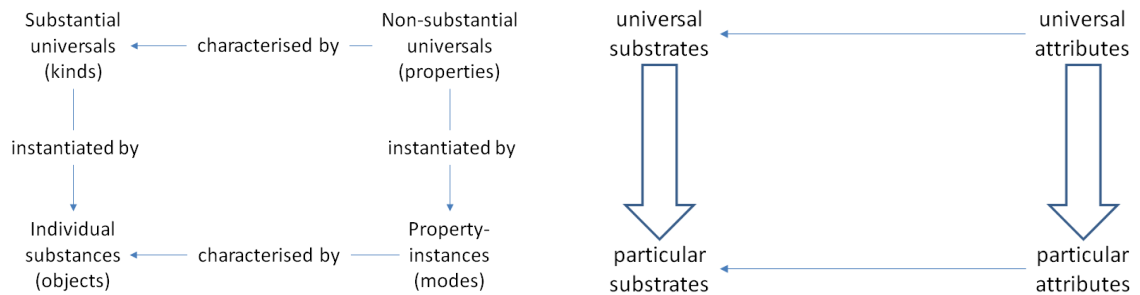


Abb. 23:³⁵²⁴ Neo-aristotelisches Ontologisches Quadrat bei E.J. Lowe vs. OCHRE

Wie in Abb. 23 bzw. nachfolgend in Abb. 24 verdeutlicht, können sowohl Substanzen wie Akzidenzen *Instanzen* besitzen, also in der Realität *instantiiert* sein:

	Not in a Subject [Substantial]	In a Subject [Accidental]		do not require bearers	inhere in substances as their bearers
Said of a Subject [Universal, General]	[Second Substances] man	[Non-substantial Universals] whiteness, knowledge	multiply located	<i>man, ox</i> universals in the category of substance	<i>redness, wisdom</i> universals in the category of accident
Not said of a Subject [Particular, Individual]	[First Substances] <i>this individual</i> man, horse, mind, body	[Individual Accidents] <i>this individual</i> whiteness, knowledge of grammar	simply located	<i>this man, this ox</i> individual substances	<i>this redness, this wisdom</i> individual accidents

Abb. 24:³⁵²⁵ Neo-aristotelisches Ontologisches Quadrat bei B. Smith

Für die *Substanz* ist zwar das Kriterium der *Selbstidentität* ausschlaggebend, doch wird mancherorts damit ein *statisches* bzw. *passives* Substanzverstandnis verbunden bzw. mit dem Cartesischen Substanzverstandnis verwechselt. Bereits das aristotelische Kategorienschema zeigt, dass diese Auffassung nicht richtig sein kann. Schon W. Smith (1896: 256 f.) stellt vor dem Hintergrund der *Energie* fest: »[t]he substances are active substances« und auch Collingwood (1945: 167) konstatiert: »Substance and activity are not two, but one«. Diese Auffassungen sind zweifellos richtig; indessen ergeben sie sich weniger aus der Kategorienschrift als vielmehr auf Basis der aristotelischen Metaphysik bzw. Physik. Und hier gilt: Insofern für Aristoteles nicht allein *Materie* real ist, sondern auch *Energie* als ausschlaggebende physikalische Größe aufgefasst wird, ist er mit Verweis auf Pkt. 5.3 weiter als Bunge. Indessen fehlt bei ihm die dritte Größe, nämlich *Information*, was für eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption und entsprechende CAS-basierte Adaptionsvorgänge einen wesentlichen Defekt markiert.

Es ist zu unterstreichen, dass es sich bei Aristoteles um ein vollständig anderes Evolutions- bzw. Werdeverstandnis als bei Whitehead handelt. Denn die Werdeprozesse sind bei Aristoteles immer auf die Substanz bezogen, an deren Stelle bei Whitehead die *actual entities* treten. Bei Aristoteles geht es um das Werden etwa eines Baumes oder eines Menschen, nicht aber um Werdeprozesse im Sinne der Nichtgleichgewichtsthermodynamik

³⁵²⁴ Quelle: eigene Darstellung; links nach E.J. Lowe (2002a: 228), vgl. ähnlich E.J. Lowe (2003: 22); rechts nach L. Schneider (2010: 75), jeweils modifiziert.

³⁵²⁵ Quelle: eigene Darstellung; links nach Mulligan/Simons/Smith (1984: 291), rechts nach B. Smith (1997), modifiziert.

bzw. um Ordnungsstrukturen in dissipativen Systemen, bei denen sich komplexe Entitäten jederzeit neu formieren bzw. neu entstehen. Aristoteles' Werdeprozesse zielen also weder auf Prigogines physikochemische Systeme noch etwa auf Hayeks (1983) *spontane Ordnungen*; es geht nicht um jene Werdeprozesse, wie sie für die *Theorie komplexer Systeme* vorauszusetzen sind, wie sie auch insbesondere die Informatik in antimaterialistischer Form etwa mit Blick auf CAS bedarf. Demgegenüber entsprechen Whiteheads Werdeprozesse genau solchen dissipativen Systemen. Bei Whitehead sind die Evolutionsprozesse indeterministisch; es geht um Ordnungen, die sich bilden und wieder zerfallen, um Ordnungsmuster, die stabil sind, und insgesamt um Kreativität im Universum. All das steht bei Aristoteles nicht im Fokus. Vielmehr handelt es sich letztlich um ein naives Evolutionsverständnis, das mit den modernen Wissenschaften nicht viel zu tun hat, sondern sich offenbar auf die unmittelbare Beobachtung, auf das Werden konkreter Dinge, beschränkt. Es überrascht nicht, dass ein solch eingeschränktes Evolutionsverständnis auf eine 3D-Sichtweise hinausläuft; demgegenüber sind Werdeprozesse im Sinne dissipativer Systeme zwangsläufig einer 4D-Sichtweise verpflichtet. Damit zeigt sich bereits hier: entscheidend für den in Pkt. 6.2.5 behandelten Widerstreit *Endurantismus vs. Perdurantismus* ist letztlich die Metaphysikkategorie selbst.

Die gesamte Metaphysikkonzeption des Aristoteles steht keineswegs – wie etwa bei Descartes – im Zeichen eines beharrenden Seins, sondern zeigt sich vielmehr unabdingbar geprägt durch den zentralen Gedanken des Vorherrschens beständiger Werdeprozesse, durch die die Dinge der Werdewelt unaufhörlicher Veränderung unterliegen. – Der Terminus *Entelécheia*, der als durch Aristoteles selbst erschaffen gilt,³⁵²⁶ markiert ein Kompositum aus dem griechischen *en* (darin, in), dem *télos* (Ziel, Zweck) und dem *echein* (Sein, Haben) und bedeutet damit den Schlüsselbegriff für dasjenige, das sein Ziel (*télos*) in sich selbst hat.³⁵²⁷ Teilweise gehen die etymologischen Untersuchungen auch dahin, dass sie den Begriff als durch andere Wortstämme zusammengesetzt erachten, und übersetzen diesen dann mit Vollendung, Vollkommenheit, volle Wirklichkeit.³⁵²⁸ Die entelechische Eigenschaft kommt bei Aristoteles allen Organismen zu. Der Stoff-Form-Dualismus mit dem Streben des Stoffes nach Form, wie er der aristotelischen Weltauffassung zugrunde liegt, entspricht seiner Vorstellung von der Beseeltheit der Natur. Für Aristoteles existieren Pflanzen-, Tier- und Menschenseele, wobei die Vernunft erst bei letzterer zu finden ist.

Die aristotelische Metaphysik ist mit dem *telosorientierten Entelechiebegriff* nicht loszulösen von dem für sie gänzlich prägenden Aspekt der *Teleologie* als Lehre von der Zielgerichtetheit oder Zielstrebigkeit jeder Entwicklung im Universum oder seiner kosmologischen Teilbereiche. Diese universale Teleologie markiert einen bedeutenden Grundgedanken im Weltbild des Aristoteles, der selbstredend dem zentralen Konzept der *Entelécheia* inhärent ist. Aristoteles' Metaphysik ist also teleologisch. Wenn für Aristoteles das Wesen

³⁵²⁶ Vgl. Frisk (1954: 524) sowie Blair (1992: 79).

³⁵²⁷ Vgl. auch Franzen/Georgulis (1972: 506).

³⁵²⁸ Vgl. Frisk (1954: 524).

der Dinge in ihnen selbst liegt, ist damit zuvorderst dieses teleologische Moment gemeint; nämlich das Ziel und der Zweck der Dinge, auf den diese in ihren Prozessen der Evolution vom jeweils Möglichen zum Wirklichen und in ihrem Bemühen nach Vollendung hinstreben. Die Probleme, die dem aristotelischen Teleologiekonzept anhaften, werden mit Driesch (1905) deutlich, der auf die aristotelische Entelechie zurückgreift. Diese meint die Eigenschaft von etwas, sein Ziel, das Telos in sich selbst zu haben. Driesch (1928: 284) will auf Basis embryologischer Experimente nachweisen, dass in jedem Organismus ein »autonomer, [...] in sich elementarer Naturfaktor« am Werk ist. Dieser immaterielle Naturfaktor, die Entelechie, steht für das Vermögen, die organismische Materie gezielt zu formen. Zu Recht wendet sich Bertalanffy (1932) gegen diesen Vitalismus:

»Durch seine eigentümliche Zwitterstellung zwischen Naturwissenschaft und Dichtung bringt sich der Vitalismus um seine Wirkung. Indem er die organische Ganzheit statt in der räumlichen Natur in einem transzendenten Lebensprinzip sucht, kann er keine theorienkonstituierende Wirkung in der Biologie entfalten. [...] Der Fehler des Vitalismus war es also, daß er die organische Ganzheit nicht im lebendigen System selber suchte, sondern in einer zu dessen atomistischen Teilen aus dem Unräumlichen hinzutretenden Entelechie.«³⁵²⁹

Vor diesem Hintergrund ist evident, warum Whitehead (1929a) nicht auf dem aristotelischen Teleologiekonzept aufbaut,³⁵³⁰ und warum man den für die organismische Philosophie eigentlich maßgebenden Begriff der *Entelécheia* bei Whitehead vergeblich suchen wird. Mit Pittendrigh (1958), Wimsatt (1972), Burks (1988) und anderen kommt man dabei auf den Teleologiedanken im Kontext des Automatenuniversums als *intelligiblen Universum* zurück.

In Frage steht auch das aristotelische Evolutionskonzept, bei dem zu klären ist, um was für eine Art von Evolution es sich konkret handelt; denn es geht bei Aristoteles weder um kosmologische Evolution, noch – wie bei Darwin – um die Evolution der Arten. Vielmehr zeigt sich der aristotelische Entelechiegedanke in seiner Substanzorientierung auf die Ontogenese fixiert, also auf die Individualentwicklung; nicht auf die Phylogenese, also die Stammesentwicklung. Die Thesen Darwins (1859) wurden insofern als revolutionär gesehen, als sich hier Evolution mit der zentralen Frage der Abstammung der Arten auf die Phylogenese bezieht. Vor diesem Hintergrund lässt sich ungeachtet des Begriffspaars der *Enérgeia* und *Entelécheia*, der Wandlungsfähigkeit der Substanzen wie auch ihres oben erwähnten Status als "active substances" bei Aristoteles auch nur bedingt von einem tatsächlich *aktiven* Naturverständnis sprechen. Zwar mögen die Substanzen aktiv sein, doch sind sie eben nicht auf Relationalität ausgelegt. Doch ist es mit Verweis auf die *Theorie komplexer Systeme* gerade die umfassende Interaktion der Systemelemente, aus der sich erst ein tatsächlich aktives Naturverständnis folgern lässt.

Der Terminus der *Entelécheia* steht im Zentrum der aristotelischen Metaphysik, da an ihm deutlich wird, inwiefern diese Metaphysikkonzeption auf das "Sein" oder "Werden" zielt. Gleichzeitig zeigt sich dieser Terminus durch das korrelative Begriffspaar von Mate-

³⁵²⁹ Bertalanffy (1932: 79, 80).

³⁵³⁰ Vgl. hierzu auch W. Mays (1959: 186 ff.).

rie resp. Stoff (*hylē*) auf der einen, und Gestalt resp. Form (*morphé*) auf der anderen Seite geprägt, was zum *Hylemorphismus* zusammengefasst wird. Der aristotelische Hylemorphismus ist entsprechend nur in der Kombination von *Dýnamis*, *Enérgeia* und *Entelécheia* zu verstehen. Analoges gilt für die Substanz. Stoff ist für Aristoteles das, was schon vor der Entstehung eines konkreten Gegenstandes als gestaltlose Materie vorhanden ist, während die Form als Gestaltprinzip bei Aristoteles einer Sache erst ihre Identität zu verleihen vermag.^{3531, 3532} Denn das, was im Werdeprozess entsteht, ist das konkrete, individuelle Ding:³⁵³³ »[D]ies individuelle Etwas machen heißt aus dem allgemeinen Substrat dies individuelle Etwas (*tóde ti*) hervorbringen.«³⁵³⁴ Stoff und Form hinterfragt Aristoteles auch vor dem Hintergrund ihrer Naturbeschaffenheit; von ihr spricht er einmal in Bezug auf »einem jeden zugrundeliegende Stoff der Dinge, die Anfang von Wandel und Veränderung in sich selbst haben«, und einmal in Bezug auf »die Gestalt, die in den Begriff gefaßte Form«.³⁵³⁵ Dabei kommt er zum Schluss, dass die Form »in höherem Maße Naturbeschaffenheit als der Stoff« hat, womit gilt, dass »[d]ie (erreichte) Form [...] das natürliche Wesen« ist.³⁵³⁶ Abstrakt gedacht und entsinnlicht, ohne Stoff (*hylē*), als reine Form des denkenden Geistes nennt Aristoteles die Form auch beharrliches wesentliches Sein (*tò tí ên éînai*).³⁵³⁷

Für Aristoteles markiert der Schnittpunkt zwischen Stoff und Form das Werden als beständiger Prozess der Entwicklung. Jedes existierende Einzelwesen unterliegt demnach einem permanenten Wandel, der sich als Übergang vom Möglichen zum Wirklichen im Sinne einer Materialisierung der Idee vollzieht. Das Wechselspiel von Möglichkeit und Wirklichkeit steht damit im Zeichen der Veränderung: »Das Zur-Wirklichkeit-Kommen des Möglichen, insofern es möglich ist, das ist ganz offenkundig: *Veränderung*«. ^{3538, 3539} Dabei gilt für Aristoteles: »Veränderung (ist) Zum-Ziel-Bringen des Veränderbaren, sofern es veränderbar ist; dies geschieht aber durch Berührung mit dem in Veränderung Setzenden, so daß also gleichzeitig auch dieses etwas erfährt«. ³⁵⁴⁰ Im Zeichen der Veränderung verhalten sich Stoff und Form in der aristotelischen Metaphysik entsprechend zueinander wie Möglichkeit, die bei Aristoteles mit dem Terminus der *Dýnamis* bezeichnet wird,³⁵⁴¹ und Wirklichkeit, die er als *Enérgeia* beziehungsweise als *Entelécheia* thematisiert:³⁵⁴²

³⁵³¹ Vgl. Aristoteles ([Met.]: VII, 7, 1032b 1): »Form nenne ich das Wesenswas eines jeden Dinges und seine erste Wesenheit«.

³⁵³² Vgl. zur Unterscheidung zwischen *konkreter Wesenheit* und *Form* Aristoteles ([Met.]: VIII, 3).

³⁵³³ Vgl. hierzu Aristoteles ([Met.]: VII, 8).

³⁵³⁴ Vgl. Aristoteles ([Met.]: VII, 8, 1033a 31).

³⁵³⁵ Vgl. Aristoteles ([Phys.]: II, 1, 193a), ohne Hvh. des Orig.

³⁵³⁶ Vgl. Aristoteles ([Phys.]: II, 1, 193b), ohne Hvh. des Orig.

³⁵³⁷ Vgl. Aristoteles ([Met.]: VII, 4).

³⁵³⁸ Vgl. Aristoteles ([Phys.]: III, 1, 201b).

³⁵³⁹ Vgl. ähnlich Aristoteles ([Phys.]: III, 1, 201a), ohne Hvh. des Orig.: »Das endliche Zur-Wirklichkeit-Kommen eines bloß der Möglichkeit nach Vorhandenen, insofern es eben ein solches ist – das ist (entwickelnde) Veränderung [...]«.

³⁵⁴⁰ Vgl. Aristoteles ([Phys.]: III, 3, 202a).

³⁵⁴¹ Vgl. zur *Möglichkeit* Aristoteles ([Met.]: IX, 1-5).

³⁵⁴² Vgl. zur *Wirklichkeit* Aristoteles ([Met.]: IX, 6-9).

»Die Materie ist Potenz/Möglichkeit, die Form aber ist Vollendung (Entelechie) [...]«. ³⁵⁴³
Entscheidend ist damit für Aristoteles die Form in der Bedeutung, dass sie zugleich Zweck und Ursache von Werden resp. Entwicklung ist. Aristoteles bezeichnet also die Möglichkeit eines Stoffes, eine Formierung zu erleiden resp. anzunehmen, als *Dýnamis*, das verwirklichende Formprinzip als *Entelécheia*:

»Da nun das Seiende einmal als ein Was oder ein Qualitatives bezeichnet, andererseits nach Vermögen und Wirklichkeit und nach dem Werk unterschieden wird, so wollen wir auch über Vermögen (*dýnamis*) und Wirklichkeit (*entelécheia*) genauere Bestimmungen geben.« ³⁵⁴⁴

Die Anlage möglicher Entwicklung (*Dýnamis*), also das Vermögen oder Unvermögen eines Stoffes, etwas zu erleiden oder zu tun, ³⁵⁴⁵ wird dabei durch beständige Bewegung resp. Tätigkeit, Betätigung oder Entwicklung (*Enérgeia*) in die Wirklichkeit umgesetzt und strebt dem Zustand seiner Vollkommenheit, Vollendung oder Zweckrealisierung (*Entelécheia*) zu. In der einschlägigen Forschung wurde diskutiert, ob diese beiden letztgenannten Begriffe Synonyme bedeuten, doch geht die Interpretation dahin, dass Aristoteles zwischen wirkender und vollendeter Wirklichkeit zu unterscheiden sucht. Somit wird der durch Heidegger mit "am Werk sein" interpretierte *Vorgang des Wirklichwerdens* (wirkende Wirklichkeit) mit dem Terminus *Enérgeia* belegt, wohingegen der *Zustand der erreichten Wirklichkeit* (Vollendung) mit *Entelécheia* bezeichnet wird. ³⁵⁴⁶

»Es ist aber der Name der wirklichen Tätigkeit (*enérgeia*), welcher eine Beziehung hat auf die vollendete Wirklichkeit (*entelécheia*), namentlich von den Bewegungen auch auf das übrige übergegangen; denn für wirkliche Tätigkeit gilt am meisten die Bewegung«. ³⁵⁴⁷

Der auf Entwicklung und damit auf Veränderung ausgelegte Terminus *Enérgeia* differenziert sich insofern von dem ebenfalls auf Bewegung und Veränderung ausgelegten allgemeinen Terminus der *Kínēsis*, indem dieser kein Ziel enthält wohl aber auf ein Ziel gerichtet ist, während jener im direkten Einklang mit dem entelechischen Gedanken von seiner unmittelbaren Zielgerichtetheit durchdrungen ist:

»Indem nun in jeder Gattung des Seienden das Mögliche von dem Wirklichen geschieden ist, so nenne ich die wirkliche Tätigkeit des Möglichen, insofern es möglich ist, Bewegung. [...] Das Bewegtwerden tritt ein, sobald diese Verwirklichung (*entelécheia*) stattfindet, weder früher noch später«. ³⁵⁴⁸

Das Zusammenspiel von Wirklichkeit und Möglichkeit wird darüber hinaus in der Aristoteles-Rezeption der Scholastik auch als Aktualität und Potentialität resp. als Akt (*actus*) und Potenz (*potentia*) bezeichnet. Dieses wird als *Akt-Potenz-Lehre* umschrieben, wie sie sich etwa bei Thomas von Aquin findet und sich dort in modifizierter Variante wiederum auf das aristotelische Teleologieprinzip bezieht. Entsprechend wird die Materie bei Aristoteles definiert als Möglichkeit (*Dýnamis*), eine bestimmte Form in die Wirklichkeit (*Enérgeia*, *Entelécheia*) treten zu lassen, und damit sind Form und Materie als das We-

³⁵⁴³ Vgl. Aristoteles ([An.]: II, 1, 412a).

³⁵⁴⁴ Aristoteles ([Met.]: IX, 1, 1045b 32), Hvh. im Orig.

³⁵⁴⁵ Vgl. hierzu Aristoteles ([Met.]: IX, 1).

³⁵⁴⁶ Vgl. etwa Aristoteles ([An.]: II, 1, 412a); vgl. hierzu auch Jaeger (1955: 411) und Franzen/Georgulis (1972: 506).

³⁵⁴⁷ Vgl. Aristoteles ([Met.]: IX, 4, 1047a, 30).

³⁵⁴⁸ Vgl. Aristoteles ([Met.]: XI, 9, 1065b, 15 ff.).

sen der Dinge bei Aristoteles nicht zu trennen. Die Wirklichkeit besitzt bei Aristoteles gegenüber der Möglichkeit ontologischen Vorrang, denn es »ist offenbar, daß die Wirklichkeit früher ist als das Vermögen.«³⁵⁴⁹ Damit ist gemeint, dass die Wirklichkeit des einen Moments zugleich die Möglichkeit des darauffolgenden zeitigt, nämlich wenn ein Ding im Sinne einer beständigen Realisierung von Teilzielen eine Stufenleiter von Entelechien durchläuft.

In der aristotelischen Form-Stoff-Metaphysik treten Stoff und Form immer nur zusammen im Gegenstand auf und bilden als reine Erscheinungen die untere beziehungsweise die obere Grenze der physischen Welt. In der Materie selbst sind das Wesen resp. die Wesenheit (*ousía*) und damit die Substanz eines Dinges immer nur der Möglichkeit nach angelegt, was seine *Dýnamis* repräsentiert. Seine Wirklichkeit oder Aktualität gewinnt es hingegen erst durch die Form, und zwar einmal als wirkende Wirklichkeit (*Enérgeia*) und einmal als vollendete Wirklichkeit (*Entelécheia*). Die Form bei Aristoteles zeigt sich somit entweder als sich vollziehende aktive Entwicklung (*Enérgeia*) oder als Vollendung (*Entelécheia*). Da Aristoteles indessen auch die Realisierung von Zwischenzielen als Vollendung in einem gewissen Stadium betrachtet, überlagert der Begriff der *Entelécheia* partiell jenen der *Enérgeia* und ist damit der zentralere. Das Wesen des Form und Materie auf sich vereinigenden sinnlich wahrnehmbaren Einzeldings (*ousía*) entfaltet beziehungsweise verwirklicht sich immer in der Reihenfolge seiner Erscheinungen; mit dieser charakteristischen Prägung beständiger Veränderung ist die aristotelische *Substanz* – was in der Ontologiedebatte oftmals übersehen wird – immer zugleich *Entelécheia*. In der aristotelischen Metaphysik ist somit das Ding zu verstehen im Sinne der *Entelécheia* und damit als in einem beständigen Reife- oder Werdeprozess begriffen, womit es in seiner Entwicklung eine Stufenleiter von Entelechien durchläuft. Entsprechend ergibt sich aus dem Entelechiebegriff für Aristoteles die Annahme einer *Geschichtetheit des Weltganzen*, die jedoch unter der gleichzeitigen Zentralhypothese eines ewigen Universums nicht mit einer Geschichtlichkeit im prozessmetaphysischen Sinne verwechselt werden darf.

Für Aristoteles ([An.]) liegt in der *Entelécheia* die formgebende Kraft des Seienden. Sie repräsentiert jenes Wirkprinzip, nach dem sich das Mögliche im Wirklichen als Dasein vollendet. Oder anders gewendet, sie repräsentiert »die Verwirklichung der in einem Seienden angelegten Vermögen oder Möglichkeiten.«³⁵⁵⁰ Aristoteles bestimmt somit das Verhältnis der wechselnden Erscheinungen (des Seienden) zum Sein, indem er Bewegung, das Werden und das Geschehen als Verwirklichung (Form, Akt) einer Möglichkeit (Stoff, Potenz) kennzeichnet. Dabei unterliegt die Zielbestimmung des an sich unbestimmten Stoffes einem zweckmäßig gestaltenden Formprinzip, nämlich der Entelechie. So ist die *Entelécheia* des Leibes die Seele. Es geht mit Aristoteles um die »erste Vollendung der Seele eines natürlichen Körpers, der in Möglichkeit Leben hat, und zwar von der Art, wie es der

³⁵⁴⁹ Vgl. Aristoteles ([Met.]: IX, 8, 1049b 5).

³⁵⁵⁰ Vgl. Franzen/Georgulis (1972: 506).

organische ist.«³⁵⁵¹ Sie ist Energie, sofern sie für ihre organische Verwirklichung tätig ist; sie ist Entelechie, sofern diese Verwirklichung im beseelten, organischen Leibe erreicht ist:

»Notwendig [...] muß die Seele ein Wesen als Form(ursache) eines natürlichen Körpers sein, der in Möglichkeit Leben hat. Das Wesen aber ist Vollendung (Entelechie). Also ist sie Vollendung eines solchen Körpers.«³⁵⁵²

Aristoteles interpretiert alles Existierende als Kosmos; d.h. als Ordnung, die bestimmt ist von ihrem inneren Ziel. Dieses innere Ziel ist die Triebfeder allen Seins; jedes Lebewesen trägt in sich selbst Sinn resp. Zweck und Ziel und entwickelt sich beständig daraufhin, dieses zu vervollkommen. Mit dem allen Organismen inhärenten Streben nach Vervollkommnung und damit die Ausrichtung auf ein Ziel zeigt sich die aristotelische Metaphysik durch den entelechischen Gedanken von Grund auf geprägt. Die Metaphysik, die für Aristoteles die Wissenschaft vom Sein des Seienden repräsentiert und sich damit auf die allgemeinsten Grundstrukturen der Wirklichkeit bezieht, die sie in ihrer Ganzheit zu erfassen sucht,³⁵⁵³ sieht damit das Universum der Werdewelt als ein insgesamt auf ein Ziel hinarbeitenden Kosmos, der geradezu aus sich heraus zur Vollkommenheit gedrängt wird. Vom Kosmos über die Organismen kommend betrachtet Aristoteles dabei speziell auch den Menschen aus dem Blickwinkel der Teleologie, nämlich im Zeichen seiner Zielgerichtetheit auf seine Vervollkommnung. Denn das Streben des Menschen besteht für Aristoteles im Streben nach dem Guten und der Glückseligkeit; ein Hinstreben auf ein in sich vollkommenes Wesen.³⁵⁵⁴

Mit der durch die Teleologie bestimmten *Entelécheia* zeigen sich die Gegenstände resp. die Zustände des Seins bestimmt durch vier Gründe des Seienden oder vier Ursachen, die im Werdeprozess zu unterscheiden sind: die Stoffursache (*causa materialis*), Formursache (*causa formalis*), Zweckursache (*causa finalis*) und schließlich die Antriebs-, Bewegungs- oder Wirkursache (*causa efficiens*).³⁵⁵⁵ Die Stoffursache besagt, dass jeder Gegenstand notwendig aus Stoff, aus Materie besteht:

»Alles aber, was wird, sei es durch Natur, sei es durch Kunst (*téchnē*), hat einen Stoff; denn ein jedes Werdende hat die Möglichkeit, sowohl zu sein als auch nicht zu sein, und das ist in einem jeden der Stoff.«³⁵⁵⁶

Diese vier Ursachen lassen sich an dem durch Aristoteles an verschiedener Stelle bemühten Hausbau illustrieren: Ein einfaches Haus besteht aus Steinen, Holz und Ziegeln, womit seine *Stoffursache* gegeben ist. Demgegenüber ist die *Formursache* des Seienden aus dem Grunde zentral, als sie einem Gegenstand erst seine Identität verleiht: jeder Gegenstand ist nach seiner Form bestimmbar. So bestimmt sich die Form beim Hausbau durch den Plan bzw. die "Baukunst". Die *Zweckursache* im Werdeprozess besagt, dass nichts geschieht ohne Zweck. Der Hausbau erfolgt etwa als Schutz vor den Unwägbarkeiten der Natur. Die *Antriebsursache* stellt schließlich darauf ab, dass jede Entwicklung eines

³⁵⁵¹ Vgl. Aristoteles ([An.]: II, 1, 412a).

³⁵⁵² Vgl. Aristoteles ([An.]: II, 1, 412a).

³⁵⁵³ Vgl. hierzu Aristoteles ([Met.]: IV, 1; XI, 3).

³⁵⁵⁴ Vgl. etwa Aristoteles ([Met.]: II, 2, 994b).

³⁵⁵⁵ Vgl. Aristoteles ([Met.]: XII, 4).

³⁵⁵⁶ Vgl. Aristoteles ([Met.]: VII, 7, 1032a 20).

Antriebs bedarf. So erfordert es etwa zum Zwecke des Hausbaus eines Architekten, der der Materie mit seinen Plänen erst die Form verleiht, und Handwerkern, die diese Entwicklung tatsächlich in die Wirklichkeit umsetzen.

Indessen zeigt sich die *Antriebs- oder Bewegungsursache* auch aus einem anderen Grunde für das Verständnis der aristotelischen Metaphysik als essentiell, indem sich alles in der vergänglichen WerdeWelt in Bewegung sieht. Sie ist geprägt durch einen ersten Beweger.³⁵⁵⁷ Da Materie und die Zustände des Kosmos nicht von alleine anfangen sich zu bewegen, ist die erste Ursache aller Bewegung das unbewegt Bewegende, und dieses besteht bei Aristoteles in "Gott" als Ursache allen Werdens. Für Aristoteles hat "Gott" als "unbewegter Beweger" zwar die Welt gewissermaßen in Schwung gebracht, doch greift er nicht mehr in sie ein, und ist mithin auch nicht durch diese zu beeinflussen. Mit dem "unbewegten Beweger" bzw. der aristotelischen Vorstellung einer göttlichen Weltmacht besteht ein grundlegender Unterschied zum Pantheismus der Prozessmetaphysik Whiteheads, der sich explizit gegen diese aristotelischen Ideen wendet.³⁵⁵⁸

Damit sind die Werdeprozesse bei Aristoteles im Wesentlichen umrissen. Für diese ist kennzeichnend, dass sie sich unmittelbar auf *Substanzen* und ihren *Akzidenzen* beziehen, womit zwei Aspekte zu unterstreichen sind: (i) bei Aristoteles gibt es weder eine *Ereigniskategorie* bzw. eine *Prozesskategorie* noch *komplexe Entitäten* oder *Relationalität* wie bei Whitehead. Es gibt allein Substanzen nebst Akzidenzen, auf denen etwa die BFO-TLO B. Smithens (1997) unmittelbar aufbaut.³⁵⁵⁹ (ii) Damit verbunden geht es nicht um die *Evolution komplexer Systeme*, die sich auf Basis der aristotelischen Metaphysik in keiner Weise schlüssig konzipieren lassen. Wie eingangs erwähnt, bauen jedoch die wichtigsten TLO-Ansätze konkret auf der aristotelischen Metaphysik auf. Bei diesen neo-aristotelischen TLO-Ansätzen geschieht dabei folgendes wesentliches Procedere: Aristotelische *Substanzen* werden mit *Objekten* gleichgesetzt, während aristotelische *Akzidenzen* zu *Ereignissen* umgedeutet werden.³⁵⁶⁰ Gerade der letzte Schritt verlangt im Vorgriff auf Pkt. 5.7 bzw. Pkt. 6.2.5 nach besonderer Aufmerksamkeit, denn diese Umdeutung impliziert nicht nur ein spezielles Ereignisverständnis, sondern zieht auch eine spezifische Verhältnisbestimmung von Objekten und Ereignissen nach sich. Achtsamkeit ist hier insofern geboten, als es sich dabei um eine gänzlich umgekehrte Verhältnisbestimmung als bei dem durch McCarthy favorisierten Quine handelt. Analoges gilt entsprechend für Einstein, Russell, Whitehead oder Popper. Hinter dieser entgegengesetzten Verhältnisbestimmung stehen letztlich zwei grundverschiedene Positionen zum "*general world view*", zwei völlig verschiedene Metaphysikansätze und Weltauffassungen. Mit Blick auf das TLO-Inkommensurabilitätsproblem sollte man also nicht meinen, dass die *Okkurrenten*, von denen bei

³⁵⁵⁷ Vgl. Aristoteles ([Met.]: XII, 6).

³⁵⁵⁸ Whiteheads Pantheismus macht wie bei Kant (1786b) an einem reinen *Vernunftbegriff* fest; nach Kant (1786b: 157) können dabei auch diesbezügliche Überzeugungen allein auf der Vernunft gründen.

³⁵⁵⁹ Vgl. hierzu ergänzend Novotny (2013).

³⁵⁶⁰ Vgl. exemplarisch B. Smith/Mark (2001).

B. Smith (2005b) die Rede ist, kompatibel seien etwa mit jenen *Okkurrenten*, die im Kontext von 4D-basierten TLO-Ansätzen, etwa der Sowa-TLO, bemuhrt werden. Denn Smithens *Okkurrenten* zeitigen insofern eine vollständige Kohärenz, als sie systematisch auf Basis der neo-aristotelischen Substanzontologie konzipiert werden:

	Independent Continuant	Dependent Continuant	Occurrent (Process)
Universal	Second substance <i>man</i> <i>cat</i> <i>ox</i>	Second quality <i>headache</i> <i>sun-tan</i> <i>dread</i>	Second process <i>copulation</i> <i>walking</i> <i>thinking</i>
Particular	First substance <i>this man</i> <i>this cat</i> <i>this ox</i>	First quality <i>this headache</i> <i>this sun-tan</i> <i>this dread</i>	First process <i>this copulation</i> <i>this walking</i> <i>this thinking</i>

Abb. 25:³⁵⁶¹ Neo-aristotelisches Ontologisches Sextett bei B. Smith

Was für Smithens BFO zutreffend ist, kann genauso für eine Reihe anderer TLO-Ansätze vorausgesetzt werden, konkret für DOLCE, OCHRE, UFO oder für GFO in ihrer fruhem Variante. Mit Masolo/Borgo et al. (2003) lässt sich für diese TLO-Ansätze feststellen:

»If the domain of quantification contains both ‘objects’ and ‘events’, without reducing one kind of elements to the other, the *participation* relation, stating that objects participates in events, becomes fundamental. For example, a person may participate in a discussion and a sword in a battle. This relation does not depend on the characterization of objects. It is crucial also in a four dimensionalist position where objects and events, although both 4D entities, are kept distinct.«³⁵⁶²

Für alle genannten TLO-Ansätze gilt also, dass im Sinne der aristotelischen Metaphysik und ihren substanzbezogenen Werdeprozessen *Substanzen* bzw. andere *Kontinuanten* immer dann, wenn es um *Okkurrenten* geht, in Prozessen bzw. Ereignissen *partizipieren*.³⁵⁶³ Es handelt sich also nach aristotelischem Schema um eine *Partizipation* von Enduranten in Perduranten. Anders gewendet besitzen Ereignisse und Prozesse keinen eigenen, sondern allein einen abgeleiteten Status. Dabei lässt sich der Ereignisbegriff im unmittelbaren Kontext zu der oben erwähnten Stufenleiter von Entelechien verstehen. Grenon/Smith (2004) distanzieren sich entsprechend explizit vom Vierdimensionalismus bzw. konkret von der Quineschen Ontologie. Alle genannten Ansätze vertreten also keinen Vierdimensionalismus, sondern eine Position, die sich als "3D+T" klassifizieren lässt. Basis solcher prozessualisierten Substanz-, Ding- oder Objektontologien ist immer das dreidimensionale Objekt, Ding oder die Substanz.

Bei den Okkurrenten nimmt B. Smith (2005b) direkten Bezug auf die *Ereignisse* Davidsons (1980), womit das Moment deskriptiver Metaphysik auch bei Smith deutlich zum Vorschein kommt. Die obige Abb. 25 ist auch insofern aufschlussreich, als sich über ihre beiden Zeilen die erste Gliederungsebene des Kategoriensystems von E.J. Lowe erschließt, in dem zwischen *Universalien* und *Partikularien* differenziert wird. Demgegenüber begründet sich die erste Gliederungsebene der BFO-TLO B. Smithens über die drei Spalten,

³⁵⁶¹ Quelle: eigene Darstellung; nach B. Smith (2005b), modifiziert.

³⁵⁶² Vgl. Masolo/Borgo et al. (2003: 11, Fn. 13).

³⁵⁶³ Vgl. etwa Grenon/Smith (2004).

indem das BFO-Kategoriensystem auf der ersten Gliederungsebene zwischen *Kontinuanten* und *Okkurrenten* unterscheidet. Erste werden bei der BFO als SNAP bezeichnet, zweite als SPAN:

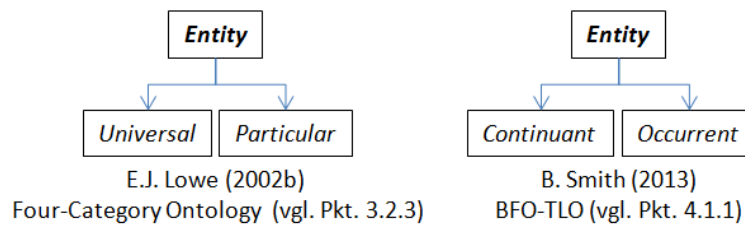


Abb. 26:³⁵⁶⁴ Neo-aristotelische *Top-level* bei E.J. Lowe (3D) und B. Smith (3D+T)

Der Umstand, dass in neo-aristotelischen Ansätzen teils in differenter Weise mit der Ereigniskategorie umgegangen wird, ist als Inkommensurabilitätsindikator zu werten. Wie unterschiedlich die in Pkt. 4.4 vollzogene Diskussion um die Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis ausfällt, wird dann deutlich, wenn man Smithens BFO-TLO, die von Aristoteles kommt mit der Sowa-TLO vergleicht, die auf Grundlage von Peirce und Whitehead und damit auf Basis eines anderen "*general world view*" argumentiert. Bei B. Smith/Mark (2001) werden *Objekte* mit aristotelischen *Substanzen* und *Ereignisse* mit aristotelischen *Akzidenzen* gleichgesetzt. Das aber ist bei Whitehead gänzlich anders, allein dadurch bedingt, dass es bei diesem keine Substanzen gibt; und auch deshalb, weil ihr Verhältnis ein genau umgekehrtes ist. Mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 bestehen sowohl explizit endurantistische Ansätze als auch solche, die sich offiziell als perdurantistische Ansätze gerieren – auch wenn sie dieses Kriterium nicht wirklich erfüllen. Eine dritte Gruppe vertritt in dieser Sache beide Positionen, d.h. entsprechende TLO-Ansätze sind *bi-kategorial*. Das kann – wie bei der BFO – wiederum auf kohärente Art erfolgen,³⁵⁶⁵ oder – wie bei der UFO-TLO – in inkohärenter Weise. Diese Inkohärenz ist dadurch bedingt, dass man versucht, 3D-Entitäten und 4D-Entitäten auf Basis der gleichen *Top-level Ontologie* eklektisch zusammenzufügen. Auch wenn die UFO-TLO in dieser Sache modular konzipiert ist, bleibt es als überaus problematisch zu werten, wenn gleichzeitig eine endurantistische und perdurantistische Position in einer einheitlichen Ontologiekonzeption verfolgt wird.³⁵⁶⁶ Insgesamt zeigt sich, dass sämtliche neo-aristotelisch geprägten TLO-Ansätze im Kern eine endurantistische bzw. 3D-Konzeption bedeuten:

³⁵⁶⁴ Quelle: eigene Darstellung; nach angegebenen Quellen, modifiziert.

³⁵⁶⁵ Vgl. hierzu Grenon (2003a); vgl. hierzu ergänzend J. Simon (2004).

³⁵⁶⁶ Vgl. zu der damit verbundenen Problematik Pkt. 6.2.5.

TLO-Ansatz	3D/4D	Status von Entitäten
Chisholm	3D	Monokategorialer Endurantismus, aristotelischer <i>Common Sense-Realismus</i> .
Bunge/BWW	3D (+T)	Monokategorialer Endurantismus (materielle Dinge), <i>Scientific Materialism</i> .
BFO	3D+T	Bi-kategorialer Ansatz (Kontinuant [SNAP], Okkurrent [SPAN] als parallel gegebene Kategorien); SNAP-Entitäten (Substanzen) partizipieren in Prozessen als SPAN-Entitäten, ³⁵⁶⁷ so dass es sich um "3D+T" handelt. ³⁵⁶⁸
DOLCE	3D+T	Bi-kategorialer Ansatz (Endurant, Perdurant als parallel gegebene Kategorien).
UFO	3D+4D	Reifikationsansatz (reification approach); endurantistisch (UFO-A) wie perdurantistisch (UFO-B); beide Modi werden modular berücksichtigt.
OCHRE	3D+T	Zwar ist offiziell die Rede von einem perdurantistischen Ansatz; tatsächlich aber handelt es sich insofern um eine "3D+T"-TLO, ³⁵⁶⁹ indem Enduranten (thin objects) in Prozessen partizipieren.
GFO	3D+T (4D)	In der frühen GFO-Fassung explizit "3D+T"; ³⁵⁷⁰ die spätere GFO-Fassung zielt demgegenüber auf "4D" und Perdurantismus, ³⁵⁷¹ die jedoch eine zusätzliche rein epistemische Berücksichtigung von 3D-Objekten erlaubt. Mit Blick auf die spätere GFO-Fassung ist festzustellen, dass sie im Kern nicht mehr substanzontologisch, sondern prozessontologisch konzipiert ist.

Abb. 27:³⁵⁷² Endurantismus vs. Perdurantismus neo-aristotelischer TLO-Ansätze

Während B. Smith mit der BFO-TLO in aristotelischer Tradition ontologisch nach wie vor an *Substanzen* festmacht,³⁵⁷³ wird dies im 3D-Modus von DOLCE in linguistischer Tradition relativiert, indem hier nicht von diesen, sondern bewusst allgemeiner von einem "*Substantial*" gesprochen wird.³⁵⁷⁴ Gleichzeitig weisen Gangemi/Guarino et al. (2002) jedoch darauf hin, dass die *Substanz* in Richtung ihrer *Objekte* geht, womit offenbar eine ähnliche Position wie bei B. Smith/Mark (2001) vertreten wird. Allerdings gehört DOLCE zu jenen TLO-Ansätzen, die weniger konsequent unter dem aristotelischen Regime stehen. In Teilbereichen, insbesondere *möglichen Welten* und damit verbunden in Bezug auf die Universalienposition, ist gar ein fundamentaler Konflikt zwischen DOLCE und der aristotelischen Position programmiert. In der Tat sind diese Aspekte nicht mit der aristotelischen Ontologie bzw. Metaphysik vereinbar; vielmehr stehen sie auf den Fundamenten Platons, Leibnizens bzw. des durch D.K. Lewis propagierten *Modalen Realismus*. Demgegenüber erweist sich bei der BFO-TLO die Aristoteles-Rezeption als am engsten. Ebenfalls enger gestaltet sich diese bei 3D-Ansätzen wie der Chisholm-TLO oder der BWW-TLO, wenngleich dies auf höchst unterschiedliche Weise geschieht: während bei der Chisholm-TLO der Bezug auf Aristoteles' ([Cat.] Kategorienschrift im Vordergrund steht, ist es bei der BWW-TLO die Beziehung zwischen dem Hylemorphismus, der Form auf Materie einschränkt, und Bunges Materialismus. Analoges gilt in kategorialer Hinsicht, wenn beide für eine monokategoriale Ontologie votieren: bei Aristoteles stellt sich diese auf Basis von *Substanzen* nebst *Akzidenzen* dar, während es in offenerer Parallele für Bunge nur materi-

³⁵⁶⁷ Vgl. Grenon/Smith (2004).³⁵⁶⁸ Vgl. auch Lord/Stevens (2010: 6).³⁵⁶⁹ Vgl. hierzu L. Schneider (2003c).³⁵⁷⁰ Vgl. Herre/Heller (2006).³⁵⁷¹ Vgl. Herre (2015b).³⁵⁷² Quelle: eigene Darstellung; vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 6.2.5.³⁵⁷³ Vgl. B. Smith (1997, 1998b, 1999b) sowie Masolo/Borgo et al. (2003: 56).³⁵⁷⁴ Vgl. Gangemi/Guarino et al. (2002).

elle *Dinge* nebst *Eigenschaften* gibt. Bunge (1977a) entwickelt seine Perspektive zwar explizit im Kontext der Substanz, zieht jedoch die Rede von gegenständlichen "Dingen" vor.

In jüngerer Zeit sind im Rekurs formaler Ontologie auf die aristotelische Substanzontologie erste Erosionserscheinungen festzustellen, indem nicht nur Zugeständnisse an den Perdurantismus auszumachen sind, sondern auch ein radikaleres Umschwenken zu dem in Pkt. 6.2.5 erörterten Perdurantismus. Ein solcher Wechsel ist in der Position von P.M. Simons zu konstatieren, indem sich dieser nunmehr verstärkt Whitehead zuwendet. Demgegenüber vertritt der frühe Simons (1987) in aristotelischer Manier noch einen Dreidimensionalismus, während Simons (1994) analog zu Smith genauso noch Substanzen verpflichtet ist. Ähnlich ist eine solche Abwendung von aristotelischen Positionen bei der GFO-TLO festzustellen, indem die frühe GFO-Konzeption durch ein neo-aristotelisches "3D+T" geprägt ist, während die aktuelle Variante im Kern zu 4D-Entitäten übergegangen ist.

Wie in diesem Pkt. 5.2 bis einschließlich Pkt. 5.7 deutlich wird, sind für die Frage der Konzeption der Top-level Ontologie insgesamt Dutzende philosophischer Ontologieansätze elementar, wenn man genuine Denker wie u.a. Leibniz, Kant, Hegel, Brentano, Husserl, Whitehead, Russell, G.E. Moore, Wittgenstein, Carnap, Quine oder Strawson genauso mitrechnen muss wie weniger bekannte, etwa Ingarden, Bergmann, Johansson oder aktuellere wie P.M. Simons, E.J. Lowe, Gracia, Grossmann, Hochberg oder Tegtmeier. Wenn diese wie viele andere Ontologen ganz verschiedene Positionen vertreten, die oftmals im elementaren Widerspruch stehen, ist das nichts Neues. Denn neben dem oben erwähnten Disput zwischen Heraklit und Parmenides gilt das genauso für die konträren Positionen zwischen Aristoteles und Platon, indem Aristoteles maßgebliche Aspekte seines Lehrers nicht teilt.³⁵⁷⁵ Hierzu gehört insbesondere seine Ablehnung der platonischen Ideenwelt,³⁵⁷⁶

³⁵⁷⁵ Gleich im ersten Buch seiner *Metaphysik* setzt sich Aristoteles ([Met.]) eingehend mit dem Werk Platons auseinander und gelangt dabei zu einer kritischen Einschätzung, bei der er verschiedene Einwände gegen die platonische Ideenlehre vorbringt und schließlich die platonischen Ideen als »leere Worte und poetische Metaphern« tadelt, vgl. Aristoteles ([Met.]: I, 9, 991a 20). Wenn auch das Werk Aristoteles' nicht in sämtlichen Belangen einen Bruch mit der platonischen Philosophie markiert, wie es zuweilen behauptet wird, so ist doch festzustellen, dass die in der aristotelischen Metaphysik vertretene Theorie des *Hylemorphismus* aus einer kritischen Auseinandersetzung mit der immateriellen Ideenwirklichkeit bei Platon erwachsen ist. Während Platon mit seiner Ideenlehre das in sich ruhende Sein der Ideen in den Fokus seiner Betrachtung stellt, rückt bei Aristoteles die Werdewelt mit ihren wechselnden Erscheinungen in den Mittelpunkt der philosophischen Untersuchung. Mit seiner Wesenslehre geht Platon davon aus, dass das Wesen aller Dinge jenseits der sinnlich erfassbaren Welt in den Ideen liegt, die letztlich auf Zahlen und ihre Relationen untereinander reduzierbar sind. Im Gegensatz zu Platon vertritt Aristoteles die Ansicht, dass die Ideen in der Natur selbst vorhanden sind und lehnt dementsprechend ihre Verlagerung in die immaterielle Wirklichkeit des platonischen Ideenhimmels ab: »Diejenigen [...], welche die Realität der Ideen (*idéai*) setzen und behaupten, daß dieselben Zahlen seien, versuchen doch wenigstens, indem sie eine selbständige Realität des Allgemeinen neben der Vielheit des Einzelnen annehmen, zu erklären, wie und weshalb jedes ein Seiendes sei; aber freilich, da ihre Gründe weder zwingend noch überhaupt zulässig sind, so hat man auch nicht deshalb der Zahl Realität zuzuschreiben«, vgl. Aristoteles ([Met.]: XIV, 3, 1090a 16).

³⁵⁷⁶ Bei Aristoteles wirken die Ideen in den Dingen als sie bewegende Kraft, oder anders gewendet, in den Dingen wirken Ideen, die ihre Entwicklung selbst bewirken und einem Ziel zuführen. Mit diesem Prinzip ist Aristoteles zugleich einer der zentralen Begründer der *Teleologie*. Indessen sind die Ideen bei Aristoteles keine Wesenheiten als solche, vgl. Aristoteles ([Met.]: VII, 14). Denn im Gegensatz zu Platon kann bei Aristoteles das Allgemeine nicht Wesenheit sein; vielmehr ist die Wesenheit allein dem konkreten

was neo-aristotelische *Top-level Ontologien* wie BWW oder BFO beibehalten, wenn für diese die Poppersche Welt 3 inakzeptabel ist:

»Am meisten aber müßte man wohl in Verlegenheit kommen, wenn man angeben sollte, was denn die Ideen für das Ewige unter dem sinnlich Wahrnehmbaren oder für das Entstehende und Vergehende beitragen; denn sie sind ja weder irgendeiner Bewegung noch einer Veränderung Ursache. Aber sie helfen auch nichts weder zur Erkenntnis (*epistēmē*) der anderen Dinge (denn sie sind ja nicht die Wesenheit derselben, sonst müßten sie in ihnen sein) noch zum Sein (*ēnai*) derselben, da sie ja nicht in den an ihnen teilnehmenden Dingen sind [...].«³⁵⁷⁷

Neo-aristotelische TLO-Ansätze wie BWW, BFO, OCHRE oder Chisholm sind mit Blick auf den *immanenten Realismus* nur dann richtig verständlich, wenn dabei vom Widerstreit zwischen Platon und Aristoteles ausgegangen wird. Indem DOLCE mitsamt des *Modalen Realismus* von Lewis (1986b) eine platonistische Position vertritt, BFO oder BWW eine neo-aristotelische, wird deutlich, dass sich auch diese entscheidende Frage für die verbreitetsten Top-level Ontologien allein im Rekurs auf ihre philosophischen Fundamente klären lässt.

Wenn die Metaphysikdebatte der Informatik sich notwendig im Spektrum von revisionärer und deskriptiver Metaphysik bewegt, ist die Metaphysiktradition jenseits der mathematischen Linie Platon-Leibniz-Whitehead bis zum heutigen Tag faktisch durch keinen zweiten Philosophen so sehr geprägt worden wie durch Aristoteles. Damit ist keinesfalls gesagt, dass die damit verbundenen Positionen richtig sind; in weiten Teilen sind sie dies mit Blick auf die Zwecke der Informatik gerade nicht. Ungeachtet dessen ist weder der Disput um die revisionäre vs. deskriptive Metaphysik ohne Aristoteles richtig zu verstehen noch jener zwischen Substanz- vs. Prozessphilosophie, indem dieser bereits den Gegensatz von Sein und Werden auf eine Synthese zu bringen sucht.³⁵⁷⁸

Ding eigentümlich, während das Allgemeine vielen Dingen gemeinsam ist, vgl. Aristoteles ([Met.]: VII, 13). Für Aristoteles liegt demnach das Wesen aller Dinge in der Struktur der Dinge selbst, es ist Teil der Sinnenwelt. Im Gegensatz zu Platon spricht er den Ideen selbst damit keine Realität zu. Denn nicht die Idee des Baumes ist wirklich, sondern nur dieser Baum dort selbst: »Daß es Naturbeschaffenheit gibt, das nachweisen zu wollen, wäre ein lächerlicher Versuch. [...] Offensichtliches aber mit Hilfe von Nichtoffensichtlichem zu erweisen, das ist Eigenschaft eines, der nicht beurteilen kann, was aus sich selbst und was nicht aus sich selbst erkennbar ist [...].« vgl. Aristoteles ([Phys.]: II, 1, 193a). In diesem Sinne vertritt Aristoteles einen *immanenten Realismus* und in seinem Bestreben, den platonischen Idealismus zu überwinden, öffnet er gleichzeitig die Grenze zwischen Metaphysik und den Naturwissenschaften und damit gewissermaßen einen Empirismus. Denn wenn das Wesen der Dinge in ihnen selbst liegt, so gilt es, die Dinge zu untersuchen, um zu ihrem innersten Wesen vorzudringen. Und das ist der Weg der Naturwissenschaft.

³⁵⁷⁷ Aristoteles ([Met.]: I, 9, 991a 8), Hvh. im Orig.

³⁵⁷⁸ Das Sein konstituiert sich bereits für Aristoteles als ein Werden, bei dem das Beständige in den wechselnden Erscheinungen der Natur zu suchen ist. Dieses Beständige manifestiert sich bei Aristoteles als ewig währende Form, dem *Eidos*, das bei Aristoteles die Formbestimmung, mithin die Idee repräsentiert. Damit wird zugleich deutlich, dass Aristoteles die Ideenlehre seines akademischen Lehrers in der eigenen Metaphysik letztlich weiterentwickelt, wenn auch auf völlig andere Weise. Denn ähnlich zu Platon sucht auch Aristoteles die Materie von ihrer Idee her zu verstehen, nur verlegt er die Ideen in die Dinge selbst. Dies führt wiederum dazu, dass es sich bereits bei Aristoteles – wie auch bei späteren in der aristotelischen Tradition stehenden Metaphysikkonzeptionen – insofern um eine *Metaphysik der Erfahrung* handelt, als hier dem individuellen Sein ein besonderes Gewicht zukommt. Denn es repräsentiert den Träger eines ihm zugehörigen, ihm innewohnenden Allgemeinen. Insofern ist es konsequent, dass Aristoteles die statischen Ideen Platons kritisiert, die hier außerhalb der Einzeldinge und prinzipiell losgelöst von ihnen existieren. Erscheinen also bei Platon die Dinge der Erfahrungswelt lediglich als eine Art Reflex der Urbilder der Ideenwelt, so zeigen sich diese bei Aristoteles in den Dingen der Erfahrungswelt

In modernerer Variante stellt sich die aristotelische Ontologie in der Weise dar, wie sie durch Smithens BFO-TLO konzipiert wird. Vor diesen Hintergrund ist festzustellen, dass es zwar zwei aristotelische Ontologien gibt, nämlich zum einen den aristotelischen *Common Sense-Realism* deskriptiver Metaphysik, wie er mit Pkt. 5.4 im Zuge der neo-aristotelischen Chisholm-TLO praktiziert wird, und zum anderen die *Scientific Ontologies* der BFO-TLO, die auf den ersten Blick einige Gemeinsamkeiten mit der Bungeschen Position im folgenden Pkt. 5.3 aufweist. Diese beiden ontologischen Aristotelesinterpretationen stehen in verschiedener Hinsicht im Widerspruch zueinander, wobei zu klären ist, ob subjektiv geprägtes Alltagswissen oder objektiv geprägtes wissenschaftliches Wissen Priorität besitzt oder ob es sich bei den Kategorien um ontische oder epistemische Kategorien handelt. Eine Entscheidung darüber lässt sich allein herbeiführen, wenn das aristotelische Werk als Ganzes bemüht wird. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass bei Aristoteles insgesamt das objektive wissenschaftliche Wissen im Vordergrund steht und es bei seinen Kategorien um ontische Kategorien geht. Daraus folgt, dass die eine Aristotelesinterpretation falsch ist, nämlich jene, die auf der in der Scholastik und Neuzeit vollzogenen ontologischen Umdeutung der eigentlich als logischer Traktat verfassten aristotelischen Kategorienlehre aufsetzt. Diese führt zunächst zu einem um das beharrende Sein zentrierten Substanzdenken bei Descartes und Spinoza; später jenseits Kants mit Strawson (1959) im Zuge deskriptiver Metaphysik zu ihrer ebenso falschen Auslegung im Zeichen *epistemischer* Kategorien.

Während Aristoteles' ([Cat.]) *Kategorienschrift* mit ihrer Subjekt-Prädikat-Struktur und ihrem Substanz-Qualitäts-Schema zwar den zentralen Ursprung des tradierten Substanzdenkens markiert, ist sie indessen für ein wirkliches Verständnis der aristotelischen Metaphysikkonzeption unbrauchbar. Vielmehr ist diese für sich genommen – wie der Interpretationsfehler der Substanzontologen zeigt – für deren Verständnis offensichtlich irreführend. Der rechte Zugang für ein Studium der aristotelischen Metaphysikposition eröffnet sich vielmehr anhand jener Schriften des Aristoteles ([Met.], [Phys.], [An.]), die für dessen metaphysische Position tatsächlich unmittelbare Relevanz besitzen. Mit diesen Schriften offenbart sich eine gänzlich andere Richtung, die in der Einsicht mündet, dass die aristotelische Metaphysik grundlegend von einem Prozessdenken beherrscht ist. Man kann in die-

selbst. Damit verwirft Aristoteles Platons Trennung des Wesens von der Erscheinung, weil für ihn das Wesen nicht losgelöst von der Erscheinung existieren kann: »[E]s [muß] wohl für unmöglich gelten, daß die Wesenheit und dasjenige, dessen Wesenheit etwas ist, getrennt voneinander existieren. Wie können denn also die Ideen, wenn sie die Wesenheiten der Dinge sind, getrennt von diesen existieren?«, vgl. Aristoteles ([Met.]: I, 9, 991b 1). Als den Dingen immanenten Prinzipien avancieren sie dort zum Ziel und Zweck ihrer Verwirklichung, die durch Aristoteles konsequent als Prozess des Werdens gedacht wird. Insofern besitzen die platonische Idee und das aristotelische *Eidos* den gemeinsamen Anspruch, in der Vielfalt der Erscheinungen die Wahrnehmung für das Unveränderliche zu schaffen, das sich bei Aristoteles in der sublunaren vergänglichen WerdeWelt allerdings hierauf beschränkt. Das gilt vor dem Hintergrund, dass Aristoteles ([Cael.]) in seiner Kosmologie den Kosmos aufgrund der verschiedenartigen Konsistenz der einzelnen Stoffe in zwei Bereiche, nämlich in eine *sublunare*, vergängliche WerdeWelt und in eine *supralunare*, unvergängliche Sternenwelt differenziert. Demgegenüber manifestieren die Ideen bei Platon statische Ideen.

sem Zusammenhang sagen, dass für Aristoteles die Physik die Wissenschaft von Prozessen und Veränderungen ist, die sich in der Natur vollziehen.³⁵⁷⁹ Die Lehre von der Natur befasst sich bei Aristoteles zum einen mit den bewegten Körpern, bei denen neben drei anderen Arten der Bewegung die substantielle Veränderung in den Prozessen des Entstehens und Vergehens gegeben ist, zum anderen mit dem Aufbau des Kosmos.³⁵⁸⁰ Die genannten Werke zeigen zugleich deutlich, dass eine radikale ontische Umdeutung der ehemals als logische Analyse bestimmten aristotelischen *Kategorienlehre* vom faktischen aristotelischen Standpunkt aus betrachtet unzulässig ist.³⁵⁸¹

Wenn man die Substanzmetaphysik im parmenideisch bzw. Cartesischen Sinne als auf ein statisches Universum bezogen auslegt, ist abschließend zu konstatieren, dass Aristoteles einer solchen Tradition statischen Substanzdenkens, wie sie auf Basis des aristotelischen *Common Sense-Realismus* heute noch im Kern praktiziert wird, im Grunde selbst nie hätte angehören können. Whitehead (1929a: 51) hat dazu bemerkt: »In reference to this twist of mind, probably Aristotle was not an Aristotelian«. Dass das aristotelische Substanzkonzept zuweilen in einem Atemzug mit jenem des Descartes genannt wird und damit ihre Metaphysikkonzeptionen unweigerlich in eine Nähe gerückt werden,³⁵⁸² ist vor dem Hintergrund des aristotelischen Gesamtwerkes unbegründet und schließlich nicht zu legitimieren. Vielmehr bestehen gerade zwischen diesen beiden Metaphysikvarianten grundlegendste Widersprüche, wie sie sich durch die Disparität von Sein und Werden eröffnen, und aus dem Umstand, dass das ganze aristotelische Substanzkonzept unabdingbar bestimmt ist durch den aristotelischen Gedanken der *Entelécheia* – bzw. zumindest im metaphysischen Kontext nicht von diesem losgelöst werden kann.³⁵⁸³ In genau dieser Hinsicht

³⁵⁷⁹ Insbesondere in Buch E seiner Physik behandelt Aristoteles den Begriff der Bewegung, die Prozesse und Prozessverläufe offensichtlich im Kontext seiner *Kategorienlehre*; auch behandelt Aristoteles ([Phys.]: H) die Arten von *Veränderung* nach den drei Dimensionen des Ortes, der Qualität und der Quantität, wie es bereits in der *Kategorienlehre* vollzogen wird.

³⁵⁸⁰ Hier gilt, dass bei Aristoteles der Kosmos mit den Fixsternen allein an seiner äußersten Grenze eine gewisse Stabilität erlangt, indem die Gestirne über dem Mond das unvergängliche Jenseits bilden, während alle Erscheinungen der diesseitigen irdischen Welt dem Wandel unterworfen sind. Vgl. hierzu auch Rescher (1996: 11).

³⁵⁸¹ Vgl. bereits Whitehead (1920: 18).

³⁵⁸² Analog zu Aristoteles ist für Descartes – allerdings in einer rein ontologischen Interpretation – die Substanz ein Ding, das zu seiner eigenen Existenz keines anderen Dinges bedarf. Dabei sieht sich das Universum nach Ansicht Descartes' durch nichts anderes charakterisiert als durch die Existenz von Substanzen nebst ihrer Akzidenzen: »But beyond substances and their qualities, we do not know that there are other kinds of things«, vgl. Descartes (1644b: 15); vgl. hierzu auch Whitehead (1929a: 50).

³⁵⁸³ Die Einwände, die Aristoteles gegen die platonische Ideenwelt vorbringt, stehen unmittelbar im Kontext des Terminus der *Entelécheia*. Denn es ist dieser, der in dem aristotelischen System die Überwindung des platonischen Dualismus von ideeller und materieller Wirklichkeit leistet. An die Stelle dieses Dualismus tritt in der aristotelischen Metaphysik eine in die Erscheinungsformen selbst verlegte Synthese aus Stoff und Form, die das dynamische Wechselverhältnis von Akt und Potenz mit dem für aristotelisches Denken charakteristischen Prinzip eines telosorientierten Werdens verknüpft. Idee resp. Form und Materie resp. Stoff sind bei Aristoteles also nicht getrennt, sondern in einer Einheit verbunden, denn für ihn ist ein Ding immer geformter Stoff; die Idee im Sinne des *Eídos* mithin bereits im Stoff. Allerdings ist dieser materialistische Ansatz letztlich insofern nicht konsequent gedacht, als er einerseits den Ideen eine objektive Existenz im Wesen der Dinge zuordnet, den Dingen aber selbst nur einen Erscheinungscharakter zugesteht. So fallen bei Aristoteles' Ansatz Materie und Idee auseinander, und so gesehen ist auch seine Ontologie von dualistischem Charakter, nur sind beide im Kontext der *Entelécheia* unmittel-

ist Aristoteles eher als Vorstufe zu Leibnizens *Monadologie* zu erachten, auch wenn damit jenseits von Aristoteles ganz neue, *mögliche Welten* eröffnet werden.

Worin die Essenz der aristotelischen Metaphysikkonzeption tatsächlich besteht, offenbart kein isolierter Substanzbegriff, wie es eine Vielzahl von Substanzontologen in ihrer Rezeption der Kategorienschrift irrtümlich annehmen, sondern zuvorderst der aristotelische Gedanke der *Entelécheia*. Genauer besehen verkörpert das Konzept der *Entelécheia* die gesamte aristotelische Metaphysik in sich, indem sich sämtliche für die Erste Philosophie relevanten Überlegungen aus diesem entwickeln lassen. Aber nicht nur für die sachgerechte Interpretation der metaphysischen Position des Aristoteles und als Zugang für die Beurteilung der Kontroverse um die Substanz- vs. Prozessmetaphysik zeigt sich das Konzept der *Entelécheia* als zentraler Schlüssel. Auch für das Verständnis der prozessmetaphysischen Ansätze selbst nimmt es eine herausragende Stellung ein. Das beginnt mit der Metaphysik des Aristoteles selbst, die als positivistisch-naturalistische Vorstufe auf Leibnizens antimaterialistisch-prozessualisiertes Substanzverstandnis weist, das als platonistische Reinterpretation und Universalisierung der aristotelischen Prozesssicht verstanden werden kann. Hier sind dann die prozessualisierten Substanzen nicht mehr streng naturalistisch gedacht, sondern vielmehr im abstrakten Automaten sinne, der im Gegensatz zu Aristoteles nicht nur Artefakte, sondern damit auch mögliche Welten eröffnet. Auch jenseits von Leibniz baut eine ganze Reihe von Metaphysikansätzen wesentlich auf der aristotelischen *Entelécheia* auf. Wenn sich Prozessphilosophen an einem Neuverstandnis des aristotelischen Werks versuchen, zentrieren sich ihre Überlegungen im Kern oftmals nicht etwa um die Substanz als solche, sondern um die kritische Auseinandersetzung mit der entelechischen Gedankenwelt des Aristoteles.

Der aristotelische Zentralgedanke der *Entelécheia* wie das in ihm angelegte Teleologieprinzip sind von umfassender Konsequenz nicht nur für die Philosophie, sondern auch für nahezu sämtliche Einzelwissenschaften. Der entelechische Gedanke beeinflusst dabei nicht nur die Lehre vom Sein bei Thomas von Aquin, die Konstruktion der Monade bei Leibniz oder die Unsterblichkeitsidee bei Goethe; die Aristoteles-Rezeption in dieser Sache setzt sich auch indirekt wie direkt bei Hegel, Heidegger und schließlich auch bei Whitehead (1929a) fort, dessen Neukonzeption einer prozessual gedachten Wesenheit von mancher Seite zu einem nicht unerheblichen Teil als radikale Fortführung verdeckt geblieben, genuin aristotelischer Ansätze auf dem Boden eines konsequenten Evolutionsden-

bar miteinander verkoppelt, indem sie im Werden ihre Synthese finden. Im Gegensatz zu Platon ist für Aristoteles nur das Einzelne wirklich. Aber dieses Einzelne, etwa ein Exemplar eines Organismus, lässt sich nach seinem Dafürhalten nicht zur Gewinnung sicheren Wissens benutzen. Dazu ist vielmehr – konform zu Platon – von dem Unveränderlichen auszugehen. Dieses Unveränderliche sieht Aristoteles in den Formen. Ungeformtes ist "Stoff" und hat für Aristoteles nicht Wirklichkeit, wohl aber Möglichkeit. Denn in jedem Stoff wohnt eine ihn formende Kraft zur Formgebung, die durch ihre Zielstrebigkeit verwirklicht wird: darin besteht der für das Gesamtwerk des Aristoteles zentralste Gedanke, nämlich jener der *Entelécheia*.

kens verstanden wird.^{3584, 3585} Der Gedanke der *Entelécheia* bildet aber auch einen zentralen Anknüpfungspunkt für die spätere Naturphilosophie, für den Vitalismus und – wiederum indirekt über die Monadenlehre Leibnizens – für die Biologie um die Wende vom neunzehnten zum zwanzigsten Jahrhundert. Das gelangt mit dem modifizierten Entelechiebegriff bei Driesch zum Ausdruck und steht den insbesondere durch Descartes geprägten mechanistisch-materialistischen Lebenstheorien entgegen.

Während Nicolis/Prigogine (1989: 12 f.) der statisch geometrischen Sichtweise des Universums eine aristotelische Perspektive entgegensetzen, bei der der Raum erst durch die in dem System ablaufenden Funktionen definiert wird, steht dies nicht im Widerspruch zu anderen Positionen. Toulmin/Goodfield (1965: 44 ff.) sprechen etwa vom "ewigen Universum des Aristoteles", während Hanks (1975) vor dem Hintergrund des *Prozesses* als kategorialem Konzept eine statische Welt als aristotelische beschreibt, um diese mit der prozessualen Sichtweise Heraklits zu konfrontieren. Es geht bei Aristoteles zwar wesentlich um Werdeprozesse, jedoch allein um solche, die sich auf Substanzen beziehen. Es handelt sich also um substanzbezogene Werdeprozesse innerhalb eines ewigen Universums, jedoch nicht um ein *kreatives emergentistisches Universum* an sich, wie es auf Basis der ultimativen Kategorie bei Whitehead (1929a) dargelegt wird. Es ist jedoch letzteres, das mit P. Davies (1989b) für die moderne Physik wie mittlerweile durch die Naturwissenschaften insgesamt vorausgesetzt wird. Somit können diese kaum auf einer durch die aristotelische Metaphysik bedingten aristotelischen Substanzontologie gründen.

Quasi autonome Substanzen als Zugrundeliegendem implizieren ein Universum, das in seiner fehlenden Relationalität kaum emergentistisch sein kann, während im Zeichen dissipativer Systeme im Zuge kosmologischer Prozesse beständig neue Strukturen hervorgebracht werden. Warum sollten dann *Scientific Ontologies*, die gerade auch regionale physikalische Ontologien repräsentieren können müssen, auf substanzorientierten neo-aristotelischen Top-level Ontologien wie Smithens BFO-TLO aufsetzen? Wieso ist für sämtliche führende Top-level Ontologien kennzeichnend, dass sie gerade *nicht* an diesen dissipativen Prozessen selbst ansetzen? Analoges gilt im Hinblick auf biomedizinische Ontologien insofern, als für Evolutionsbiologen wie Mayr (1967: 16) außer Frage steht, »daß die typologischen Philosophien Platos und Aristoteles' mit evolutivem Denken unvereinbar seien«. Dieser Vorwurf wiegt umso schwerer, als für Aristoteles die prototypischen Instanzen von Substanzen in biologischen Organismen bestehen. Er vertritt dabei die Auffas-

³⁵⁸⁴ Vgl. Fetz (1981: 16, 212).

³⁵⁸⁵ Ein grundlegender Unterschied besteht hingegen hinsichtlich der zentralen Annahme des *ewigen Universums* bei Aristoteles, nach dem der Kosmos mit der Ewigkeit von Stoff und Form und der Anfangs- und Endlosigkeit der Bewegung keinen Anfang und kein Ende in der Zeit hat, vgl. hierzu auch Toulmin/Goodfield (1965: 44 ff.). Da bei ihm jedes neu konstituierende Element nur aus seinem Gegenteil entstehen kann, vgl. Aristoteles ([Cael.]: I), durchlaufen die Elemente einen unaufhörlichen Kreislauf des Entstehens und Vergehens. In diesem Sinne ist das aristotelische Weltmodell "geschichtslos", vgl. Jaeger (1955: 415 f.). Demgegenüber besteht in der schöpferischen Neuerung (Creativity) im kosmologischen Modell Whiteheads (1929a) die ultimative Kategorie; das evolutionäre Universum ist *historischer* Prozess: die *Realität der Zeit* ist mit Unger/Smolin (2015) vorauszusetzen; die *4D-Metaphysik* impliziert.

sung, dass sich die gesamte Wirklichkeit mit einem einzigen Kategoriensystem universaler Ontologie erfassen lässt.³⁵⁸⁶ Diese zielt bei ihm auf das Seiende schlechthin:

»Aber alle [...] Wissenschaften handeln nur von einem bestimmten Seienden und beschäftigen sich mit einer einzelnen Gattung, deren Grenzen sie sich umschrieben haben, aber nicht mit dem Seienden schlechthin [...] und insofern es Seiendes ist [...].«³⁵⁸⁷

Wenn in der Informatik diese universale Ontologie in der *Top-level Ontologie* besteht, ist mit Pkt. 3.3.1 evident, dass auch die Auffassung überholt ist, dass lediglich *eine* universale Ontologie – ohne weitere regionale Ontologien – zur Erfassung der Wirklichkeit ausreichend ist. Weder ist die Substanz an sich geeignet, etwa die durch Aristoteles adressierten biologischen Organismen zu erfassen noch wäre sie dazu als ausreichend zu werten: Mit Mayr (1991: 27 f.) besitzen alle Organismen ein *genetisches Programm*, das sich im Laufe der Geschichte entwickelt hat und in der DNA des Kerns – bei einigen Viren der RNA – codiert ist. Daraus folgt, dass schon mit Blick auf biologische Organismen zahlreiche Domänenontologien erforderlich sind, wie es heute etwa die OBO-Foundry illustriert, die auf Smithens (2003a, 2004) neo-aristotelische BFO-TLO referenziert. Wenn damit das notwendige klassische ontologische Zusammenspiel zwischen *universaler* Ontologie, d.i. die Top-level Ontologie, und *regionaler* Ontologie in Form von Domänenontologien offensichtlich wird, rückt nicht nur die Frage einer empiristischen Universalsynthese in den Fokus, sondern im Zuge des damit verbundenen Transdisziplinaritätsmoments auch jene nach der *Einheit der Wissenschaften*.

Somit kommen wir zur Beurteilung der Frage, inwieweit die (neo-) aristotelische Substanzontologie sich tatsächlich für den Rekurs von TLO-Theorieanwärtern bzw. als philosophische Basis für moderne TLO-Entwürfe eignet, und daran anknüpfend abschließend zu einem Fazit. An den folgenden fünfzehn Defiziten und Defekten wird deutlich, dass weder diese philosophische Basis noch darauf gründende Ontologien eine CPSS-Adäquanz gewährleisten können. Wenn Ontologie zwingend als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu verstehen ist, die eine Interdependenz zwischen Wissensrepräsentation und metaphysischer Weltstruktur impliziert,³⁵⁸⁸ sind für die (neo-) aristotelische Substanzontologie folgende Fundamentalprobleme zu konstatieren:³⁵⁸⁹

1. *Gängige Substanzbegriffe bestechen durch große Varianz und Unschärfe:* Wenn Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* repräsentieren, sollte die Philosophie hinsichtlich der Differenzierung ontologischer Kategorien das formale Prazisionserfordernis der Informatik übernehmen. Das gilt insbesondere dann, wenn erstere im Zeichen techno-wissenschaftlicher Klasse-4-Metaphysiken als ratio-empirischer Erster Philosophie strikt unter das Regime wissenschaftlicher Ideale zu stellen ist: exakt, formal, methodisch streng sowie

³⁵⁸⁶ Vgl. hierzu auch B. Smith/Klagges (2005).

³⁵⁸⁷ Aristoteles ([Met.]: 1025b).

³⁵⁸⁸ Damit ist hier konkret gemeint, dass sich die aristotelische *Kategorienlehre* nicht sprachphilosophisch von der aristotelischen *Metaphysik* isolieren lässt.

³⁵⁸⁹ Das schmälert gewiss nicht die größten aristotelischen Verdienste um die Metaphysik, ohne die die heute angezeigte *Klasse-4-Metaphysik* im kritischen Diskurs nicht hätte entstehen können.

von äußerster Universalität.³⁵⁹⁰ Wie in Pkt. 3.3 konstatiert, ist AI wesentlich Philosophie. Doch sollte umgekehrt nicht verkannt werden, dass der sachgerechte Zugang zum Kernbereich der Philosophie, nämlich zur Frage der Metaphysik, Ontologie, Epistemologie und Methodologie auf Basis von Neumanns heterogenen Automatenklassen über die AI-Disziplin führt. Mit ihr ist das über Jahrtausende philosophisch Gedachte nunmehr ganz konkret zu fassen: In Form der Wissensrepräsentation, der kategorialen Strukturierung durch ontologische Systeme, durch die mit der heterogenen Wissensrepräsentation verbundenen methodologischen Belange, und schließlich vor allem im Zuge CPSS-adäquater metaphysischer und epistemologischer Präsuppositionen. Das umso mehr, als das einheitliche Ontologieverständnis als *integrierter metaphysischer Wissensontologie* universal gilt, also genauso für die Philosophie. Vor diesem Hintergrund ist zu fordern, den völlig unscharf definierten Substanzbegriff in beiden Disziplinen einheitlich durch eine eindeutige Klassifikation von Objektbegriffen zu ersetzen. Nicht nur ist das Substanzparadigma für eine wissenschaftliche Philosophie unhaltbar; wenn es zum Zuge kommt, ist es – wie bei den in Pkt. 6.1.3 dargestellten Kategorien in den Kategoriensystemvarianten E.J. Lowes – unterspezifiziert.

2. *Substanzidee ist unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten Illusion*: wenn die Substanz mit Schelling (1800a) das "in der Zeit Beharrende" ist, womit die Substanz "weder entstehen noch vergehen" könne, ist eine solche Aussage unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten unhaltbar; mit Mach (1905, 1918) ist sie Illusion. Wenn TLO-Ansätze wie DOLCE die Voraussetzbarkeit der Substanz bzw. entsprechend aufgefasster Objekte durch das Moment der *kognitiven Verzerrung* (cognitive bias) zu rechtfertigen suchen, ist zu beachten, dass es sich bei DOLCE um *epistemische* Kategorien handelt.³⁵⁹¹ Die aristotelische Ontologie ist jedoch richtig allein im Sinne ontischer Kategorien ausgelegt, wie sie auch durch die BFO-TLO vorausgesetzt werden. Simons (2010c) liegt also richtig, wenn er zwischen *Aristotelian or ontic categories* und *Kantian or auxiliary categories* differenziert. Genauso wenig wie sich die Voraussetzung der Substanz über eine kognitive Verzerrung rechtfertigen lässt, ist sie auch ontisch nicht zu rechtfertigen wenn Ontologie mehr ist als ein ebenso unhaltbarer *Common Sense-Realism*. Geht es bei Smith um *Scientific Ontologies*, ist die wissenschaftliche Strenge, die Smith – zu Recht – in der Realitätsrepräsentation verfolgt, auch für seine Kategorien selbst als Maßstab zu fordern. Dann ist klar,

³⁵⁹⁰ Russell (1952) spricht sich zwar genau für diese Ideale aus, vgl. hierzu auch H.R. Smart (1925: 55 f.), vertritt jedoch mit Verweis auf Pkt. 4.1 im Unterschied zu Whitehead keine *Klasse-4-Metaphysik*.

³⁵⁹¹ Es sei darauf hingewiesen, dass DOLCE nur partiell auf aristotelischen Überlegungen aufbaut und die ontologische Position nicht – wie bei B. Smith – auf aristotelischen Fundamenten gerechtfertigt wird. Allerdings entspricht die *Beziehung zwischen Enduranten und Perduranten* gerade diesen.

dass eine zeitgemäß konzipierte *Scientific Ontology* kaum mehr von einer *Substanz* als Zentralkategorie ausgehen kann. Der erzielte Erkenntnisfortschritt sollte sich auch in den Kategorien widerspiegeln, womit auf die perdurantistische Position in Pkt. 6.2.5 zu verweisen ist.

3. *Selbstidentische Substanzen sind für AI-Prozessverarbeitung unbrauchbar:* Selbst wenn davon abgesehen wird, dass Schellings (1800a) Position Illusion ist, kann sie für die Zwecke der Informatik nicht überzeugen. Denn für das AI-Processing sind zwar *reproduktive Muster* im Sinne Whiteheads von zentralem Belang, nicht aber zeitliche Veränderungen überdauernde Wesenheiten, deren Selbstidentität in der Weise definiert ist, dass sie "weder entstehen noch vergehen". Auf solche reproduktiven Strukturen zielt das aristotelische Substanzparadigma hingegen nicht, womit es weder prozessontologisch noch für die AI-Prozessverarbeitung anwendbar ist. Vielmehr ist das Prozessuale bei Aristoteles im Sinne der *Entelécheia* der prozessualen Entwicklung der Substanzen selbst geschuldet, indem es nichts außer Substanzen nebst Akzidenzen gibt. Es steht dabei außer Frage, dass die damit verbundenen Auffassungen von Selbstidentität und Prozessualität nicht mit dem AI-Processing konform gehen.
4. *Inkompatibilität von Substanzgedanke und Theorie komplexer Systeme:* Zwar zeigt sich neben dem Selbstorganisationsgedanken auch der Systemgedanke wie das Emergenzmoment mit dem sinngemäß auf Aristoteles ([Met.]: 1045a) zurückgehenden Diktum, wonach das Ganze mehr als die Summe seiner Teile ist, in der aristotelischen Metaphysik berücksichtigt. Allerdings lassen sich die komplexen, emergenten Phänomene des Universums keineswegs auf Substanzen zurückführen, bzw. auf diese reduzieren. Vielmehr sind sie als ebensolche zu analysieren. Substanzmetaphysik bedeutet die Rückführung und Zergliederung der Welt auf *Substanzen*, womit diese vom Prinzip her *submergent* sind. Analoges gilt für den Umstand, dass der Substanzgedanke zwar auf die *Entelechie*, nicht aber auf ein *emergentistisches Universum* zielt. Infolgedessen eignet sich die Substanzmetaphysik weder als Grundlage einer *Theorie komplexer Systeme* noch als Grundlage entsprechend komplexitätstheoretisch qualifizierter *Scientific Ontologies*. Daneben ist für die Inkompatibilität mit der *Theorie komplexer Systeme* der *relationale Defekt der Substanzkategorie* entscheidend, indem Relata keinen Zugang zu komplexen Systemen eröffnen. Wenn mit Grossmanns (1992) in Pkt. 6.1.3 behandelten *komplexen Entitäten* die kategoriale Relevanz der Komplexität außer Frage steht, muss die metaphysische Fundierung der Kategoriensysteme auch den Zugang zu komplexen Systemen zulassen. Ferner sei darauf hingewiesen, dass sich eine *Kategorie der Relation* in Recks (1975) prozessphilosophischer Kategorialanalyse wie in grundlegender Weise in Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik findet.

5. *Entelechisches Prozess- und Evolutionsverständnis ist defekt*: Indem Metaphysik einen universalen Anspruch besitzt, muss eine prozessual orientierte Variante auch eine universale Evolutionstheorie inkorporieren. Von einer solchen kann jedoch bei Aristoteles nur bedingt die Rede sein, indem sich die Evolutionsprozesse im Sinne der Entelécheia allein auf die Evolution von Substanzen beziehen. Es geht also nicht um Evolution des Universums im Sinne eines strukturalen Fortschreitens, sondern um Evolution innerhalb des Universums, nämlich um jene einzelner, für sich stehender Substanzen. Vor diesem Hintergrund unterliegen die Werdeprozesse aus heutiger Sicht einem falschen Verständnis, indem sie nicht im Sinne von Ordnungsstrukturen dissipativer Systeme gedacht werden. Analoges gilt für einzeln abgegrenzte physische Welten, in denen sich CPS bewegen; auch für ihre Zwecke ist ein solch universales Evolutionsverständnis zu fordern, das an Ordnungsstrukturen festmacht. Insofern geht ein entelechisches Prozess- und Evolutionsverständnis auf Substanzbasis an den Zwecken von Informatik, Komplexitätsforschung und konkret an jenen der AI-Ontologie vorbei. Ein sachgerechtes Prozess-, Evolutions- und Komplexitätsverständnis ist auf dieser Basis nicht zu realisieren. Mayr (1967: 16) ist zuzustimmen, dass die typologische aristotelische Philosophie mit evolutivem Denken unvereinbar ist. Indem es um kein emergentistisches Universum geht, sondern um ein statisches, ewiges Universum, das keinen echten Spielraum für prozessuale Kreativität belässt, geht diese Sichtweise auch nicht mit einem offenen, grundsätzlich indeterminierten Universum konform.³⁵⁹² Der Kosmos repräsentiert gerade kein geschlossenes System in ewig gleicher Wiederkehr, sondern ist im Sinne Heraklits vielmehr selbst im Ganzen als beständiges Werden aufzufassen. Demnach muss sich eine universale Evolutionstheorie gerade an jenen Momenten orientieren, die bei Aristoteles noch vollständig unbekannt sind: an komplexen adaptiven Systemen (CAS), einem universalen Prozessdenken mit samt eines adäquaten Ereignisverständnis, der mathematischen Logik bzw. der Automatentheorie wie insgesamt im Zeichen von Leibnizens Automatenuniversum. Allein auf dieser Grundlage lässt sich eine universale Evolutionstheorie konzipieren, die sich sowohl auf physische wie auf virtuelle Welten projizieren lässt, und insgesamt als Grundvoraussetzung für ein einheitliches Ontologieverständnis von universaler und regionalen Ontologien zu erachten ist.
6. *Hylemorphismus ist für Informatik unhaltbar*: Bei Aristoteles, in dieser Tradition bei Bunge, wie auch bei neo-aristotelischen TLO-Konzeptionen wie BFO ist *Form* im Sinne des Hylemorphismus immer an Materie gekoppelt, während sie im Strukturalismus Russells oder Whiteheads davon losgelöst ist. Letztere Sichtweise entspricht den Anforderungen der Informatik, während der Hylemor-

³⁵⁹² Vgl. Popper (1982a).

phismus keinen sachgerechten Zugang zu virtuellen Welten belässt, indem diese auf seiner Grundlage nicht universal behandelbar sind. Für CPS zählt entsprechend primär die *Form*, weil sie sich in allen Welten findet, und ihre universale Voraussetzung ist aus dem Grunde unvermeidlich, als zwischen den Welten direkte Übergänge bestehen. Gleichzeitig implizieren CPS jedoch im W1-Sinne physischer Welten, dass Form an Materie gekoppelt ist; allerdings kann dies nicht für alle Welten vorausgesetzt werden. Der Hylemorphismus impliziert entsprechend eine materialistische Ontologie, die auf materielle Dinge fixiert ist. Eine solche Ontologieauffassung ist indes für die Informatik unzweckmäßig. Entgegen dem Hylemorphismus steht die Form in der Informatik im Kontext logico-mathematischer Informationsverarbeitungsprozesse, denen keine Substanzen zugrunde liegen. Wenn sich mit Hartmann (1912) *Form* nicht ohne *Prozess* verstehen lässt, muss eine logico-mathematisch geprägte Prozessmetaphysik für die metaphysische Fundierung der Natur wie des Artifiziiellen offensichtlich geeigneter erscheinen als die aristotelische Substanzmetaphysik.

7. *Substanzparadigma impliziert inakzeptable Monoweltenontologie*: Jenseits des Cartesischen Substanzdualismus läuft die aristotelische Substanzidee in ihrem Hylemorphismus auf eine Monoweltenontologie hinaus, also auf das, was bei Popper die Welt 1 ausmacht bzw. bei Bunge die physische Welt. Dabei handelt es sich bei Aristoteles um eine ausschließliche Fixierung auf die *aktuale Welt*, die *mögliche Welten* ausschließt. Wenn die Nichtadressierung möglicher Welten für MAS-Ontologien unhaltbar ist, diese jedoch ein CPS-Erfordernis darstellen, kann die aristotelische Ontologiekonzeption auch in dieser Hinsicht keinen Referenzpunkt für die Ontologie der Informatik darstellen. Ein wesentlicher Defekt besteht in der W2-Nichtexistenz und der entsprechend fehlenden W2-W1-Interaktion: damit lassen sich subjektivistische Aspekte agentenbasierter AI-Ansätze nicht berücksichtigen, die für MAS-CPS-Ontologien jedoch genauso erforderlich sind wie die gleichzeitige Berücksichtigung ontischer und epistemischer Kategorien. Analoges gilt für die W3-Nichtexistenz bzw. die fehlende W3-W1-Interaktion, womit sich auch immaterielle Artefakte nicht berücksichtigen lassen; es fehlt entsprechend eine W3-Ontologie der Artefakte, die sich in logico-mathematischer Hinsicht durchaus in eine Verbindung zu dem durch Aristoteles abgelehnten platonischen Ideenhimmel bringen lässt. Die W3-Ontologie ist dabei gerade in technologischer Hinsicht wesentlich; eine Ontologiekonzeption muss Raum für Konzepte belassen, die etwa in Verbindung mit Innovationsprozessen stehen. Schließlich ist die W4-Nichtexistenz zu bemängeln, womit sich soziale Interaktionen in komplexen Systemen nicht sachgerecht berücksichtigen lassen. Vor dem Hintergrund dieser Welttypen ist auch eine Differenzierung in verschiedene Objektklassen analog zu Ereignisklassen zur Realisierung einer

semantisch expliziten Spezifizierung unabdingbar. Natürlich besitzen Objekte in subjektbezogenen Agentenwelten (W2) einen anderen Status als objektivierte Objekte von MAS-Agentenwelten (W4). Genauso ist festzustellen, dass ein W2A-Objekt einen anderen Status besitzt als ein W2P- oder ein W2F-Objekt. Genauso sind physisch existente CPS-Objekte (W1) ontologisch völlig anders zu behandeln als virtuell existente CPS-Objekte (W3) in ihrer Eigenart als reine Artefakte. Analoges gilt für W1- bis W4-Ereignisse. Indem mit Pkt. 6.2.1 diese Aspekte, d.h. ein CPS- bzw. MAS- sowie schließlich ein CEP-adäquater Zugang zur Ontologie für die Informatik zwingend sind, erweist sich die Fixierung auf Substanzbegriffe als fehlleitend. Die Automatisierung hochkomplexer Systeme kann nicht auf Ontologien aufbauen, die unscharf definierte Kategorien wie den Substanzbegriff besitzen oder wahlweise auf völlig differente Welten bezogen sind, auf die Substanzkategorien abstellen. Diese Kritik bezieht sich nicht auf die aristotelische Metaphysik als solche, sondern auf darauf aufbauende substanzontologische Ansätze, die weniger stringent sind. Auf (neo-) aristotelischen Monoweltenontologien können MAS-basierte CPS nicht aufbauen. Vielmehr setzen sie *Mehrweltenontologien* wie die prozessuale Ontologiearchitektur von CYPO FOX voraus.

8. *Nichtadaptiver Substanzgedanke ist CAS-inadäquat*: Dem aristotelischen Substanzgedanken ist der Entelechiegedanke, diesem wiederum der Teleologiegedanke inhärent. Wenn die erste Substanz bei Aristoteles etwa biologische Organismen repräsentiert wird deutlich, dass das Teleologieprinzip bei Aristoteles letztlich im Zeichen eines transzendenten Lebensprinzips steht. Die Evolution einzelner Substanzen bzw. deren Werdeprozesse vollzieht sich nach Maßgabe der Entelechie, nicht nach Maßgabe der situativen Adaption auf konkrete raumzeitlich auftretende Ereignisse. Die aristotelische Metaphysik geht insofern nicht mit dem zu fordernden Ratio-Empirismus von Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken konform, als sie mit aktuellen naturwissenschaftlichen Kerntheorien inkompatibel ist; im konkreten Beispiel etwa mit der synthetischen Evolutionstheorie der Biologie, die Adaption wesentlich nicht nur extern, sondern genauso im Sinne interner Selektionsprozesse versteht. Somit sind die Kategorien bei Aristoteles nicht mehr im Sinne des Ratio-Empirismus wissenschaftlich legitimierbar, womit es kaum zu rechtfertigen ist, *Scientific Ontologies* auf (neo-) aristotelischen Ontologien gründen zu wollen, wie es B. Smith vollzieht.
9. *Abhängige Ereigniskategorie ist CEP-inadäquat*: Klasse-4-Metaphysiken sind als techno-wissenschaftliche Metaphysiken, die am Ratio-Empirismus festmachen, aus dem Grunde zu fordern, als allein auf ihrer Grundlage eine sachgerechte kategoriale Verhältnisbestimmung vollziehbar ist. Konkret geht es dabei um die schwierige, weil völlig disparat gehandhabte Verhältnisbestimmung von

Objekten und Ereignissen. (Neo-) aristotelischen Ontologien ist vorzuhalten, dass sie mit dem techno-wissenschaftlich unbegrundbaren starren Festhalten am Substanzgedanken den Blick auf eine realistische Verhältnisbestimmung von Objekten und Ereignissen konterkarieren, mithin den Blick auf die Realität verstellen. Für eine Metaphysik bzw. Ontologie, die wie die (neo-) aristotelische einen wissenschaftlichen Anspruch erhebt, bedeutet dies eine Fundamentalkritik, die mit Verweis auf geeignete Schlüsseltheorien entsprechend zu entkräften wäre. Mit Verweis auf Pkt. 5.7 kann das Substanzparadigma auch insofern keine Grundlage für die Ontologie der Informatik stellen, als die Verhältnisbestimmung von Objekten und Ereignissen auf ihrer Basis unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten nicht objektiv durchführbar ist. Es ist dabei zu unterstreichen, dass eine präzise Ontologiekonzeption nicht auf einer Falschauslegung der Kategorienlehre im Sinne des verbreiteten aristotelischen *Common Sense-Realismus* gründen kann. Die geläufige Uminterpretation von Akzidenzen bzw. Qualitäten in Ereignisse ist dem Irrtum aufgesessen, dass Ereignisse zwingend einen Träger erfordern. Ereignisse sind mit Verweis auf Pkt. 5.7 mehr als der Wechsel von Eigenschaften eines Trägers. Im Kontext der Informatik wird auf Basis von *Event Streams* vielmehr eine *eigenständige Ereigniskategorie* zwingend; darüber hinaus geht es um ein kompositionelles Ereignisverständnis, indem auf CEP-Basis *komplexe Ereignisse* elementar sind. Mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 werden Ereignisse mit E.J. Lowe selbst durch Verfechter neo-aristotelischer Ontologien bereits als eigenständige Kategorien, also jenseits von Objekten bzw. Substanzen behandelt. Allerdings scheint nicht nur bei E.J. Lowe Unsicherheit darin zu bestehen, wie sie genau zu behandeln sind, was sich allein auf Basis eines hierfür adäquaten Paradigmas, nämlich einer techno-wissenschaftlichen Prozessmetaphysik bestimmen lässt.

10. *Information bleibt als eigene physikalische Größe unberücksichtigt*: Die fehlerhafte Behandlung von Ereignissen in (neo-) aristotelischen Ansätzen geht nicht zuletzt darauf zurück, dass zwar Materie und Energie als physikalische Größen behandelt werden, jedoch nicht *Information*. Wird jedoch Information als eigene physikalische Größe behandelt und werden die Defizite der rein syntaktischen klassischen Informationstheorie abgestellt, folgt auch hieraus, dass Ereignisse als eigenständige Kategorie zu behandeln sind.
11. *Fixierung auf immanente Universalien ist falsche Restriktion*: (Neo-) aristotelische Ontologien zeichnen sich durch eine Fixierung auf Universalien aus, indem ihr Fokus – wie im Fall der BFO-TLO – auf den *immanenten Realismus* gesetzt und beschränkt ist. Mit dem in Pkt. 6.2.3 behandelten *immanenten Realismus* wird nochmals deutlicher, inwiefern und warum die aristotelische Ontologie jenseits ihrer Fehlinterpretation im Sinne des *Common Sense-Realism* den nicht um-

sonst durch Smith favorisierten *Scientific Ontologies* verpflichtet ist. Tatsächlich muss dieser analog zur Sichtweise bei Bunge im Sinne des *Scientific Realism* gesehen werden: es geht um eine Realitätsrepräsentation, die sich an streng wissenschaftlichen Gesichtspunkten orientiert und diesen standhält. Allerdings ist bereits in Bezug auf die Welt 1 einzuwenden, dass die Universalienfrage schon insofern metaphysischer Natur ist, als sie von der Konzeption des Universums abhängt. Das ist jenseits des Universalienstreits in dem Sinne gemeint, dass zunächst festzustellen ist, inwiefern die Universalienidee überhaupt von Belang ist bzw. als solche vorausgesetzt werden kann. Geht man – wie Aristoteles – von einem ewigen Universum aus, indem sich die Muster der natürlichen Welt wiederholen, sind Universalien in einem nomothetischen bzw. zeitindifferenten Sinne elementar. Geht man allerdings – wie Whitehead – von einem prozessual emergentistischen Universum aus, relativiert sich die Universalienidee des immanenten Realismus unvermittelt. Dann bilden nicht immanente Universalien den primären Gesichtspunkt, sondern zunächst einmal Partikularien. Wie in Pkt. 4.2 näher ausgeführt, bildet Whiteheads zentrale Kategorie der *actual entity* etwas Individuelles, was allerdings nicht heißt, dass Universalien für Whitehead keine Rolle spielen. Darüber hinaus kommt hier wiederum die oben erörterte Problematik der Monoweltenontologie ins Spiel. Während Universalien als Typen in der empirischen Welt 1 bzw. Welt 4 ohne Zweifel eine zentrale Rolle spielen, weil darauf die Wissenschaftsidee wesentlich gründet, ist in den notwendigen Mehrweltenontologien anders zu differenzieren. Wie in Pkt. 6.2.3 dargelegt, ist die Universalienfrage auf die Welttypen W1 bis W4 zu beziehen. Dann wird deutlich, dass der platonische Universalienrealismus in der W2-Ontologie bzw. in W3-Cyberwelten genauso legitim voraussetzbar ist, wie Typen in der W1- oder W4-Ontologie.

12. *Defekt durch fehlendes technologisches Entitatsverstandnis*: Mit der fehlenden Voraussetzung einer Mehrweltenontologie und der Nichtexistenz einer Welt 3 fehlt zugleich die Technopraxis. Jenseits des Universalienproblems wie jenseits des fehlinterpretierten *Common Sense-Realismus* bedeutet die Fixierung auf den immanenten Realismus, dass die Ontologie nicht auch auf *Konzepten* aufsetzen kann. Im Rahmen der GFO-TLO wird dieses Problem erkannt, womit eine entsprechend kritische Distanz zur BFO-TLO in dieser Sache gegeben ist. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* setzt diese technologische Komponente zwingend voraus, womit die (neo-) aristotelische Ontologie schon in dieser wesentlichen Hinsicht nicht wegweisend sein kann. Schließlich sei darauf verwiesen, dass Entitäten technologischer bzw. praktischer Ontologie im prozessmetaphysischen Sinne Whiteheads auf Basis einer einheitlichen Top-level Ontologie genauso zu behandeln sind wie Entitäten wissenschaftlicher Ontologie: sie lassen

sich auf Basis der zentralen Kategorie der *actual entity* als etwas Individuelles auffassen.

13. *Endurantismus ist mit Wissenschaft, Technologie und Praxis unvereinbar*: Mit Pkt. 6.2.5 ist herauszustellen, dass die im Kern bestehende endurantistische Position (neo-) aristotelischer Ontologien mit ihren 3D-Entitäten, die prozessual ein "3D+T" bedeuten, weder mit der Wissenschaft noch mit der Technopraxis vereinbar sind. Analoges ist insgesamt für die *Theorie komplexer Systeme* vorauszusetzen. Mit Russell (1940: 98) gilt: »Commonsense regards a 'thing' as having qualities, but not as defined by them; it is defined by spatio-temporal position. I wish to suggest that, wherever there is, for common sense, a 'thing' having the quality C, we should say, instead, that C itself exists in that place, and that the 'thing' is to be replaced by the collection of qualities existing in the place in question. Thus 'C' becomes a name, not a predicate«. Im Hinblick auf wissenschaftliche Ontologien ist wiederum auf ihre Inkompatibilität mit *Schlüsseltheorien* zu verweisen. Werdeprozesse dissipativer Systeme vollziehen sich raumzeitlich, womit 4D-Entitäten vorauszusetzen sind. Analoges gilt für die Technopraxis, wie es im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in Pkt. 6.2.5 im Einzelnen dargelegt wird.
14. *"Furniture"-Ontologien und Common Sense-Realismus sind CPSS-inadäquat*: CPS-Universen sind nicht im Substanzsinne fest möbliert, sondern basieren auf Strukturen, Mustern und deren Reproduktion. Im Sinne von Wheelers (1990: 5) *"It from bit"*, das unmittelbar auf Whitehead (1919, 1929a) zurückgeht, laufen diese auf eine Ereignisorientierung und damit ontologisch auf eine Ereigniskategorie hinaus. Es sind Ereignisse, die die »answers to yes-or-no questions, binary choices, bits« bilden. Zweifellos handelt es sich dabei um eine Sichtweise, die auf Grundlage der aristotelischen Metaphysik schon deshalb nicht denkbar ist, indem *Information* als eigene physikalische Größe unberücksichtigt ist. Allerdings lassen sich Cyber-physische Systeme anders kaum universal konzipieren, als dass ihre physischen wie virtuellen Prozesse gemeinsam auf dieser quantentheoretischen Grundlage aufbauen. Gewiss sind Objekte auch in Prozessuniversen von Relevanz, jedoch nur insofern, als sie in Ereignissen situiert sind. *"Furniture"-Ontologien* wie *Common Sense-Realismus* sind deshalb CPSS-inadäquat, als sich CPS-Kontexte durch die Transformation von Welten sowie durch raumzeitlich endogene Transformationen von Objekten auszeichnen.
15. *Eine integrierte (neo-) aristotelische Ontologiekonzeption ist unmöglich*: Insgesamt wird deutlich, dass jene integrierte Ontologiekonzeption, die für die Zwecke der Informatik unabdingbar ist, auf aristotelischer Grundlage in keiner Weise umsetzbar ist. Mit Blick auf die große Konfusion in der Ontologiedebatte lässt sich folglich auf ihrer Basis auch kein einheitliches Ontologieverständnis

realisieren. Mit anderen Worten wird Feyerabends (1975) "*anything goes*" insofern *ad absurdum* geführt, als (neo-) aristotelische Ontologiekonzeptionen nicht das Versprechen universaler Ontologie einzulösen vermögen.

Im Zuge der Reflexion dieser maßgeblichen Philosophie sollte deutlich werden, dass die Defekte der TLO-Ansätze in elementarer Weise in ihren philosophischen Grundlagen zu suchen sind. Das gilt vor allem für die BFO-TLO in ihrer umfassenden Prägung durch die (neo-) aristotelische Substanzontologie, jedoch wie dargelegt auch für zahlreiche andere TLO-Ansätze. Fragt man warum TLO-Ansätze gegenwärtig immer noch auf der aristotelischen Sichtweise aufzubauen suchen, ist festzustellen, dass sie zu sehr auf eine positivistische Realitätsrepräsentation fixiert sind. Hierbei spielen vor allem empirische Belange (BFO) sowie die realitätsgerechte konzeptuelle Modellierung (BWW) eine Rolle. Allerdings werden dabei die Aspekte des AI-zentrischen erweiterten Realitätsverständnisses genauso vergessen wie die grundlegenden AI-Fragen insgesamt aus dem Auge geraten. Eine moderne AI-Ontologie kommt an zentralen Aspekten wie CPS, MAS, CAS, CEP usf. nicht vorbei, indem diese für sie konstituierend sind.

Insgesamt lässt sich als Fazit ziehen, dass die (neo-) aristotelische Ontologiekonzeption sich für die Zwecke der Informatik in grundsätzlicher Hinsicht nicht eignet; sie ist CPSS-inadäquat. Dennoch vermittelt sie für die Ontologiediskussion der Informatik in mindestens zweifacher Hinsicht wesentliche Einsichten: (i) in Ergänzung zur Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysik wird auch auf ihrer Grundlage deutlich, dass eine integrierte Ontologiekonzeption des *reinen* Modus der *Scientific Ontology* bedarf. Tatsächlich ist dieser für die erwähnte *Semantic E-Science* wie für die Repräsentation wissenschaftlichen Wissens unabdingbar. Darin besteht nicht nur der zentrale Anspruch von Smithens BFO-TLO, sondern eine analoge Position in dieser Sache findet sich auch bei der im folgenden Pkt. 5.3 behandelten Bungeschen Ontologie als Bezugsbasis der BWW-TLO mitsamt ihres *Scientific Realism*. Gerade in dieser Hinsicht sind beide Ansätze als neo-aristotelisch zu werten. Diesem Anspruch der *Scientific Ontology*, der sich kaum in dieser Deutlichkeit bei anderen TLO-Ansätzen findet, wird in der CYPO-Ontologiekonzeption sowohl durch den empirischen W1A-Modus (natürliche Prozesse) als auch durch den empirischen W4A-Modus (soziale Prozesse) entsprochen. Beide haben die aktuelle Welt zum Gegenstand und stehen dabei unter dem methodologisch strengen Regime des Kritischen Rationalismus. (ii) Zum anderen kann sich erst anhand der Diskussion von Defiziten und Defekten zeigen, wie Ontologie sachgerecht zu konzipieren ist. In diesem Sinne ist jede Ontologiekonzeption für die Ontologieforschung hilfreich, nur sind ihre Schwächen ohne falsche Rücksichtnahme dann auch rigoros zu benennen. Im Zuge der Reflexion der (neo-) aristotelischen Ontologiekonzeption wird erst die Mächtigkeit der Whiteheadschen Ontologie richtiggehend fassbar. Tatsächlich werden alle Probleme, die sich bei Aristoteles offenbaren, durch die Whiteheadsche Prozessmetaphysik geheilt. Sie stellt dabei die Synthese verschiedener zentraler Überlegungen Platons, Aristoteles' wie einer ganzen Reihe weiterer Ansätze,

insbesondere des Leibnizschen dar. In dieser Whiteheadschen Synthese besteht für eine universale Ontologiekonzeption, wie sie die Informatik mit ihren disparaten wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Zwecken vorauszusetzen hat, die ultimative Voraussetzung für ein allumfassendes Ontologieverständnis.

Ereignisse sind selbst in *physischen* IoT-Umgebungen gerade nicht notwendig an einen Träger gebunden. Das wird im IoX-Hyperspace schon daran ersichtlich, dass es solche Träger im IoS-Subsystem wie virtuellen SOA-Umgebungen gar nicht gibt,³⁵⁹³ wohl aber Ereignisse und die Ontologie an sich. Entsprechend gestalten sich auch die für die Informatik elementaren *Event Streams* zwar nicht notwendig, doch prinzipiell als tragerlos. Der aristotelische Hylemorphismus ist entsprechend haltlos. Besser beraten ist die Disziplin in dieser Sache, wenn die Frage einer CPSS-adäquaten Ontologie in grundsätzlicher Weise nicht von den materiellen Aspekten der physischen Welt, sondern von Zuses (1982) *Computing Universe* angegangen wird. Dafür spricht nicht nur, dass damit den Erfordernissen der Informatik besser Rechnung getragen wird und es sich dabei um den metaphysisch schwieriger zu fassenden CPS-Gesichtspunkt handelt, sondern auch, dass man damit nicht so leicht der Materialismusfalle verfällt. Damit ist weder behauptet, dass es keine Träger mit Ereignissen gibt; noch impliziert, dass der Aspekt der Materie für die Informatik keine Rolle spielt. Nur müssen diese Momente ontologisch gänzlich anders angegangen werden. Für die ontologische Behandlung der Übergänge der CPS-Universen muss wegweisend sein, was insgesamt für den IoT-Komplex elementar ist, nämlich die physische wie virtuelle Sensorik. Dann ist evident, wie Objekte und Ereignisse zu behandeln sind, nämlich in perzeptiv-epistemologischer Hinsicht nach Maßgabe von Interpretern, die aus Sensorgruppensignalen auf das assoziative Objekt schließen, und in ontologischer Hinsicht, indem es sich im Einklang mit physikalischen Theorien bei Objekten um ereignisbasierte Ordnungsmuster handelt. In beiden Fällen sind also Ereignisse das Primäre und Objekte das Nachgeordnete, womit Aristoteles auf den Kopf gestellt ist; er erweist sich als Grundlage der Ontologie der Informatik als irreführend bzw. insgesamt als ontologisch unhaltbar.

Wie in Pkt. 1.1 dargelegt, wird mit Vermesan et al. (2009) auch im IoT-Kontext explizit auf die aristotelische Substanzontologie rekurriert, indem eine vermeintliche Korrespondenz von *IoT-Things* und *Substances* angenommen wird. Allerdings kann dabei Vermesan et al. (2009) nicht bewusst sein, dass für Aristoteles der Hylemorphismus gilt, was mit Zuses (1982) *Computing Universe* unvereinbar ist. Unabhängig davon übersehen Vermesan et al. (2009), dass es in erster Linie weniger darum geht, beide Typen von "Universen" überhaupt als solche adressieren zu können, sondern dass der Fokus darüber gerade hinausgehend auf ihr kausales Wechselspiel bzw. ihren nahtlosen Übergang zu richten ist. Solche Übergänge sind mit der aristotelischen Substanzwelt bzw. den zehn aristotelischen Kategorien, auf die Vermesan et alii abstellen, in keiner Weise zu vereinbaren. Auch erfordert eine einheitliche Adressierung beider Typen von "Universen", dass die aristotelische

³⁵⁹³ Vgl. etwa X. Zhang/Gracanin (2008).

Form-Materie-Dichotomie genauso auf den Kopf gestellt wird. Denn dann kann nicht mehr im aristotelischen Sinne die letzte primär sein; vielmehr ist ihr Verhältnis im Sinne der modernen Physik als *Theorie komplexer Systeme* bzw. als *Strukturwissenschaft* im Leibniz-Whiteheadschen Sinne mit Russell (1927a) oder C.F. von Weizsäcker (1974) genau umzudrehen. Diese Erfordernisse lassen sich auf Basis solcher antiken Metaphysiken aber erst gar nicht verstehen, weil sie nicht darauf ausgelegt sind. Auf dieser veralteten Grundlage ist auch nicht nachzuvollziehen, dass die einheitliche Adressierung beider Typen von CPS-Universen im Sinne des kausalen Wechselspiels zwischen der natürlichen und der artifiziellen Sphäre einen völlig andersartigen Realitätsbegriff erfordert,³⁵⁹⁴ der weder mit Aristoteles noch mit emergentistischen Materialisten wie Bunge und darauf aufbauenden Ontologien der Informatik einzulösen ist. Entsprechend ist zu bemängeln, dass es inkonsequent ist, wenn Vermesan et al. (2009) zwar die Notwendigkeit einer "sorgfältigen" philosophischen Analyse betonen, jedoch selbst exemplarisch solch antiquierte philosophische Positionen ins Spiel bringen, die sich für die Zwecke der Informatik als gänzlich ungeeignet erweisen.

Eine sorgfältige philosophische Analyse hat demgegenüber mit Blick auf den ebenfalls bemühten Philoponos festzustellen, dass es bei seinen "*besouled*" things, die Vermesan et al. (2009) mit dem *Internet of Things* assoziieren, weniger um die Intelligenzbefahigung als solche geht, die Rationalisten wie Descartes mit dem Substanzdualismus im Sinn haben. Vielmehr zielen die "*besouled*" things des Philoponos im Zeichen seines Monophysitismus wesentlich auf die *metaphysica specialis*, um die es in der *Ontologie* jedoch gar nicht geht: Denn diese ist mit Wolff (1730) *metaphysica generalis*, was auch für jede CPSS-adäquate Metaphysik vorauszusetzen ist. Eine "sorgfältige" philosophische Analyse kann nicht über diese und andere entscheidende Details hinwegsehen; zumindest sollte man dann nicht in der Analyse auf eine solche Sorgfalt insistieren. Es lässt sich in der Ontologiedebatte nicht alles nach Belieben vermischen, verwechseln oder uminterpretieren, wenn autonome maschinelle Agenten im Zeichen von *Reality Machines* einen "*general world view*" einfordern. Denn dieser muss in jeder Hinsicht metaphysisch-systematisch durchdacht und vollends belastbar sein. Dazu sind die philosophischen bzw. metaphysischen Systeme aber so zu nehmen, wie sie in ihrem Kern tatsächlich veranlagt sind. Wenn Philoponos' "*besouled*" things mit den durch Vermesan et al. (2009) assoziierten *smart objects* in IoT-Kontexten ungefähr so viel gemein haben wie G.T. Fechners (1848, 1851) *induktive Metaphysik* mit Zuses (1982) *Computing Universe*, sind Zweifel angebracht, ob das reale Kausalitätsproblem, das autonome *Reality Machines* mit sich bringen, dann richtig verstehbar ist.

³⁵⁹⁴ Die drei Beziehungstypen, die Keeley (1997: 266 f.) im Zuge der AL-Forschung für die Relation zwischen dem Artifiziellen und dem Natürlichen identifiziert, lassen sich prinzipiell auf sämtliche *Cyberphysische Systeme* (CPS) übertragen, also nicht nur auf AL-nahe humanoide Roboter.

5.3 Zum TLO-Rekurs auf Bunges 3D-materialistische Systemontologie

»Die Ontologie des Materialismus beruhte auf der Illusion, daß man die Art der Existenz, das unmittelbar Faktische der uns umgebenden Welt, auf die Verhältnisse im atomaren Bereich extrapolieren könne. Aber diese Extrapolation ist unmöglich.«

— Werner Heisenberg (1959: 136)

Nicht nur die aristotelische Substanzontologie, sondern auch die Bungesche Ding- bzw. Substanzontologie spielt im Zuge der Explikation der *Top-level Ontologie* eine wichtige Rolle, die sich mit folgenden fünf Punkten umreißen lässt:

- i. Die Bungesche Ontologie stellt die direkte Bezugsbasis der BWW-TLO sowie der diese erweiternden IOMIS-TLO dar. Darüber hinaus ist sie direkte Referenzbasis der DEMO-EO.
- ii. Bei der BWW-Systemontologie Wand/Webers als Metamodell konzeptueller Modellierung handelt es sich um die mit Abstand meistverwendete CM-Ontologie und gleichzeitig um den ältesten TLO-Ansatz. Diese ist für U-PLM-Systeme als Prozesssysteme insofern von wesentlicher Relevanz, als Penicina (2013) zum Schluss gelangt, dass das BPMN2-Metamodell am besten durch die BWW-TLO unterstützt sei, was nur vermeintlich der Fall ist. Das zentrale Problem an der BWW-TLO besteht indessen darin, dass sie bei Anwendung in den Reihen der Informatik oftmals wenig verstanden zu sein scheint. Wyssusek/Klaus (2005a: 586) liegen sicher nicht falsch, wenn sie der ontologischen Praxis der Informatik attestieren, »that a nave practice with the BWW ontology is quite common«. ³⁵⁹⁵ ähnliches ist zwar auch bzgl. konkurrierender TLO-Ansätze festzustellen, trifft aber gerade auf die BWW-TLO zu, indem offensichtlich vielen Anwendern die Sachverhalte, die Bunges Ontologie impliziert, in ihrer gesamten Tragweite nicht zugänglich zu sein scheinen. In der Tat werden die Probleme der Bungeschen Ontologie erst im Detail offensichtlich, nicht zuletzt vor dem Hintergrund einer kritischen Prüfung im Kontext Cyber-physischer Systeme bzw. Computern als *"Reality Machines"*.
- iii. Zugleich handelt es sich bei der BWW-TLO zweifellos um die aus IT-Sicht umstrittenste philosophische Bezugsbasis für Ontologien der Informatik. Die Bungesche Ontologie wird – teils unberechtigt, ³⁵⁹⁶ zumeist aber berechtigt – insbesondere im Kontext der Ontologiedebatte der Informatik in fundamentaler

³⁵⁹⁵ Vgl. zu ähnlicher Kritik Wyssusek (2006b) sowie Lyytinen (2006).

³⁵⁹⁶ Hierzu gehört etwa die Ansicht von Wyssusek/Klaus (2005b: 325), wonach gelte, dass Bunge »hardly finds support in contemporary philosophy«; mit Blick etwa auf den fehlenden Ratio-Empirismus in weiten Teilen der heute führenden analytischen Ontologie ist dieses Argument wohl zweifelhaft. Hierzu gehört auch etwa Krogsties (2006) Vorwurf, Bunges ontologische Position wäre die des *dialektischen Materialismus*, der mit Krogsties (2006) eigener Position eines sozialen Konstruktivismus konfligiert. Bunge hat sich zwar an früherer Stelle tatsächlich auf diesen bezogen, vgl. Bunge (1977a: 5), weist aber in späteren Werken explizit darauf hin, dass er gerade keinen dialektischen Materialismus, sondern einen davon in vielen Grundsatzfragen verschiedenen emergentischen bzw. *wissenschaftlichen Materialismus* vertritt, vgl. etwa Bunge/Mahner (2004).

Hinsicht angegriffen.³⁵⁹⁷ Ebenso findet sie von philosophischer Seite Kritik.³⁵⁹⁸ Indem es sich aus IT-Sicht um die umstrittenste philosophische Bezugsbasis für Ontologien der Informatik handelt, werden die Defizite und Defekte des Bungeschen Werks einschließlich entsprechender Gegenpositionen im Folgenden ausführlicher diskutiert. Diese umfassendere Diskussion besitzt jedoch noch eine darüber hinausgehende Bewandtnis: Mit ihr wird nochmals deutlich, dass die wesentlichen TLO-Fragen unmittelbar mit den fundamentalsten metaphysischen Fragen verknüpft sind und nicht von diesen losgelöst behandelt werden können. Dabei illustriert die Kritik der Bungeschen Ontologie zwei entscheidende Erkenntnisse für die Ontologiedebatte: (a) dass im Sinne der fundamentalen Kategorien und meta-ontologischen Kriterien *Ontologie* allein als *integrierte metaphysische Wissensontologie* verstanden werden kann. Sowie (b), dass diese metaphysischen Grundlagen nicht in der Bungeschen Klasse-3-Metaphysik bestehen können, sondern allein in einer techno-wissenschaftlichen Computer- bzw. Digitalmetaphysik, die mit Verweis auf Pkt. 4.1 als *Klasse-4-Metaphysik* zu klassifizieren ist.

- iv. Als Substanzontologie verkörpert das Bungesche Werk in verschiedener Hinsicht – wenn auch nicht in allen Belangen – die konsequenteste Weiterentwicklung des aristotelischen Ansatzes, der damit letztlich in der BWW-TLO direkten Niederschlag findet. Milton (2004, 2007) indessen stellt die Ontologie Bunges aufgrund ihres Naturalismus auf Basis eines konkurrierenden neo-aristotelischen Ansatzes in Frage, indem er seinen TLO-Ansatz auf der nachfolgend in Pkt. 5.4 diskutierten sprachphilosophischen *Common Sense-Ontologie* Chisholms (1989) gründen lässt.
- v. Bei Bunges Substanzontologie handelt es sich um eine explizite Gegenposition zu Whiteheads bzw. Reschers Prozessontologie einerseits, sowie bei Bunges Materialismus um eine explizite Gegenposition zu Poppers antimaterialistischer Welt 3. Bunge greift Whitehead, Rescher und Popper entsprechend genauso an wie darauf gründende AI- bzw. AL-Ansätze. Ohne Klärung dieses wissenschaftlichen Grundsatzstreits lässt sich keine fundierte Ontologieposition für die Informatik wie auch insgesamt entwickeln. Aus diesem Grunde geht es im Folgenden nicht um eine rein auf das Bungesche Werk fixierte Kritik, sondern vielmehr darum, die Bungeschen Positionen an den entscheidenden Stellen konkurrierenden Positionen entgegenzustellen und komparativ zu diskutieren. Es geht also weniger um Bunges Ontologie als solche als vielmehr darum, die Probleme der Ontologie im Kontext der Defizite und Defekte der Bungeschen

³⁵⁹⁷ Vgl. etwa Allen/March (2000, 2006, 2008), Milton (2004, 2007), Wyssusek (2004a, 2006a, 2006b), Lamp/Milton (2005), Wyssusek/Klaus (2005a, 2005b), Guarino/Guizzardi (2006), Guizzardi/Masolo/Borgo (2006), Krogstie (2006) sowie March/Allen (2009).

³⁵⁹⁸ Vgl. etwa Rescher (1996: 33).

Ontologie zu verstehen. Insofern wird partiell auch auf Positionen Whiteheads, Poppers, Wheelers, C.F. von Weizsäckers, Wieners genauso eingegangen wie etwa auf jene Quines oder Grossmanns. Denn sie alle konfliktieren in je spezifischer Weise in fundamentalen Fragen mit den Positionen Bunes.

Die Metaphysik bzw. Ontologie M. Bunes (1977a) ist grundsätzlich von klassischem Zuschnitt, indem für sie gilt: »ontology is the science concerned with the whole of reality: that which studies the most general features of every mode of being and becoming«. ^{3599, 3600} Es geht also um eine Metaphysik, die streng auf die Realität bezogen ist, und die Sein und Werden in einem einheitlichen Ansatz zu adressieren sucht, wie es grundsätzlich mit der aristotelischen Perspektive korrespondiert. Während auch Aristoteles' [Phys.] *Physik* im engen Kontext zu seiner *Metaphysik* zu sehen ist, gilt gleiches auch für Bunge, der von der theoretischen Physik zur Philosophie vorgerückt ist. Insofern verwundert es nicht, dass Bunge (1981) einen *Scientific Materialism* vertritt, für den es nur eine ratio-empirisch relevante physikalische Größe gibt, nämlich *Materie*. ³⁶⁰¹ Damit bezieht sich die Metaphysik bei Bunge gleichzeitig nach Maßgabe seines *Scientific Realism* allein auf die aktuelle Welt; mögliche Welten werden durch Bunge (1973) abgelehnt:

»Every existent is a material system. The world is a system of material systems. The world is one and all there is.« ³⁶⁰²

Wie bei Aristoteles, wird auch bei Bunge der Substanzbegriff in seiner Substanzontologie entscheidend; denn die Substanz ist für Bunge das, was die Eigenschaften "trägt". ³⁶⁰³ Es handelt sich damit bei Bunge in aristotelischer Tradition um einen *philosophischen* Substanzbegriff, ³⁶⁰⁴ den Bunge als "*bare particular*" bzw. "*bare individual*" versteht. ³⁶⁰⁵ Dabei bezieht sich Bunge (1977a: 26) nicht nur auf Aristoteles' *erste Substanz*, sondern auch auf Platons *formlose Materie*; diese erachtet er als ähnlich, jedoch nicht als identisch. Dieser Aspekt ist insofern wesentlich, als genauer evaluiert werden muss was gemeint ist, wenn Bunge erklärt, dass sein Ansatz auf einem *philosophischen* Substanzbegriff aufbaut. Denn die klassische Substanz genügt sich selbst; entsprechend sind auch die *Relata* bei Aristoteles konzipiert.

³⁵⁹⁹ Vgl. Mahner/Bunge (1997: 3).

³⁶⁰⁰ Mahner/Bunge (1997: 3) setzen nicht nur *Ontologie* und *Metaphysik*, sondern damit auch die *philosophische Kosmologie* gleich. Diese Auffassung wird hier nicht geteilt; alle drei Begriffe besitzen deutliche Unterschiede; Kosmologie wird hier im Sinne Poppers auf die aktuelle Welt beschränkt, Metaphysik jedoch nicht. Die Differenzierung zwischen Metaphysik und Ontologie ist etwa in Pkt. 3.5 und Pkt. 4.1 ersichtlich. – Wenn Wolffs Metaphysiksystematik entgegen Bunge impliziert, dass der Metaphysikbegriff strikt vom Ontologiebegriff zu differenzieren ist, wird ersichtlich, dass die spezifischen Einzelwissenschaften entgegen Mahner/Bunge (1997: 4) keineswegs "spezielle Metaphysiken" darstellen können, wohl aber – wie sie an gleicher Stelle erklären – "regionale Ontologien" bilden.

³⁶⁰¹ Dahinter steht die methodologische Position des *Scientific Realism*; der *Scientific Materialism* garantiert für Bunge, dass keine beliebigen *immateriellen Entitäten* als *ontologische Entitäten* aufgefasst werden, vgl. etwa Bunge (2006: 49).

³⁶⁰² Bunge (1973: 172), ohne Hvh. des Orig.

³⁶⁰³ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 22).

³⁶⁰⁴ Ibid.

³⁶⁰⁵ Vgl. Bunge (1977a: 26) sowie Bunge/Mahner (2004: 238).

Bunge (1977a: 26) steht insofern nur sehr begrenzt in aristotelischer Tradition, als auch er konstatiert, dass die aristotelische Vorstellung einer selbstidentischen Substanz genauso wie die Vorstellung Platons von formloser Materie durch die Wissenschaften widerlegt worden sind. Entsprechend zeigt sich die Substanz bei Bunge vollkommen anders konzipiert, nämlich relational auf Komplexitätsentstehung abstellend, womit bei Bunge die Bildung *zusammengesetzter* Entitäten möglich wird. Bunes daraus resultierendes "*aggregate of bare individuals*" besitzt somit die Eigenschaft des Zusammengesetztseins, d.h. die Eigenschaft, *Teile* zu besitzen.³⁶⁰⁶ Warum Bunge den Substanz- durch den neutraleren Dingbegriff ersetzt, hängt nicht nur mit dem kompositionellen Moment und der damit verbundenen Aufgabe des in Pkt. 5.2 erwähnten prinzipiellen Unabhangigkeitskriteriums der Substanz zusammen. Vielmehr geht es in verschiedener Hinsicht um eine gänzlich andere Art von Metaphysik, die bei Bunge (1973) unter dem Gesichtspunkt komplexer Systeme stark an die Whiteheadsche (1929a) erinnert, wobei allerdings dessen Antimaterialismus sich nicht allein auf *physisch-materielle* Systeme, sondern vielmehr auf *alle* Formen *logico-mathematischer* Systeme fixiert:

»Every material system is the outcome of a process of self assembly or a result of a process of decomposition of another material system.«³⁶⁰⁷

Ganz anders als bei Aristoteles sind die Entitäten in ständiger Interaktion, womit es wie bei Whitehead (1929a) um eine *systemische Ontologie* geht:³⁶⁰⁸

»Everything interacts with something else and is forever changing in some respect of other. Some changes involve the emergence of new qualities and new laws. Furthermore, there are evolutionary changes.«³⁶⁰⁹

Damit wird zugleich offensichtlich, dass der TLO-Rekurs auf philosophische Ontologien wie im Fall von BWW auf Bunes Ontologie unmittelbar in der in Pkt. 4.5 behandelten *Mereologie* mündet; genauso wie etwa mit Pkt. 6.2.5 im Widerstreit von *Endurantismus vs. Perdurantismus* wie weiterer meta-ontologischer Fragestellungen. Es ist also in der TLO-Debatte gerade nicht damit getan, auf einen passend erscheinenden philosophischen Ansatz zu rekurrieren und sich nicht mit der Metaphysik dieses Ansatzes auseinanderzusetzen. Obwohl auch P.M. Simons (1987) grundsätzlich noch wie Bunge eine 3D-Perspektive vertritt, erscheint ihm die mereologische Fundierung der Buneschen (1966a, 1977a: 50 ff.) Ontologie doch so weit entfernt, dass es für ihn gar nicht erst lohnt nach etwaigen Parallelen zu suchen.³⁶¹⁰

Mit der aus wissenschaftlicher Perspektive problematischen Konzeption bei Aristoteles vermeidet Bunge auch weitgehend den Substanzbegriff und spricht vielmehr allgemein von *Dingen*. Komplexe Dinge verkoppelter Komponenten bilden schließlich bei Bunge (1979a) *Systeme*,³⁶¹¹ insofern handelt es sich bei seiner Klasse-3-Metaphysik wie bei der fünfzig

³⁶⁰⁶ Vgl. Bunge (1977a: 26).

³⁶⁰⁷ Bunge (1973: 172), ohne Hvh. des Orig.

³⁶⁰⁸ Vgl. hierzu auch Bunge/Mahner (2004: 71).

³⁶⁰⁹ Bunge (1973: 172 f.), ohne Hvh. des Orig.

³⁶¹⁰ Vgl. Simons (1987: 13, Fn. 5).

³⁶¹¹ Vgl. Bunge (1977a: 26).

Jahre älteren, wengleich moderneren Whiteheadschen (1929a) Klasse-4-Metaphysik als wissenschaftliche Ontologien um *Systemontologien* bzw. *systemische* Ontologien. Bunge (1979a: 1 ff.) setzt die "systemische" Strukturiertheit als ontologische Eigenschaft der Welt voraus und deklariert die Welt entsprechend als System. Mit seinem emergentischen Materialismus vertritt er dennoch einen *Substanzmonismus* mit Eigenschaftspluralismus.³⁶¹² Denn die einzige Substanz, die in seiner materialistischen Substanzmetaphysik real existiert, ist die Materie. Und auch in einem weiteren Punkt ist Bunge ganz der aristotelischen Tradition verpflichtet, nämlich was den ebenfalls im vorausgehenden Pkt. 5.2 erwähnten *Hylemorphismus* betrifft. Denn im genauen Gegensatz zur in Pkt. 6.1.2 dargelegten Position C.F. von Weizsäckers stellt bei Bunge nicht etwa die Form den Oberbegriff, der sich etwa im Sinne der platonischen Ideen von der Materie ablösen ließe. Vielmehr wird bei Bunge in aristotelischer Tradition und auf Basis seines Materialismus alle Form *strikt auf Materie* bezogen.³⁶¹³ Indem Bunge offensichtlich die Problematik der zu engen Spezifikation der aristotelischen Substanz erkennt, wird sie universaler in ein *Ding* (Thing), nämlich einen *materiellen Gegenstand*, transformiert. Dabei gelten bei Bunge ebenfalls folgende Gleichsetzungen: "Ding = konkretes Objekt", "Ding = materielles Objekt" sowie "Ding = reales Objekt", so dass sich insgesamt im Sinne eines spezifisch neo-aristotelischen Schemas folgender Zusammenhang ergibt:³⁶¹⁴

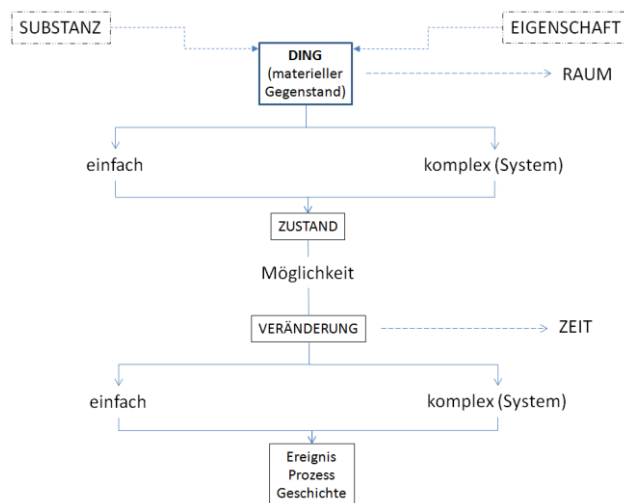


Abb. 28:³⁶¹⁵ Monokategoriale materialistische Ontologie Bunes

Für Bunge gilt in fundamentaler Hinsicht, dass die Welt *ausschließlich* aus *Dingen*, d.h. konkreten oder materiellen Gegenständen besteht;³⁶¹⁶ insofern erfolgt bei ihm auch eine Gleichsetzung "Entität = Ding". Im Sinne der unter Pkt. 4.4 erwähnten Differenzierung von Lewis (1990) ist Bunge also den "*Some-ists*" zuzuordnen; für ihn steht außer Frage,

³⁶¹² Vgl. Bunge/Mahner (2004: 151).

³⁶¹³ Vgl. Bunge (1977a: 57): »[T]here is no formless substance except as a useful fiction. Nor are there pure forms hovering above matter«.

³⁶¹⁴ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 17, 22).

³⁶¹⁵ Quelle: eigene Darstellung nach Bunge/Mahner (2004: 17).

³⁶¹⁶ Vgl. Mahner/Bunge (1997: 6) sowie Bunge/Mahner (2004: 21).

dass es "etwas" gibt, und das sind *abstrakte* und *konkrete* Objekte. Dabei handelt es sich um die zwei zentralen Arten von Objekten, zwischen denen die Philosophie für gewöhnlich differenziert. Abstrakte Objekte sind solche, die begrifflich resp. konzeptionell bzw. immateriell sind, während *konkrete Objekte* entweder – gemäß materialistischer Position – materielle Objekte verkorpfern oder – gemäß strukturwissenschaftlicher Position – raumzeitliche Koordinaten aufweisen. Materielle Objekte werden als Dinge bezeichnet, begriffliche Objekte als Konstrukte, wobei kein Ding ein Konstrukt ist und kein Konstrukt ein Ding. Bunge fächert diese abstrakten und konkreten Objekte weiter auf, wobei sich diese Auffächerung in anderen Metaphysikansätzen im Detail anders darstellt:

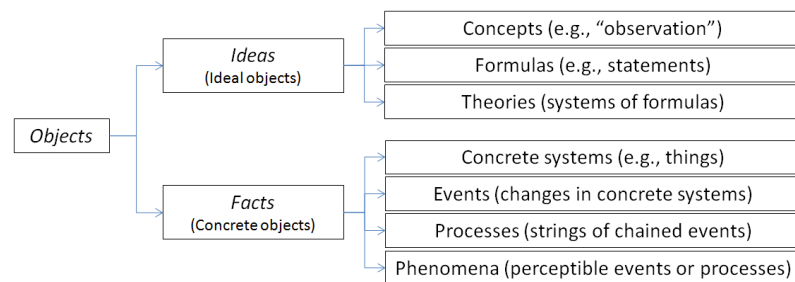


Abb. 29:³⁶¹⁷ Abstrakte und konkrete Objekte in Bunes Ontologie

Dass es abstrakte und konkrete Objekte "gibt", heißt bei Bunge allerdings nicht, dass sie auch real existieren. Hier kommt nämlich Bunes weiter unten aufgegriffener *emergenti-scher Reduktionismus* ins Spiel, mit dem gleichzeitig deutlich wird, dass der Emergentismus bei Bunge ein grundsätzlich anderer ist als etwa bei Hartmann oder Popper. Denn im Unterschied zu Platon oder Popper sind abstrakte Objekte für Bunge nicht real. Für ihn gibt es also nicht etwas wie einen platonischen Ideenhimmel. Vielmehr sind *abstrakte Objekte* (bzw. Ideen) bei Bunge immer nur "gedacht" und damit subjektabhangig. Daraus folgt für Bunge, dass allein *konkrete Objekte* bzw. *materielle Gegenstände* bzw. *Dinge* und somit letztlich allein *Materie* real ist – und nichts anderes. Konkrete Objekte sind für Bunge *Fakten*. Darunter fallen auch Ereignisse und Prozesse: »Events and processes are what happens to, in, and among concrete systems«. ³⁶¹⁸ Insgesamt gilt dabei, dass insbesondere *Ereignisse* und *Prozesse* als *konkrete Objekte* jene Fakten repräsentieren, die den Gegenstand der Tatsachenwissenschaft bilden:

»Events, processes, phenomena, and concrete systems are, then, facts; or rather, we shall count them in the extension of the concept of fact. Facts are, in turn, a kind of object. *Object* is, indeed, whatever is or may become a subject of thought or action. Things and their properties are objects; again, concepts and their combinations (e.g., propositions) are objects, but of a different kind: they are often called *ideal objects*. Facts, the concern of factual science, are objects of a different kind: they may be termed *concrete objects*.« ³⁶¹⁹

Dabei zeigen sich *Ereignisse* bei Bunge (1967b) zunächst noch *raumzeitlich* konzipiert:

³⁶¹⁷ Quelle: eigene Darstellung nach Bunge (1967b: 156).

³⁶¹⁸ Vgl. Bunge (1967b: 155).

³⁶¹⁹ Bunge (1967b: 156), Hvh. im Orig.

5. Kritik des TLO-Theorieanwörter-Rekurses auf philosophische Ontologien

»An *event*, happening, or occurrence, is any change taking place in spacetime – or rather generating a region of spacetime – and regarded, for some reason or other, as a unit in some respect, and extended over an interval.«³⁶²⁰

Raumzeit (spacetime) bezeichnet bekanntlich die Vereinigung von Raum und Zeit in einer vierdimensionalen Struktur, wie sie in der Relativitätstheorie verwirklicht ist. Indem diese als 4D-Struktur mit Pkt. 6.2.5 auf den Perdurantismus weist, besteht jedoch eine offensichtliche Inkompatibilität mit Bunges (1977a) 3D-basierter Ding- bzw. Substanzontologie. Analoges gilt für Bunges Prozessverständnis:

»A *process* is a sequence, ordered in time, of events and such that every member of the sequence takes part in the determination of the succeeding member.«³⁶²¹

Ereignisse und damit auch Prozesse werden zwar auch bereits bei Bunge (1967b) auf physische Dinge als *konkrete Systeme* bezogen, wobei diese von ihm gegenüber *konzeptuellen Systemen* wie Theorien abgegrenzt werden.³⁶²² Richtig explizit vollzogen wird dies jedoch erst bei Bunge (1977a), wenn hier festgestellt wird: »a (real) fact is either the being of a thing in a given state, or an event occurring in a thing«.³⁶²³ Genauer heißt es:

»Do not reify whatever is not a thing, and do not treat as an autonomous entity what is but the result of abstraction. E.g. do not talk about events apart from or even as constituting changing things.«³⁶²⁴

»In fact in our ontology all and only things change, and every change (event of process) is a modification in the state of some concrete thing or other. Once this general ontological view has been adopted and systematized (made into a theory or at least a framework) there is no room left for changes that fail to be changes in or of some concrete thing, be it an electron or a neuron, a brain or a society.«³⁶²⁵

Ereignisse bzw. Prozesse sind also auch bei Bunge als nachgeordnete Kategorien vorhanden; sie bilden jedoch nicht wie bei Whitehead (1929a) unabhängige Kategorien, sondern solche, die strikt auf *Dinge* als elementarer Kategorie bezogen sind. Eine Inkonsistenz im Bungeschen Werk besteht insofern, als *Ereignisse* bei Bunge (1967b) noch *raumzeitlich* und damit offenbar vierdimensional zu verstehen sind, während Bunges (1977a) substanzbasiertes "Ding" wie seine Ontologie insgesamt mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 strikt im Zeichen des *Endurantismus* steht;³⁶²⁶ Bunge lehnt den Vierdimensionalismus explizit ab.³⁶²⁷ Tatsächlich werden etwa bei Bunge/Mahner (2004) Ereignisse nicht mehr – wie noch oben – unter raumzeitlicher Maßgabe definiert:

»In unserer Ontologie ist die Behauptung, dass Dinge in Raum und Zeit existieren, [...] genauso wenig sinnvoll wie die, dass Raumzeit in Dingen existiert. Wir müssen die Begriffe 'Ding' und 'Ereignis' daher ohne Zuhilfenahme der Begriffe 'Raum' und 'Zeit' definieren [...].«³⁶²⁸

Indessen wird nicht nur in wissenschaftlicher Hinsicht auf Basis der modernen Physik, sondern auch in technologischer Hinsicht mit Cyber-physischen Systemen (CPS), etwa solchen, die im PEID-Kontext von *Local Positioning Systems* (LPS) stehen, deutlich, dass

³⁶²⁰ Bunge (1967b: 153), Hvh. im Orig.

³⁶²¹ Bunge (1967b: 154), Hvh. im Orig.

³⁶²² Vgl. Bunge (1967b: 155).

³⁶²³ Vgl. Bunge (1977a: 267), ohne Hvh. des Orig.

³⁶²⁴ Bunge (1977a: 9), Hvh. im Orig.

³⁶²⁵ Bunge (1977a: 11).

³⁶²⁶ Vgl. explizit Mahner (2015: Fn. 5).

³⁶²⁷ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 67 ff.).

³⁶²⁸ Bunge/Mahner (2004: 67).

nicht das *substanzbezogene* Ereignisverständnis Bunge/Mahners (2004), sondern das *raumzeitliche* Ereignisverständnis bei Bunge (1967b) bzw. Whitehead (1929a) das richtige ist. Für den Bungeschen Ansatz konstituierend ist jedoch das erstere, womit die Bungesche Ontologie bereits in dieser Hinsicht fundamentale Probleme offenbart. Darauf kommen wir in Pkt. 6.2.5 mit dem Gegensatz von Endurantismus und Perdurantismus zurück.

Mit Bunges fragwürdiger These, dass nichts existiert außer Materie, setzen sich die handfesten Probleme dieser Ontologie fort; und das gerade auch dann, wenn man sich der Disziplin zuwendet, aus der Bunge eigentlich stammt, nämlich der theoretischen Physik. Denn der mit ihr verbundene Materialismus ist unter Fachvertretern umstritten; durch renommierte Physiker wie Heisenberg (1959) oder Weizsäcker (1974) wird er im zwanzigsten Jahrhundert grundlegend in Frage gestellt. Tatsächlich glauben im Zuge der "*third revolution*" der Physik auf Grundlage der "*New Physics*" nur noch die wenigsten daran. Die ganze Tragweite dieser Debatte wird dann deutlich, wenn Weizsäcker (1974) Materie und Energie auf *Information* reduzieren will. Es geht also nicht mehr allein um die Forderung Wieners (1948: 155), *Information* – neben Materie und Energie – als dritte Größe in die Physik einzuführen: »Information is information, not matter or energy. No materialism which does not admit this can survive at the present day«. Genauso steht für Komplexitätsforscher außer Frage, dass in der *Information* eine fundamentale physikalische Größe zu sehen ist.³⁶²⁹ Es gilt: »[I]nformation is physical. [...] [E]verything in the universe must obey the laws of information, because everything in the universe is shaped by the information it contains«. ³⁶³⁰ Dabei gehen Teile der modernen Physik noch sehr viel weiter. Auch wenn diese Debatte gewiss noch nicht zu einem Abschluss gekommen ist, lässt sich zumindest feststellen, dass im Zeitalter der Komplexitätsforschung, der "*New Physics*" wie der Digitalen Physik C.F. von Weizsäckers (1974) Reduktion der physikalischen Größen auf *Information* näher liegt als Bunges (1977a) Reduktion alles Realen auf Materie. Mit Mainzer (1996) steht dabei die Bedeutung der Materie an sich keineswegs in Abrede.

Dennoch steht außer Frage: wenn die Wissenschaften wie die techno-wissenschaftliche Metaphysik sich am Allgemeinen wie Universalen orientieren müssen, die hinter den Phänomenen stehenden Gesetze und Regelmäßigkeiten aufdecken wollen, kommen sie an einer Orientierung am Leibnizschen *Automatenuniversum*, am Kantisch-Feynmanschen *Regeluniversum* bzw. am Whiteheadschen *prozessualen Strukturuniversum* kaum vorbei. Wenn davon auszugehen ist, dass die mathematische Logik tatsächlich eine grundlegende Gültigkeit für den Kosmos besitzt, dann ist es konsequent, alle Phänomene im Sinne eines intelligiblen Universums auf Grundlage organismischer *Logical Machines* zu adressieren. Das erfordert gewiss eine grundsätzlich andere Metaphysik als jene materialistische Klasse-3-Metaphysik Bunges, nämlich eine strukturalistisch orientierte techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik. Es ist diese, für die *Information* einen elementaren Stel-

³⁶²⁹ Vgl. etwa S. Lloyd (2006: 65 f.).

³⁶³⁰ Vgl. Seife (2006: 2).

lenwert besitzt, und das gilt auch in der Hinsicht, dass es sich bei der Klasse-4-Metaphysik gleichzeitig um eine *Computer- bzw. Digitalmetaphysik* handelt. Das korrespondiert damit, dass die Komplexitätsforschung, die ihren techno-wissenschaftlichen Mittler im Sinne der empiristischen Universalsynthese stellt, als *Computerwissenschaft* zu verstehen ist. Entsprechend handelt es sich bei Leibniz bzw. Whitehead im platonistischen Sinne und in Abgrenzung zur aristotelischen Position um *Antimaterialisten*, jedoch keinesfalls um Immaterialisten. Materie ist also in physischer Hinsicht wesentlich, stellt jedoch im *cyber-physischen* Sinne nicht das *universale Prinzip* dar. Allerdings kommt es mit der erforderlichen kausalen Durchgängigkeit *Cyber-physischer Systeme* (CPS) genau auf letzteres an.

Vor diesem Hintergrund erfährt Wheelers (1990) informationstheoretische Interpretation der Quantentheorie eine gänzlich andere Bedeutung. Mit Wheelers (1990: 5) "*It from bit*" laufen strukturelle Prozesse im Universum generell auf »answers to yes-or-no questions, binary choices, *bits*« hinaus. Wenn dabei nicht Materie, sondern Information als physikalische Größe konstituierend ist, geht es dabei offenbar um *Event Streams*, die in ontologischer Hinsicht eine entsprechende Ereigniskategorie einfordern. Dann nämlich können entgegen Bunge Ereignisse nicht bloß abgeleiteten Status besitzen, indem diese immer auf einen materiellen Träger bezogen sind. Vielmehr werden sie selbst zur maßgeblichen Kategorie jeder Klasse-4-Metaphysik. Offensichtlich beginnen die Schwierigkeiten der Bungeschen Ontologie mit ihrer Ablehnung des Vierdimensionalismus nicht nur mit der Relativitätstheorie, sondern sie setzen sich unvermittelt mit der Quantentheorie fort. Wenn analoges etwa in Bezug auf die Nichtgleichgewichtsthermodynamik oder die synthetische Evolutionstheorie konstatiert werden muss, ist es offensichtlich um den Bungeschen *Ratio-Empirismus* schlecht bestellt, an dem sich jede wissenschaftliche Metaphysik zu messen hat. Tatsächlich gehen die modernen Naturwissenschaften nicht mit der Bungeschen Metaphysik konform, was ein ratio-empirischer Indikator für den Umstand ist, dass etwas Grundlegendes mit ihr nicht stimmt. Denn alles was für Bunge real ist, sind materielle Dinge: Masse, Energie und Information sind für Bunge nicht mehr als drei *Eigenschaften* von Dingen,³⁶³¹ und damit meint Bunge rein *materielle* Dinge bzw. letztlich *Materie*. Kurzum: Die Bungesche Ontologie scheitert an ihrem eigenen Anspruch, nämlich Klasse-3-Metaphysik bzw. *Scientific Metaphysics* zu sein.

Wenn sich Bunges materialistische Substanzmetaphysik letztlich über die aristotelische Substanz erschließt, steht mit dem aristotelischen *Hylemorphismus* nicht nur die maßgebliche Bedeutung der *Materie* außer Frage. Vielmehr illustriert bereits das aristotelische aktive Naturverständnis das energetische Moment der Materie. Wie in Pkt. 5.2 dargelegt, zeigt sich Aristoteles' ([Met.]) Stoff-Form-Metaphysik durch die *Enérgeia* und *Entelécheia* geprägt. Der griechische Begriff *Enérgeia* ist im deutschen mit "*Energie*" übersetzt, im englischen mit "*energy*", im lateinischen mit "*actio*"; letzterer verdeutlicht am besten, was Aristoteles damit meint. Denn mit *Enérgeia* ist bei Aristoteles nichts anderes als *Tätigkeit*

³⁶³¹ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 30 ff.).

resp. im Sinne von Kants *Organ (Werkzeug)* ein "am Werk sein", eine Verwirklichung damit gemeint.³⁶³² Bunges Materieverstandnis steht letztlich in dieser Tradition, denn auch für ihn steht außer Frage: »every thing possesses energy«. ³⁶³³

Ostwald (1902: 163 ff.), einer der Begründer der physikalischen Chemie, geht vor diesem Hintergrund jedoch einen wesentlichen Schritt weiter, indem er in diesem Kontext sein *energetisches Weltbild* begründet. Dieses ist dem Ziel verpflichtet, eine »Weltansicht ohne die Benutzung des Begriffs der Materie ausschliesslich aus energetischem Material aufzubauen«. ³⁶³⁴ Das Ostwaldsche Verständnis, wonach Energie definiert ist als Arbeit, oder alles, was aus Arbeit entsteht oder sich in Arbeit umwandeln lässt, ^{3635, 3636} ist zweifelsohne im organismischen Sinne eines "am Werk sein" auslegbar. Ostwald weist zu Recht darauf hin, dass sich *Energie* in allen bekannten Naturerscheinungen wiederfindet, und sie sich alle in den Begriff der *Energie* einordnen lassen. Daher eigne sich dieser dazu, »als vollständige Lösung des im Substanzbegriff aufgestellten, aber durch den Begriff der Materie nicht vollkommen gelösten Problems« gelten zu können. ³⁶³⁷ Während die aristotelische *Enérgeia* im Sinne der Stoff-Form-Metaphysik noch unter dem Regime der Substanz steht und als solcher materiefixiert ist, zeigt sich das energetische Moment bei Ostwald (1902) davon isoliert. Das ist auch im Antimaterialismus bei Whitehead (1929a: 309) der Fall: »[T]he change from materialism to 'organic realism' [...] is the displacement of the notion of static stuff by the notion of fluent energy. Such energy has its structure of action and flow, and is inconceivable apart from such structure«. Ganz ähnlich sieht auch Teilhard de Chardin (1955: 30) in der *Energie*, die geistiger wie physischer Natur ist, nicht weniger als das "gemeinsame Grundprinzip" aller Wissenschaft.

Indem letztlich keine Grundfrage der Ontologie der Informatik ohne eine Aufklärung des Widerstreits Bunge vs. Whitehead entscheidbar ist, kommen wir notwendigerweise nochmals auf die in Pkt. 4.2 im Kontext Whiteheads geführte Diskussion um den "Grundstoff" bzw. "Urstoff" des Universums zurück. Ontologisch ist die Frage nach dem "Urstoff" des Universums auch insofern von unmittelbarer Relevanz, als im Fall Bunges daraus eine 3D-Sichtweise, im Fall Whiteheads eine 4D-Sichtweise resultiert. Es geht also um den Wandel *vom Sein zum Werden* bzw. um die Frage des *Seins vs. Werdens*, die ein Verständnis vom *Sein als Werden* dann logisch impliziert (3D → 4D), wenn das Verständnis dieses "Urstoffs" umgedreht wird: nicht Information ist Materie, wie es das veraltete

³⁶³² Wie in Pkt. 5.2 dargelegt, zielt der Begriff *Entelécheia* hingegen auf die Vollendung dieses Prozesses; er bezeichnet die Eigenschaft von etwas, sein Ziel (Telos) in sich selbst zu haben; damit geht es um jene immanente Zwecke, die auch Kant (1790) meint. Da sich der aristotelische Begriff der *Entelécheia* auf die gesamte Natur bezieht, geht es nicht erst bei Kant um Naturzwecke, sondern bereits bei Aristoteles.

³⁶³³ Vgl. Bunge (1977a: 232).

³⁶³⁴ Vgl. Ostwald (1902: 165).

³⁶³⁵ Vgl. Ostwald (1902: 152 ff.; 1909: 2).

³⁶³⁶ Nicht, zumindest nicht primär, wohl allerdings im naturgesetzlichen Sinne gemeint ist damit die Energie im mechanistischen Verständnis, wenn *Energie* in den Kontext *mechanischer Arbeit* gestellt wird, vgl. hierzu T. Young (1807), insbes. pp. 78 f.

³⁶³⁷ Vgl. Ostwald (1902: 152).

naturalistische Metaphysikverständnis Bunges nahelegt, sondern *Materie ist Information*, wie es für die *Computer- bzw. Digitalmetaphysik* selbstverständlich ist. An Stelle des Bungeschen *Naturalismus* hat somit konsequent der Whiteheadsche *Digitalismus* zu treten;³⁶³⁸ aus einer ratio-empirischen naturalistischen Metaphysikkonzeption folgt somit eine ratio-empirische digitalistische Variante, auf deren Basis die echte Einheit aller Wissenschaft, aller Technologie und aller Praxis tatsächlich möglich wird. Das schließt einen *universalen* Zugang *Cyber-physischer Systeme* (CPS) mit ein, der für die Bungesche Ontologie unerreichbar ist.

Kein Ontologe wird bestreiten, dass die umstrittene Frage der Differenzierung bzw. Berücksichtigung von konkreten vs. abstrakten Entitäten eine zentrale Frage der Ontologie ist. Ein genauerer Blick offenbart, dass es sich bei dieser Frage gewiss nicht um eine sprachphilosophische handelt, sondern um eine klassisch metaphysische. Das zeigt sich auch darin, dass sie in metaphysischen Ontologien völlig anders beantwortet wird: So bezieht sich mit Verweis auf die zusammenfassende Abb. 38 in Pkt. 6.1.3 die Bungesche Ontologie bereits auf ihrer ersten Ebene explizit allein auf *konkrete Entitäten*, als sie allein materielle Dinge adressiert. Das ist jedoch für eine Substanzontologie keinesfalls selbstverständlich, wie es etwa mit Hoffman/Rosenkrantz deutlich wird, die auf der ersten Ebene genau diese Differenzierung vollziehen, also zwischen konkreten vs. abstrakten Entitäten unterscheiden und damit beide ontisch zulassen. Das ist bei Whiteheads Prozessmetaphysik nicht anders, indem "*Events*" – jenseits der Universalienfrage – im aristotelischen Sinne prinzipiell konkrete Entitäten repräsentieren, während "*Eternal Objects*" im platonistischen Sinne abstrakte Entitäten darstellen. Diese Differenzierung Whiteheads ist in der Ontologiedebatte vielfach kritisiert worden, wobei zu sagen ist, dass sie genauso oft nicht verstanden wurde. Was damit konkret gemeint ist, wird im Folgenden klarer. Für die *Top-level Ontologie* ist diese Differenzierung überaus entscheidend, indem es TLO-Ansätze gibt, die wie die neo-aristotelische BFO-TLO keine *abstrakten Entitäten* berücksichtigen, während es genauso bedeutende Ansätze gibt, die wie die DOLCE-TLO platonische Ideen verkörpern. Dabei wird auch in diesem Fall direkt auf der ersten kategorialen Ebene zwischen konkreten vs. abstrakten Entitäten unterschieden. Das ist bei der SUMO-TLO genauso der Fall wie auch etwa bei Russell/Norvig, deren ontologische Dichotomie über Hayes wiederum direkt auf die Whiteheadsche erste kategoriale Dichotomie zurückweist.

Geht es um eine nachhaltig tragbare universale TLO-Konzeption der Informatik, auf die die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* zielen muss, kommt man an einer grundlegenden metaphysischen Debatte um die Frage des "Urstoffs" wie der Frage der grundlegenden Konzeption des Universums nicht vorbei. Die TLO-Frage ist damit unmittelbar auf die gegensätzlichen ontologischen Positionen bei Platon und Aristoteles zu beziehen,³⁶³⁹ ohne

³⁶³⁸ Der *wissenschaftliche Realismus* Bunges ist insofern *Naturalismus*, als durch Bunges Materialismus wissenschaftliche Erklärungen auch sozialer Sachverhalte letztlich auf *naturwissenschaftliche* Erklärungen reduziert werden, vgl. hierzu Bunge (1996); vgl. hierzu auch Lamp/Milton (2005: 31).

³⁶³⁹ Vgl. dazu ergänzend Leinfellner/Leinfellner (1978).

die die ganze Debatte um den Gegensatz zwischen konkreten vs. abstrakten Entitäten wie der damit verbundenen Universalienfrage in keiner Weise zu verstehen, geschweige denn zu entscheiden ist. Gewiss steht die fehlende Berücksichtigung von abstrakten Entitäten bei neo-aristotelischen Ontologieansätzen wie jenem Bunes oder bei B. Smithens BFO-TLO in unmittelbarer Verbindung zur aristotelischen Metaphysik. Genauer in einer direkten Verbindung zum Gegensatz von aristotelischer und platonistischer Metaphysik. Umgekehrt lässt sich auch sagen, dass die Berücksichtigung von abstrakten Entitäten etwa bei Whitehead oder bei der DOLCE-TLO Guarinos et al. in genauso unmittelbarer Verbindung zur platonistischen Metaphysik steht. Nicht nur seine "*eternal objects*",³⁶⁴⁰ sondern auch Whiteheads (1929a: 39) berühmtes Diktum, wonach für die gesamte Tradition europäischer Philosophie gilt, »that it consists of a series of footnotes to Plato«, muss genau vor diesem Hintergrund gesehen werden, wenn für Whitehead (1933) die Wissenschaft der Zukunft im Sinne der Komplexitätsforschung platonistisch geprägt ist:

»The cosmological scheme of the active scientists was in fact that of Aristotle. But Plato's divination exemplifies another important function for philosophy. It evokes interest in topics as yet remote from our crude understanding of the interplay of natural forces. The science of the future depends for its ready progress upon the antecedent elucidation of hypothetical complexities of connection, as yet unobserved in nature. Plato's mathematical speculations have been treated as sheer mysticism by scholars who follow the literary traditions of the Italian Renaissance. In truth, they are the products of genius brooding on the future of intellect exploring a world of mystery.«³⁶⁴¹

Mit seinem Ratio-Empirismus gibt Whitehead jedoch dabei den aristotelischen empirischen Gesichtspunkt keineswegs auf, indem dieser für das fallibilistische Moment, das die Whiteheadsche Metaphysik prägt, unverzichtbar ist. Dennoch muss das Ziel unter rationalistischen Gesichtspunkten darin liegen, zu den eigentlichen abstrakt zu fassenden Strukturen des Universums vorzudringen. Damit ist das gemeint, was gerade auch für Leibnizens *Metaphysica* in dieser platonistischen Tradition kennzeichnend ist, nämlich, dass das Universum ein *mathematisches* ist; dass es sich mit Zuse (1982) um ein *Computing Universe* handelt. Mit diesem Verweis auf Leibniz sollte deutlich werden, dass die Frage einer nachhaltig tragbaren universalen TLO-Konzeption der Informatik offensichtlich unmittelbar etwas mit dieser mathematischen Position und ihrer Implikation für die Frage des "Urstoffs" des Universums zu tun hat. Auch sollte damit begreifbar werden, dass die Ontologiediskussion gewiss nicht auf die aristotelische Position verengt werden kann, wie es bei Bunge geschieht. Vielmehr ist gerade im Kontext komplexer Systeme wie der Automatentheorie offensichtlich, dass die mathematische Linie Platon-Leibniz-Whitehead für die Ontologiefrage einen nicht minder wichtigen Stellenwert besitzt. Mit Blick auf das universale logico-mathematische Prinzip ist ihr ontologischer, epistemologischer wie methodologischer Stellenwert gar elementar.

Wenn von Hoffman/Rosenkrantz angefangen bis zur SUMO-TLO die Differenzierung zwischen abstrakten vs. konkreten Entitäten in aktuellen Ontologieansätzen unmittelbar auf der ersten kategorialen Ebene bzw. der ersten ontologischen Dichotomie vollzogen wird,

³⁶⁴⁰ Vgl. hierzu die Debatte etwa bei E.W. Hall (1930), Gentry (1946) sowie B.F. Kennedy (1974).

³⁶⁴¹ Whitehead (1933: 194 f.).

ist das mit Blick auf die Disparität der ontologischen Positionen bei Platon und Aristoteles sicherlich richtig. Ontologien, die dies hingegen nicht tun, und dabei zumeist eine spezielle Variante neo-aristotelischer Ontologie bilden, sind demgegenüber in fundamentaler Hinsicht falsch konzipiert. Denn mit der ausschließlichen Fixierung auf konkrete Objekte etwa bei Bunge oder bei B. Smith wird zwar dem aristotelischen Ideal entsprochen, doch wird damit genauso der Zugang zum mathematischen Universum Platons verwehrt. Für eine bessere Nachvollziehbarkeit dieser These sei kurz mit B. Hale (1987) auf die Differenzierung von *konkreten vs. abstrakten Objekten* eingegangen. Denn diese hat unmittelbar zu tun mit der trivialsten aller denkbaren Antworten auf die weiter unten nochmals aufgegriffene ontologische Kernfrage: "Was gibt es?" bzw. "Was existiert?". Dabei verkörpert diese trivialste Antwort die Position der "Furniture-Ontologie", wonach genau das – und nur das – existiert, was im gegenständlichen Sinne (i) der sinnlichen Wahrnehmung zugänglich ist bzw. (ii) räumlich ausgedehnt und räumlich lokalisierbar ist. Solche trivialen "Furniture-Ontologien" argumentieren mit Blick auf (ii) also nicht im raumzeitlichen 4D-Sinne, sondern so, dass sie dem aristotelischen *Common Sense-Realismus* genügen. Indem sich dieser auf konkrete Objekte beschränkt, überrascht es nicht, dass die Differenzierung von *konkreten vs. abstrakten Objekten* bei B. Hale (1987: 46 ff.) maßgeblich an den unter (i) und (ii) genannten Aspekten festmacht. Somit geht ihr Unterschied darauf zurück, dass nur konkrete Objekte (i) *sinnlich wahrnehmbar* wie (ii) *raumzeitlich lokalisierbar* sind, während darüber hinaus für abstrakte Objekte zusätzlich (iii) das Moment der *Akausalitat* kennzeichnend ist.

Daraus folgt: "Furniture-Ontologen" sind solche, die am aristotelischen *Common Sense-Realismus* festmachen, hinter dem das rein *physisch-empirische Universum* des Aristoteles steht, das allerdings gleichzeitig für alle Objekte bzw. Substanzen das *Teleologiemoment* geltend macht. Analoges trifft nicht nur auf Brentano zu, dessen aristotelische Sichtweisen mit diesem Moment durchsetzt sind,³⁶⁴² sondern auch auf andere neo-aristotelische Ansätze. Das gilt auch dann, wenn dieses Moment teils unter anderen Begriffen firmiert, indem es sich etwa bei Galtons (1984: 66 ff.) "*Telic Events*" genauso findet wie in ganz anderer Variante etwa bei B. Smithens "*functions*" als BFO-Kategorie.³⁶⁴³ Problematisch stellt sich das Ganze allerdings bei der deskriptiven Metaphysik Strawsons (1959) dar, die zwar explizit auf der aristotelischen Kategorienlehre aufbaut, dabei jedoch – jenseits von Galtons (1984) linguistischer Variante – das teleologische Moment der aristotelischen Metaphysik übersieht. Demgegenüber kommt eine moderne Ontologie, die formale Ontologie ist, mit dem in Pkt. 4.6 deutlich gewordenen Stellenwert der *Ontologie der Artefakte* in ihrer Abgrenzung zum Natürlichen nicht an H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* vorbei. Das versucht Bunge zwar explizit, doch kann es ihm mit seiner materialistischen 3D-basierten "Furniture-Ontologie" gewiss nicht gelingen. Vielmehr ist auch bei

³⁶⁴² Vgl. hierzu auch Mezei/Smith (1998).

³⁶⁴³ Vgl. hierzu etwa Arp/Smith (2008); bei B. Smith/Klagges (2008: 32) wird diese im direkten Zusammenhang mit dem oftmals als problematisch erachteten *Teleologiemoment* diskutiert.

H.A. Simon das *Teleologiemoment* mit Blick auf Artefakte gesetzt,³⁶⁴⁴ wie in Pkt. 4.6 dargelegt, lassen sich für Simon *künstliche Dinge*, bei denen es sich etwa bei CPS partiell auch um konkrete Dinge handeln kann, in Bezug auf Funktionen, Ziele und Adaptation charakterisieren. Selbst aus dem ontologischen M&S-Kontext ist das Teleologiemoment nicht wegzudenken.³⁶⁴⁵

Wenn demgegenüber das *Teleologiemoment* durch Bunge abgelehnt wird, steht außer Frage, dass seine Ontologie nicht mit Simon (1969) kompatibel ist. Analoges gilt etwa für die Kybernetik Wieners, der genauso ein technologisch verstandenes *Teleologiemoment* vertritt.³⁶⁴⁶ Wie es oben bereits mit Arp/Smith (2008) deutlich wird, findet sich das Teleologiemoment in modernen Ontologien in Form der "*function*" wieder, und steht hier konkret sowohl im *biologischen* wie im Sinne Wieners bzw. Simons im allgemein *artifiziellen* Zusammenhang. Dabei ist für die hier geführte Debatte unentscheidend, dass teils höchst unterschiedliche Auslegungen des Funktions- bzw. Teleologiemoments bestehen,³⁶⁴⁷ wie es im rein naturalen Zusammenhang schon bei Aristoteles der Fall ist. Entscheidend ist vielmehr, dass dieses Funktions- bzw. Teleologiemoment offensichtlich sowohl im natürlichen wie im artifiziellen Zusammenhang von Belang ist und nicht einfach – wie bei Bunge – eliminiert werden kann. Die über Jahrhunderte intensiv geführte Debatte zwischen Materialismus und Idealismus, wie sie ihren Lauf mit dem Gegensatz zwischen physischen Dingen im aristotelischen Common Sense-Realismus und den Platonischen Ideen nimmt und sich anders akzentuiert im Cartesischen Dualismus manifestiert, lässt sich gewiss nicht einfach zugunsten des einen oder anderen Pols nivellieren.

Nahezu sämtliche modernen formalen Ontologien besitzen entsprechend nicht nur mit Verweis auf Pkt. 4.6 eine *Ontologie der Artefakte*, sondern damit zusammenhängend auch eine *Ontologie der Funktionen*.³⁶⁴⁸ Mit Sober (1992) wird im Kontext der AL-Forschung deutlich, dass die naturwissenschaftliche bzw. biologische Bedeutung des Teleologiemoments, wie es sich etwa bei Pittendrigh (1958), Mayr (1992, 1998) oder Ayala (1998) findet, unmittelbar etwas mit der artifiziellen zu tun hat. Dieser Zusammenhang wird gerade auch bei den Booleschen NK-Netzen Kauffmans ersichtlich. Sober (1992: 763) vertritt dabei mit dem *Funktionalismus* eine Position, die als Antipode zum Physikalismus bzw. Materialismus jene Bunges ins genaue Gegenteil verkehrt,³⁶⁴⁹ wenn er feststellt: »To understand mind and life, we must abstract away from physical details«. Bunge jedoch lehnt umgekehrt jede Form von *Funktionalismus* vehement ab. Indessen ist festzustellen, dass Bunges Fixierung auf Naturgesetze für das Studium von *Naturdingen* als Nicht-Artefakten

³⁶⁴⁴ Vgl. Simon (1969: 132 f.).

³⁶⁴⁵ Vgl. etwa Tolk (2013) sowie W. Wang et al. (2013).

³⁶⁴⁶ Vgl. bereits Rosenblueth/Wiener/Bigelow (1943) sowie Rosenblueth/Wiener (1950).

³⁶⁴⁷ Vgl. hierzu etwa Wimsatt (1972).

³⁶⁴⁸ Vgl. hierzu etwa Kitamura/Mizoguchi (1998, 2010), Vermaas (2006, 2009), Vermaas/Houkes (2006), Mizoguchi/Kitamura (2009), Vermaas/Garbacz (2009), Borgo/Mizoguchi/Smith (2011) sowie Mizoguchi/Kitamura/Borgo (2012).

³⁶⁴⁹ Vgl. zum Gegensatz von *Physikalismus* und *Funktionalismus* etwa N. Block (1980, 1991, 1995).

sinnvoll ist, während diese zwar auch beim Studium *technischer Artefakte* ihre Gültigkeit behalten, jedoch keinesfalls ausreichend sind. Vielmehr geht es hier um jene Baupläne und Ratio, für die kennzeichnend ist, dass sie sich allesamt in logico-mathematischen Zusammenhängen digitalisieren lassen bzw. von vornherein als digitale Artefakte vorliegen. Es geht also um etwas, was insgesamt unter die globale Kategorie *Programme* subsumiert werden kann. Bunges Naturgesetze helfen offensichtlich nur sehr eingeschränkt, solche digitalen Programme zu verstehen, was nicht verwundert, da sie in ihrer Essenz im AL-Sinne Sobers (1992) wie insgesamt im technologischen AI-Sinne Boolescher Logik auch nicht zwingend etwas mit physischer Materie zu tun haben. Insgesamt spricht vor diesem Hintergrund vieles dafür, dass beide Modi der Forschung ihre Berechtigung besitzen, und in ihrer Synthese der eigentliche Erkenntnismehrwert besteht. Entsprechend zeichnet sich eine gute Metaphysik in ihrem universalen Anspruch dadurch aus, dass sie für beide Positionen eine fundamentale Basis stellen kann. Das wird allein im Zuge einer Klasse-4-Metaphysik als techno-wissenschaftlicher Metaphysik möglich, die zugleich Computer- bzw. Digitalmetaphysik ist. Nur sie kann die erforderliche Cyber-Physik eröffnen.

Bunges Ablehnung aller Teleologie und jedes Funktionalismus ist aus dem Grunde problematisch, als sich damit keine Vereinbarkeit des aristotelischen wie des platonistischen Universums mehr erzielen lassen kann. Dabei wird der Umstand, dass eine solche Angleichung über das Teleologiemoment möglich ist etwa mit den teleologischen Positionen von Pittendrigh (1958) oder Ayala (1998) in den Naturwissenschaften, und damit verbunden mit Wimsatt (1972) oder Burks (1988) im Kontext der formalen Logik offensichtlich. Bunge begeht in neo-aristotelischer Tradition den Fehler, die Ontologie allein über die *Naturwissenschaften* aufschließen zu wollen. Dieser Kardinalfehler der Bungeschen Ontologie wird besser nachvollziehbar, wenn sie mit jener Quines verglichen wird. Das ist insofern naheliegend, als beide eine spezifische Form von Naturalismus betreiben, die sich jedoch grundlegend unterscheidet. Denn bei Quine handelt es sich mit Verweis auf Pkt. 5.1 um einen *methodologischen Naturalismus*, der letztlich einen *mathematischen Naturalismus* bedeutet, der in letzter Stufe alles Nicht-Mathematische aus der *Ontologie der Physik* verbannt hat. Das aber ist mit dem Bungeschen Materialismus in keiner Weise zu machen; Bunge bleibt quasi bei Aristoteles stehen. Quine jedoch geht in Whiteheadscher Tradition weiter, indem er – allerdings *rein methodologisch* – den Sprung von Aristoteles zu Platon vollzieht. Bei Quine (1992b) wird dies in Form des *mathematischen Strukturalismus* am offensichtlichsten. Allerdings versteht sich Quine als Nominalist, nicht als platonistischer Universalienrealist. Doch auch wenn Quine damit gerade explizit *nicht* eine strukturalistische Ontologie meint und in seinem methodologischen Naturalismus genauso explizit *nicht* zur Metaphysik zurück will,³⁶⁵⁰ weist dennoch auch bei ihm alles in Richtung einer techno-wissenschaftlichen Computer- bzw. Digitalmetaphysik. Denn Quine ist in seinem impliziten Realismus wie in seinem gesamten, streng an den empirischen Naturwissenschaften

³⁶⁵⁰ Vgl. Fn. 3363.

orientierten ontologischen Procedere letztlich inkonsequent: Wenn man bei seiner Ontologie überhaupt von *Kategorien* sprechen kann, dann sind dies mit Verweis auf Pkt. 5.1 in letzter Konsequenz mit D.W. Smith (2004: 246 ff.) *mathematische* Kategorien. Allerdings sprechen die Ursprünge seiner Ontologie dafür, dies in dem Sinne zu deuten wie R.F. Gibson (1995: 426) Quine klassifiziert, nämlich als "analytic metaphysician". Dieser ist er jedoch kaum im Sinne der von ihm als bedenklich erachteten möglichen Welten als *Mögliche-Welten-Metaphysiker*, sondern letztlich – wie Whitehead – als ein in der logico-mathematischen Tradition stehender *nominalistischer Kosmologe*, der strikt den Grenzen der strengen Naturwissenschaften verhaftet ist.

So offensichtlich Shannons (1938) *Schaltalgebra* dem Universum in Möglichkeit und Wirklichkeit zuzurechnen ist, so offensichtlich lässt sie sich ontologisch kaum sinnvoll durch Bunes alleinigem "Urstoff" der Materie fassen bzw. erklären. Mit der Ontologisierung der Booleschen Logik geht es offenbar nicht nur um ein *natürliches Universum*, sondern zweifelsohne auch um eine darin inkorporierte *technologische Welt*. Diese lässt sich in ihrer logico-mathematischen Essenz auf Basis der Buneschen Ontologie nicht sachgerecht konzipieren, selbst wenn Bunge jenseits seines ontologischen Kerns den technologischen Aspekt umfassend behandelt. Quines (1992b) *mathematischer Strukturalismus* geht zwar in die richtige Richtung, allerdings ist er als Nominalist zu wenig Platonist; genauso ist er als Realist, der er vorgibt zu sein, inkonsequent. Denn er schließt sich in seinem Nominalismus und seiner Ablehnung aller Metaphysik allenfalls sehr bedingt Whiteheads "*footnotes to Plato*" an. Doch die moderne Ontologie geht genau diesen Schritt. Sie lässt – jenseits etwa von B. Smithens BFO-TLO – die Bunesche Ontologie weit hinter sich, indem sie sich Platon zuwendet. Das ist bei der Ontologie des mathematischen Physikers R. Penrose (1997a) genauso der Fall wie im Modalen Realismus bei D.K. Lewis (1986b), der letztlich ebenfalls als Platonist einzustufen ist. Indem die Universalienposition der DOLCE-TLO auf Lewis aufbaut, ist auch sie in diesem Sinne als platonistisch zu verstehen. Im Bereich der philosophischen Ontologie ist jedoch die in Pkt. 6.1.3 behandelte Ontologie Grossmanns (1992) in dieser Sache hervorzuheben, indem sich hier der Platonismus dezidiert am Kategoriensystem festmachen lässt. Indem Grossmann (1992) wie Bunge (1977a) als aktuellere Ontologieansätze auf *komplexe Systeme* fixiert sind und ihren Ontologien Kategoriensysteme zugrundeliegen,³⁶⁵¹ bilden sie auf Ebene der philosophischen Ontologie in dieser Sache das interessanteste Gegensatzpaar: Denn in gleichem Maße, wie Bunes Konzeption durch und durch *neo-aristotelisch* ist, zeichnet

³⁶⁵¹ Allerdings unterscheiden sich beide Kategoriensysteme sehr deutlich in ihrem Wissenschaftsbezug, der bei Bunes *Ratio-Empirismus* unmittelbar gegeben ist, während es einen solchen bei Grossmann nicht gibt. Insofern handelt es sich, was diesen Aspekt anbelangt, gewiss bei Bunge um den zweckmäßigeren Ansatz, wenn es letztlich um die Einheit der Erkenntnis geht.

sich jene Grossmanns explizit als *platonistische* aus: das gilt nicht nur für *konkrete Entitäten*,³⁶⁵² sondern vor allem auch in Bezug auf *abstrakte Entitäten*:

»Naturalists deny that there are abstract entities. Ontologists insist that there are such things, and they try to describe the structure of the world of abstract entities ever more accurately.«^{3653, 3654}

Entsprechend finden sich bei Grossmann Kategorien wie Zahlen, Mengen, Relationen und schließlich auch: *Strukturen*, wobei mit Grossmann (1992: 50) gilt: »Structures are all around us«. Anders als bei Quine haben wird es also bei Grossmann mit einer echten *strukturalistischen Ontologie* zu tun, denn bei Quine handelt es sich wie gesagt im nominalistischen Sinne um *mathematische* Kategorien; bei Grossmann jedoch im platonistischen Sinne um *ontische* Kategorien. Zudem geht es bei Quine mit Verweis auf Pkt. 5.1 ungeachtet seines mathematischen Strukturalismus zwar um Mengen als Kategorie, nicht aber um Strukturen. Wäre Grossmann – wie Bunge mit seinem *Scientific Realism* – mit seiner Ontologie näher an den Wissenschaften, ließe er sich mit seiner strukturalistischen Ontologie gewiss mit dem *Structural Realism* (SR) in Verbindung bringen. Dabei müsste man Grossmann über den *Epistemic Structural Realism* (ESR) hinausgehend gar dem *Ontic Structural Realism* (OSR) zuordnen,³⁶⁵⁵ indem für ihn gilt:

»[T]he ordinary perceptual objects around us, like the two white billiard balls of our paradigm, are complex individuals. As a consequence, they belong to the category of *structure*: they are spatio-temporal structures.«³⁶⁵⁶

Indessen schimmern nur bei wenigen philosophischen Ontologien die Momente durch, die hinsichtlich der *technologischen Welt* zu berücksichtigen sind. Tatsächlich können sie mitsamt ihrer in Pkt. 6.1.3 behandelten Kategoriensysteme von den *Top-level Ontologien* mitsamt ihrer TLO-Kategorien in dieser Hinsicht einiges lernen. Denn gerade die 4D-TLO-Ansätze, die nicht von Philosophen bzw. Linguisten, sondern von genuinen AI-Experten stammen, sind nicht nur unmittelbar auf die *technologische Welt* bezogen, sondern damit verbunden auch explizit *platonistisch* konzipiert. Das ist bei Sowa der Fall, dessen TLO-Ansatz mit Whitehead unmittelbar auf Leibniz und Platon gründet. Demgegenüber finden sich auch etwa bei den TLO-Kategorien von Russell/Norvig Zahlen, Mengen usf. als abstrakte Objekte. Dabei gehen sie so weit, selbst *Sätze* im Sinne reprasentationaler Objekte als abstrakte Objekte aufzufassen, was für Naturalisten wie Bunge genauso untragbar ist wie für Nominalisten wie Quine. Implizit gehen Russell/Norvig in dieser Hinsicht mit ausgewiesenen Platonisten wie J.J. Katz (1981) konform, der Sprache als platonistische Idee

³⁶⁵² Vgl. Grossmann (1992: 8): »I think, that the universe belongs to Plato's realm of concrete things; for it is a spatio-temporal entity. It is also clear that everything that belongs to the universe, that is part of the universe, is a concrete thing; for it is a spatio-temporal part of the universe and, hence, itself spatio-temporal. *The Universe is a concrete thing, and so is every part of it*«, Hvh. im Orig.

³⁶⁵³ Grossmann (1992: 24).

³⁶⁵⁴ Es steht außer Frage, dass diese Differenzierung nicht ganz trennscharf ist, indem es auch *Ontologen* gibt, die abstrakte Entitäten ablehnen und (mathematisch orientierte) *Naturalisten*, die sie zulassen. ähnliches gilt hinsichtlich Grossmanns Abgrenzung zwischen *Universum* und *Welt*, die fraglich ist und ebenfalls nicht mit der hier vertretenen Sichtweise übereinstimmt. Grossmanns Positionen machen vor dem Hintergrund der AI-Ontologie wenig Sinn.

³⁶⁵⁵ Vgl. hierzu Ladyman (1998); vgl. ergänzend Chakravartty (2003).

³⁶⁵⁶ Grossmann (1992: 48), Hvh. im Orig.

versteht. Schließlich ist auch die BORO 4D-Ontology als platonistisch einzustufen; nicht umsonst unterzieht Partridge (1996) die aristotelische Position einer Fundamentalkritik.

Niemand wird widersprechen, dass Shannons (1938) *Schaltalgebra* für die Informatik konstitutiv ist, woraus folgt, dass sie im Sinne der Booleschen Logik auch für die *Ontologie* der Informatik Relevanz besitzt. Das Universum, das Bunge in der Eliminierung des teleologischen Moments bei Aristoteles wie in seiner Ablehnung des Platonismus konzipiert, ist das rein *physisch-empirische Universum* des Aristoteles. Gerade in dieser Eliminierung des elementaren Teleologiemoments verkörpert es als solches mit Putnam (1983a: 211) nichts weiter als einen "*scientism*". Denn damit wird Shannons (1938) *Schaltalgebra* ontologisch in völlig unzweckmäßiger Weise auf *materielle Dinge mit Eigenschaftspluralismus* reduziert. Im Bungeschen Universum kann Shannons (1938) *Schaltalgebra* somit allein rein physikalisch in dem Sinne gegeben sein, dass diese strikt empirisch-naturgesetzlich auszulegen ist. Das aber wird Shannons (1938) *Schaltalgebra* genauso wenig gerecht wie anderen intelligenten Artefakten. Vielmehr sind diese in der logico-mathematischen Tradition Leibnizens allein auf Basis der mathematischen Logik sachgerecht verstehbar, wobei diese im existentiellen Sinne vorauszusetzen ist.

Kommen wir damit zur Leibnizschen *Metaphysica* zurück, die im Vergleich zu Bunges Metaphysik und ihrer rein aristotelischen Konzeption des Universums konträrer nicht konzipiert sein könnte. Denn bei Leibniz handelt es sich um ein platonistisches *mathematisches Universum*, das im Gegensatz zu Bunge *mögliche Welten* zulässt. Wenn Leibniz das Weltbild der Informatik bestimmt, Bunges Metaphysik jedoch mit dem *klassisch* physikalischen Weltbild korrespondiert, lässt sich offenbar nicht behaupten, dass es bei solchen Debatten um Universen um "abgehobene" Diskussionen handelt, die für die TLO-Diskussion verzichtbar sind. Vielmehr gilt das Gegenteil, denn die TLO-Inkommensurabilität gründet in elementarer Weise auf dieser Konzeptionsfrage des Universums. Das gilt prinzipiell für alle TLO-Ansätze, und ihre Bedeutung ist schon bei den verbreitetsten drei *Top-level Ontologien* ersichtlich: Während BFO und BWW dem aristotelischen Universum und seiner systematisch physisch-empirischen Analyse folgen, wird bei DOLCE ein platonistisches Universum mitsamt möglicher Welten vorausgesetzt. Damit besitzen die drei genannten TLO-Ansätze etwa auch eine je spezifische Universalienposition. Insofern wird deutlich: man braucht die TLO-Diskussion gar nicht erst zu beginnen, ohne zuvor diese fundamentale metaphysische Debatte geführt zu haben. Ohne ihre Lösung ist auch die durch B. Smith wie Guarino geforderte TLO-Synthese unmöglich.

Wenn sich Shannons (1938) *Schaltalgebra* ontologisch kaum sinnvoll durch Bunges alleinigen "Urstoff" der Materie fassen bzw. erklären lässt, kommt die oben erwähnte Computer- bzw. Digitalmetaphysik und mit ihr die *Information* ins Spiel. Damit eröffnet sich eine nicht unkomplizierte Diskussion, indem die Frage des "Urstoffs" gewiss von umfassender Relevanz für alle Grundfragen der Physik, der Naturwissenschaften insgesamt wie schließlich auch für die Einheit der Wissenschaft ist. Damit ist klar, dass die Frage des

"Urstoffs" hier allein eingeschränkt behandelt werden kann, nämlich genau in dem Maße, indem sie zur Klärung der hier relevanten ontologischen Grundsatzfragen hilfreich bzw. erforderlich ist. Das gilt umso mehr, als es selbst in der Physik unzählige Informationsbegriffe gibt, die wiederum mit den verschiedensten Theorien zusammenhängen, etwa die Informationstheorie mit der Quantentheorie der Information. Daneben wird auch in den Naturwissenschaften heute nicht mehr allein ein syntaktischer Informationsbegriff vertreten; aktuelle Ansätze laufen vielmehr auf einen semantischen Informationsbegriff hinaus. Dabei wird durch die moderne Physik wie die Komplexitätsforschung ein entsprechendes Modifikationserfordernis der Informationstheorie gesehen, das ebenfalls in den Kontext einer CPSS-adäquaten *Top-level Ontologie* zu stellen ist, um ihre Gültigkeit für alle Automatenwelten zu gewährleisten.

Geht es in der Physik bzw. den Naturwissenschaften um *Information*, ist zunächst zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Positionen zu differenzieren, um eine gewisse Ordnung in die Debatte zu bringen. Diese beiden Positionen lassen sich als *Fundamentalismus* vs. *Reduktionismus* klassifizieren, die beide für die Informatik elementar sind. Dabei gehen beide Positionen in entscheidender Hinsicht nicht mit der Bungeschen Ontologie konform, wobei insbesondere der Reduktionismus durch Bunge vehement bekämpft wird, worauf wir im Folgenden zururckkommen. Von "*Fundamentalismus*" ist mit Wieners (1948: 155) Forderung, *Information* – neben Materie und Energie – als dritte Größe in die Physik einzuführen, zu sprechen. Dabei ist offensichtlich, dass es hier primär um das *physisch-empirische Universum* des Aristoteles geht, indem für Wiener die *Irreduzibilität der Materie* im Sinne Mainzers (1996) außer Frage steht. Dennoch gilt für Wiener (1948), dass die Information eine genauso irreduzible Grundgröße im ontologischen Aufbau der Welt darstellt. Die gleichzeitige Voraussetzung von Materie ist für ihn deshalb kein Problem, weil es ihm nicht um die Klärung der letzten Fragen geht, also etwa um den "Urstoff", sondern um die technologischen Belange wie cyber-physische Strukturfragen der Kybernetik. Ein und dasselbe Universum wird jedoch dann völlig anders gedacht, wenn es um die letzten Fragen geht, wenn der "Urstoff" zu klären ist. Dann wechselt die Sichtweise auf einen "*Reduktionismus*", wenn mit Wheelers (1990: 5) "*It from bit*" von vornherein ein *mathematisches Universum* unterstellt wird.

Die Sichtweise wechselt damit von Aristoteles zu Platon, für den sich das Universum aus mathematischen Objekten konstituiert. Diese Feststellung ist zwar wesentlich, womit Platon grundlegend ist, reicht jedoch mit Verweis auf die Cartesische *Mathesis universalis* nicht aus. Denn für diese bleibt Materie im Sinne der *res extensa* bestimmend. Um den Reduktionsgedanken überhaupt nachvollziehen zu können, ist offenbar ein ganz bestimmter Typus von mathematischem Universum erforderlich. Man kann es mit dem Astrophysiker Tegmark (2014: 159) halten, für den gilt »that our Universe is [not] made of mathematical objects, but that it's a part of a single mathematical object«. Wenn für ihn die physische Welt ausschließlich aus Mathematik besteht, weist dies nicht unbedingt auf die

aristotelische Position. Worin letztlich die wichtigste *"footnote to Plato"* besteht wird klarer, wenn der Blick auf Leibnizens *Automatenuniversum* mitsamt seiner *Mathesis universalis* gerichtet wird. Nicht in der Cartesischen Metaphysik und *Mathesis universalis*, sondern explizit im Leibnizprogramm wird allgemein das Ursprungsparadigma der Informatik gesehen. Man sollte sich genau gewahr werden, warum: im Sinne der Automatentheorie muss es um binäre Logik, um mathematische Logik gehen. Oder, um es mit Pagels (1988: 303) aus Sicht der Komplexitätsforschung zu sagen, um den *"computation view of mathematics"*. – Demgegenüber ist der Reduktionsgedanke tatsächlich nur dann eine Option, wenn das Universum mit Tegmarks MIT-Kollegen S. Lloyd (1997, 2006) als *Quantum Computer* verstanden wird. ähnlich sieht auch der theoretische Physiker Finkelstein (1996) das Universum als gigantischen Quantenprozessor. Dabei nimmt die in Pkt. 4.3 erörterte *Theorie komplexer Systeme*, speziell die *Theorie zellulärer Automaten*, eine Schlüsselstellung ein. Es ist die *Automatentheorie*, die nicht nur den CAS-Ansatz begründet, sondern auch hinter Zuses (1982) *Computing Universe* steht, wobei sie bereits mit Shannon/McCarthy (1956) zur Kerntheorie der Informatik avanciert.

Inwiefern das Universum *tatsächlich mathematisch* ist, wird die wissenschaftliche bzw. philosophische Forschung noch lange beschäftigen. Auch speziell in der Komplexitätsforschung wird diese Frage kontrovers diskutiert, indem es auch Positionen gibt, die etwa mit Wolfram in dieser Sache skeptischer sind, da sich das Universum gerade in seiner Komplexität nur sehr bedingt "berechnen" lässt. Dennoch handelt es sich durchweg um *mathematische Positionen* – und allein darum geht es: Metaphysisch ist also nicht vorauszusetzen, dass einzelne Positionen, etwa jene Tegmarks, S. Lloyds oder jene Wolframs richtig sind, sondern vielmehr, dass sie im Sinne des Whiteheadschen (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« in genau diesem Wechselspiel auch vollziehbar sind. Damit muss die Metaphysik nicht nur techno-wissenschaftliche Metaphysik, sondern zugleich Computer- bzw. Digitalmetaphysik sein: Sie muss Cyber-physische Systeme (CPS) unmittelbar via ihres *Systemismus* adressieren können; sie muss damit gerade die Verbindung zwischen physischen und Cyberwelten zu bewerkstelligen vermögen. Dabei stößt jedoch ein rein aristotelischer Modus – wie bei Bunge – unversehens an seine Grenzen. Wenn die Metaphysik bei Bunge diese Grenzen schnell erreicht, ist gewiss zu fragen, ob die erfahrungswissenschaftlichen Theorien auf ihrer Basis überhaupt sachgerecht konzipiert sind, was etwa auf die verschiedenen Interpretationen der Quantentheorie weist. Hier wie in anderen Fällen wird deutlich, dass nicht nur materialistische, sondern auch idealistische Aspekte eine zentrale Rolle spielen und daher eine Beschränkung auf die physisch-empirische Sichtweise des Materialismus nicht die erforderliche Unbefangenheit bietet: Tatsächlich wird mit einer solch metaphysischen Fundierung die erfahrungswissenschaftliche Forschung unnötigerweise eingeengt, wenn die Metaphysik für den Erkenntnis- bzw. Wissenschaftsvollzug grundlegend sein soll. Die Wesentlichkeit nicht nur konkreter Objekte, sondern gerade abstrakter Objekte wird dann deutlich, wenn die modernen Wissen-

schaften in der Tradition der Komplexitätsforschung via Computerexperimenten und -simulationen mehr und mehr zu *Computerwissenschaften* avancieren. Dann ist C.F. von Weizsäckers Quantentheorie der Information, die auf Wheelers (1990: 5) "*It from bit*" hinausläuft, keineswegs befremdlich. Vielmehr wird sie für die Einheit der CPS-Welten letztlich unumgänglich, wenn es gelten muss, gleichzeitig in physikalischen wie logischen Atomen bzw. Bits denken zu können.

Im Sinne des *Fundamentalismus* vs. *Reduktionismus* von Wieners bzw. Wheelers *Information* geht es also um zwei Konzeptionen des einen Universums, die mit ihrem je spezifischen Kontext einmal in der aristotelischen Variante, und einmal in der platonistischen Variante stehen. Wie oben erwähnt, gehen beide Positionen, also sowohl der "Fundamentalismus" als auch der "Reduktionismus", nicht mit Bunges Ontologie konform. Denn bei Wiener sind alle drei gleichberechtigten Größen "real"; bei Bunge allein die Materie, während sie bei Wheeler auf Information reduziert wird. Inwiefern sich physikalisch beweisen lässt, dass sich Materie im quantenmechanischen Sinne mit C.F. von Weizsäcker, Wheeler oder Zeilinger tatsächlich vollständig auf Information bzw. auf Bits reduzieren lässt, ist eine wissenschaftliche Frage, die noch nicht hinreichend geklärt ist. Ihre Antwort verlangt weitreichende physikalische Debatten, die bereits mit der Frage der Gleichsetzung von Information und Energie einerseits bzw. mit Materie und Energie andererseits beginnen. Im Sinne des Ratio-Empirismus der Metaphysik ist das Ergebnis erst dann entscheidend, wenn sich auf einem neuen Stand der Forschung eine neue allgemeinste Theorie abzeichnet. Bei Whitehead geht es indessen nicht nur – wie bei Bunge – um eine allgemeinste Theorie, sondern um ein echtes bidirektionales Wechselspiel von Metaphysik und Wissenschaft bzw. Technopraxis. Es steht außer Zweifel, dass die Positionen von C.F. von Weizsäcker, Wheeler oder Zeilinger, selbst wenn man sie nicht teilen mag, mindestens im Kuhnschen (1962) Sinne eines Theorieanwärters ernstzunehmende Ansätze der Wissenschaftspraxis darstellen. Die Metaphysik bzw. Ontologie muss mit ihnen grundsätzlich umgehen können, muss sie zu fundieren verstehen. Daraus folgt: Wenn es logico-mathematische Ansätze gibt, die im Sinne H.A. Simons (1969) nicht zwingend an Materie gebundene Artefakte wie Shannons (1938) *Schaltalgebra* zum Gegenstand haben, dann wird bereits insofern eine Metaphysik benötigt, die nicht nur *Metaphysik der Natur* ist, sondern gleichzeitig als *Metaphysik des Artifizialen* fungieren kann.

Mit den *Logical Machines* bei Marquand (1886) und Peirce (1887) bzw. der *Logic of Things* bei Peirce (1898) oder Shannons (1938) *Schaltalgebra* muss die Boolesche Logik nicht nur epistemologisch, sondern auch ontologisch zugelassen sein. Dann aber müssen Metaphysik bzw. Ontologie nicht nur das mathematische Universum an sich zulassen, sondern einen geeigneten logico-mathematischen Zugang dazu schaffen. Dieser Zugang ist mit Wolframs (2002) *New Kind of Science* genauso mit Blick auf die *Metaphysik der Natur* einzufordern. Das gilt auch dann, wenn Wolfram die mit seiner Wissenschaftskonzeption verbundenen metaphysischen Postulate selbst gar nicht erhebt. Dieser Zugang besteht in

kategorialer Hinsicht darin, dass eine ontologische Dichotomie zwischen konkreten und abstrakten Objekten notwendig wird. Diese sollte mit Blick auf Bedeutung und Tragweite dieser Differenzierung im aristotelischen bzw. platonistischen Sinne gleich auf der ersten Ebene der in Pkt. 6.1.3 erörterten Kategoriensysteme vollzogen werden. Genauso wird für die Ontologisierung der Booleschen Logik eine eigenständige Ereigniskategorie erforderlich mitsamt einem Prozessverständnis, das am Moment der Bifurkation festmacht. Wie Abb. 38 in Pkt. 6.1.3 illustriert, ist beides bei Whitehead der Fall, jedoch nicht bei Bunge. Wenn eine solche Konzeption in Richtung von Wheelers (1990: 5) "*It from bit*" geht, kommt das nicht von ungefähr, indem sie bei Whitehead ihren Ursprung besitzt. Es muss also insgesamt gelten, die Adressierung des platonistischen Universums nicht von vornherein auszuschließen, wie es bei Bunge und anderen neo-aristotelischen bzw. sprachphilosophischen Ansätzen geschieht. Vielmehr ist eine Metaphysik erforderlich, die – in Leibnizens Tradition – die Positionen von Aristoteles und Platon eint, was indessen erst durch Whiteheads Prozessmetaphysik als techno-wissenschaftlicher Computer- bzw. Digitalmetaphysik tatsächlich im ratio-empirischen Wechselspiel systematisch vollzogen wird.

Dass die Frage nach dem "Urstoff" des Universums den Zugang zur wissenschaftlichen Metaphysik bestimmt, ist insofern besonders hervorzuheben, als Bunge wie Whitehead je spezifische Varianten des *Ratio-Empirismus* betreiben, der neben den Formalwissenschaften insbesondere auch die Erkenntnisse naturwissenschaftlicher Theorie mit einbezieht. Wenn Bunge auf Grundlage seiner materialistischen Ontologie die Ansicht vertritt, dass die naturwissenschaftliche Erkenntnis für die 3D-Sichtweise spreche, steht die moderne Forschung der Naturwissenschaften dieser Position in Wahrheit diametral entgegen. Whiteheads Antimaterialismus verfolgt den Ratio-Empirismus viel konsequenter, wenn alle Erkenntnisse der modernen Wissenschaften mit einbezogen werden. Das kommt nicht von ungefähr; für Whitehead ist die intensive Auseinandersetzung mit allen physikalischen Theorien bereits zu Studienzeiten im Zeichen der mathematischen Physik verpflichtend. Das beginnt mit Whiteheads 1889 abgeschlossener Examensarbeit über Maxwells (1873) Theorie elektromagnetischer Felder (Wellen). Nicht nur die zu jener Zeit etwa mit Peirce (1887) in der Diskussion befindlichen *Logical Machines* haben dabei Whiteheads (1929a) *Ereigniszentrismus* geprägt, sondern gerade auch Maxwells Theorie. In ihrem Kontext steht für Whitehead (1929a: 91) außer Frage, dass jedes Elektron eine Gesellschaft *elektronischer Ereignisse* (electronic occasions) ist, genauso wie durch ihn jedes Proton als Gesellschaft *protonischer Ereignisse* (protonic occasions) aufgefasst wird. Darin bestehen Sachverhalte, die auf Grundlage des einseitig argumentierenden Bungeschen Materialismus naturgemäß keine wesentliche Rolle spielen können.

Die Frage nach dem "Urstoff" des Universums bestimmt jedoch nicht nur den Zugang zur wissenschaftlichen Metaphysik als solcher. Vielmehr ist festzustellen, dass keine Evaluierung und Selektion von Top-level Ontologien möglich ist, ohne sich mit ihr eingehend auseinanderzusetzen. Dabei gilt dies gewiss nicht für *Scientific Ontologies* allein – auch

wenn es hier für das Zusammenspiel von universaler Ontologie und regionalen Ontologien eine besondere Qualität besitzt. Vielmehr gilt dies in Bezug auf alle Ontologie, insbesondere also auch für jene der Technopraxis: Entscheidend ist ihre Bewandnis für die Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis. Die Stellung und semantische Bewandnis der Ereigniskategorie hängt grundlegend davon ab, ob *Materie*, *Energie* oder *Information* als "Urstoff" für die ontologische Richtungsbestimmung als maßgeblich erachtet werden. Deshalb heißt Metaphysik auch *Meta-Physik*, während Ontologie über die kategoriale wie meta-ontologische Dependenz zwingend Teil dieser ist, womit die Problematik eines rein sprachphilosophischen Ontologieverständnisses einmal mehr offensichtlich ist. Wenn für die Computer- bzw. Digitalmetaphysik die *Information* den "Urstoff" bildet, besitzen *Ereignisse* nicht – wie bei *Materie* – lediglich einen abgeleiteten Status, sondern bilden vielmehr eine eigenständige Kategorie. Dabei handelt es sich nicht um irgendeine Kategorie, sondern um die zentrale, die impliziert, dass Objekte in dem Sinne lediglich abgeleiteten Status besitzen, als diese immer in Ereignissen situiert und durch diese konstituiert sind.

Der bei Bunge vermiedene Fehler der deskriptiven Metaphysik ist der, dass sie in ihrer Begründung durch Strawson (1959) explizit auf den jeweils fehlinterpretierten metaphysischen Positionen von Aristoteles und Kant aufbaut, ohne also deren Metaphysik richtig zu verstehen. Metaphysik kommt an der Debatte um den "Urstoff" nicht vorbei, und bei Aristoteles' ([Met.]) Stoff-Form-Metaphysik wie in der Naturphilosophie Kants (1755: B 5) wird dieser tatsächlich noch in der *Materie* gesehen. Wenngleich dies schon in der griechischen Antike umstritten ist, befindet sich Bunge damit zwar gewiss in guter Gesellschaft, doch ist im Hinblick auf die *ratio-empirische* Verankerung wissenschaftlicher Metaphysik einzig entscheidend, was auf Grundlage der jeweils aktuellen *empiristischen Universalsynthese* vorauszusetzen ist: Wenn auch Preuß (1997) von Seiten der Quantenchemie aufzeigt, dass *Materie nicht materiell* ist, muss die metaphysische Ontologie auf Basis des für sie verpflichtenden *Ratio-Empirismus* in der kategorialen Ontologiefrage offensichtlich zurück zu den Erfahrungs- bzw. Strukturwissenschaften. Allen voran – wenn gewiss auch nicht ausschließlich – muss sie zurück zur modernen Physik, insbesondere zur Quantenphysik. Und hier gelangt man nach genau zweihundertfunzig Jahren Forschung nach Kant (1755) mit anerkannten Quantenphysikern wie Zeilinger (2005) zu einem anderen Ergebnis. Denn auch mit Zeilinger (2005) ist es gewiss nicht *Materie*, sondern vielmehr *Information*, in der der fundamentale Baustein, der "Urstoff" des auch für ihn prozessual zu verstehenden Universums besteht.³⁶⁵⁷

Die bereits in Pkt. 3.1 wie oben erwähnte quantentheoretische Interpretation Wheelers (1990: 5) gründet dabei auf der These, »that all things physical are information-theoretic in origin«. Entsprechend muss es nicht verwundern, dass Bunge als Materialist gerade auch Wheeler scharf angreift.³⁶⁵⁸ Die Ontologie kommt um diese Diskurse metaphysischer On-

³⁶⁵⁷ Vgl. Zeilinger (2005: 73); vgl. auch Zeilinger (2003: 217).

³⁶⁵⁸ Vgl. etwa Mahner/Bunge (1997: 152 f.).

tologie deswegen nicht umhin, weil sie für aristotelische *ontische* wie für Kantische *epistemische* Kategorien die grundlegende ist: Nicht nur für Bunges materielle Dinge, sondern auch für Smithens materielle BFO-Substanzen oder für die materiellen Substanzen im aristotelischen *Common Sense-Realismus* deskriptiver Metaphysik geht es dabei ums Ganze, wenn genuine AI-Experten wie Sowa (IBM) oder Norvig (Google) sich nicht an diesen, sondern vielmehr im Kern an den *4D-Ereignissen* Whitehead-Russellscher Prägung orientieren. Dabei ist fraglich, ob Ontologen bzw. Erkenntnistheoretiker wie Bunge überhaupt die richtige Perspektive auf AI-Prozesse besitzen; jedenfalls hat Bunge (1956a, 1956b) schon früh wenig Verständnis für die eigentliche Essenz des AI-Processings gezeigt, wenn er »Wiener's mistake of assigning a language to machines« genauso bemängelt wie den durch diesen herausgestellten Umstand,³⁶⁵⁹ »that artifacts think, know, receive and give information«.³⁶⁶⁰ Insofern ist klar, dass Bunges Ansatz kaum auf eine qualifizierte *integrierte metaphysische Wissensontologie* hinauslaufen kann.

Eine sachgerechte Erörterung ontologischer Kategorien ist allein schon deshalb notwendig *metaphysisch*, indem Stellung zum Cartesischen Dualismus zu beziehen ist. Wie oben erwähnt, gilt für Bunge (1979a: 146): »the *res cogitans* is a *res extensa*«. Es ist diese Position, die hinter der Ablehnung alles Immateriellen steht: »[M]aterialism happens to be the ontology of modern science, which, far from countenancing disembodied or ghostly entities, assumes that all existents are lawfully changing concrete (or material) things, though not necessarily of the same kind«.³⁶⁶¹ Entsprechend scharf greift Bunge jede Position an, die am Immateriellen festmacht; das gilt für Whiteheads prozessualen Antimaterialismus genauso wie für Poppers Welt 3, Reschers prozessualen konzeptuellen Idealismus oder Wheelers "*It from bit*". Bunge unternimmt in seiner Fundamentalkritik keinerlei Versuch, gedanklich aus seinem Substanzparadigma auszubrechen. Denn er argumentiert nicht neutral im Sinne des *Ratio-Empirismus*, sondern vielmehr dogmatisch fixiert auf sein eigenes materialistisches Schema. Nur dann kann gelten: »Ist Information im ontologischen Sinne [...] nichts anderes als Struktur, dann ist sie aber eine *Eigenschaft* von Dingen und nicht etwa selbst ein Ding oder eine Substanz«.³⁶⁶² – Das wird in dieser Debatte auch nicht behauptet. Vielmehr besagt C.F. von Weizsäcker (1974: 361) nicht zuletzt durch die Quantenphysik bestimmte, für Materialisten schwerlich zu fassende strukturwissenschaftliche Position folgendes: »Substanz ist Form. Spezieller: Materie ist Form. Bewegung ist Form. Masse ist Information. Energie ist Information«, womit also die *Form*, und nicht etwa eine wie immer geartete Substanz für C.F. von Weizsäcker (1974) den Oberbegriff markiert. Andere Vertreter des Strukturenrealismus (Structural Realism),³⁶⁶³ etwa Lyre (1998: 208) vertreten ähnliche Auffassungen, wenn sie feststellen: »Materie und Energie

³⁶⁵⁹ Vgl. Bunge (1956a: 145).

³⁶⁶⁰ Vgl. Bunge (1956b: 217).

³⁶⁶¹ Vgl. Bunge (1983b: 9).

³⁶⁶² Mahner/Bunge (1997: 152 f.), Hvh. im Orig.

³⁶⁶³ Vgl. hierzu Ladyman (1998, 2001), French (2001) sowie French/Ladyman (2003). Vgl. ergänzend Worrall (1989) sowie Psillos (2001, 2009).

sind [...] ebenso Manifestationsformen der Information wie die Raumzeit selbst«. Zwar arbeitet auch Bunge in seinem emergentischen Materialismus mit dem Strukturbegriff, wenn es um Komplexitätsaspekte geht.³⁶⁶⁴ Doch ist damit ein völlig anders gearteter Strukturalismus als der in Pkt. 4.2 behandelte *universale Strukturalismus* Whiteheads gemeint. Denn für Bunge ist es wiederum eine »Eigenschaft bestimmter Objekte, eine spezifische Form oder Struktur zu besitzen«. ³⁶⁶⁵ In diesem Zusammenhang erkennt er entgegen Weizsäcker der *Information* jeden eigenständigen Status ab.

Wird der metaphysische "Urstoff" in der *Information* gesehen, ist es konsequent, mit Whitehead, Russell, Quine oder Popper gänzlich auf den Substanzbegriff zu verzichten, wenn dieser bei Aristoteles wie später als "Thing" bei Bunge eine *materialistische* Kategorie definiert. Das erscheint auch insofern geboten, als er mit seinen überaus heterogenen Auslegungen bei Aristoteles, Descartes, Leibniz, Spinoza, Schelling oder in jüngerer Zeit etwa bei P.M.S. Hacker keine grundlegende Trennschärfe mehr besitzt. Wie schwammig der Substanzbegriff geworden ist, zeigt sich etwa dann, wenn *Substanzen* selbst in ausgewiesenen 4D-basierten AI-Ontologiekonzeptionen wie etwa jener Russell/Norvigs (2010) noch Erwähnung finden. Ihnen ist vorzuwerfen, dass nicht hinreichend spezifiziert wird, was die *Substanz* dann noch konkret ausmachen soll. Das gilt gerade auch vor dem Hintergrund des Komplexitatsgesichtspunkts, der bei Aristoteles bzw. Descartes im Zeichen ihrer Selbstidentität bzw. *Relata* noch definitiv ausgeschaltet ist, weshalb Bunges an Komplexität orientierter Ontologiebegriff auch einen relationalen Dingbegriff voraussetzt. Wenn jedoch heute etwa mit Hübner (2007) von *komplexen Substanzen* die Rede ist, besteht ein solcher Bruch zu den alten Substanzmetaphysiken, der solche Modifikationen kaum sinnvoll erscheinen lassen kann. Vor diesem Hintergrund ist es wegweisend, im Zuge der Whiteheadschen (1929a) Prozessmetaphysik die Substanz durch Objekte zu ersetzen, die nicht nur in Ereignissen situiert sind, sondern die sich auf Grundlage von Ereignissen konstituieren. Damit tritt entsprechend insgesamt an Stelle der veralteten Substanzmetaphysik die *Prozessmetaphysik*, und mit der genuinen Natur der Information kann es nur diese sein, die als Computer- bzw. Digitalmetaphysik alles Fundamentale der Informatik bestimmt. Insofern gilt natürlich Wheelers "*It from bit*" universal für alle physischen und cyber-physischen Systeme wie für den Cyberspace selbst, indem das Sein in Zuses (1982, 1993) *Computing Universe* als *Cellular Structured Space* ein digitalstrukturiertes Sein ist, das jedoch mit Bunge nicht zu realisieren ist. Denn für Bunge existieren in der Realität keine Strukturen an sich, sondern nur strukturierte Dinge,³⁶⁶⁶ wobei Dinge für ihn nur *materielle* Dinge sind.

Materie ist für das Universum unabdingbar; allerdings besteht in ihr – was bereits der Cartesische Dualismus offenbart – nicht das *universale Prinzip*, das jedoch für die Metaphysik gerade das entscheidende ist. Wenn Bunge behauptet, dass *Information* nichts wei-

³⁶⁶⁴ Vgl. bspw. Bunge/Mahner (2004: 74-77).

³⁶⁶⁵ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 38).

³⁶⁶⁶ Ibid.

ter als eine *Eigenschaft* von Dingen sei, dann liegt das genau auf der Linie der aristotelischen Ontologie, wo sie als Akzidenz von Substanzen behandelt wird. Indem demgegenüber der *Grundstoff* der Informatik in der *Information* besteht, und kaum ein Informatiker Wieners (1948: 155) kybernetische Auffassung von *Information* als eigenständiger physikalischer Größe im Kontext Cyber-physischer Systeme (CPS) in Frage stellen wird, dann bildet diese für die Disziplin den metaphysischen "*Urstoff*", und nicht materielle Dinge. Anders gewendet: die Bunesche Ontologie konterkariert die metaphysischen Dispositionen der Informatik als Ganzes und damit schlieelich auch der *Ontologie* der Informatik im Speziellen. Denn Wissensontologie und metaphysische Ontologie lassen sich natürlich auch für Bunge nicht trennen, wenn sich seine Semantik richtigerweise nach der Metaphysik richtet.³⁶⁶⁷ Das universale Prinzip ist die *Information*, und die universale Korrelation lautet daher nicht: Materie = Substanz, sondern: *Information* = *Ereignis*. So gesehen illustriert die Ontologie der Informatik wie sehr die philosophische Ontologie – jenseits von Whitehead und Schülern – irrt.

Das intelligible Universum ist nach Maßgabe des Whiteheadschen *prozessualen Strukturuniversums* im Sinne *organismischer Logical Machines* zu denken, was auf die *Theorie zellulärer Automaten* hinausläuft, die hinter Zuses (1982) *Computing Universe* steht. Offenbar handelt es sich hier um aktualisierte Varianten des Kantisch-Feynmanschen *Regeluniversums* bzw. des Leibnizschen *Automatenuniversums* als Ursprungsparadigma. Dabei machen *organismische Logical Machines* bzw. die Automatentheorie gewiss nicht an materiellen Substanzen, sondern mit Whitehead an *informativischen Ereignissen* fest. Das impliziert eine entsprechende Prozessauffassung, die sich jedoch gewiss nicht mit jener Bunes (1983b: 357) verträgt: »'process' can be defined in terms of 'thing' but – *pace* Whitehead and his followers – the converse is impossible. (Indeed the very notion of a process, or sequence of states in a thing, involves some concept of a thing. Therefore the definition of 'thing' as 'a bundle of processes' is circular.)«. Die These, dass das universale Prinzip des Kosmos nicht in der Materie sondern in der *Information* bzw. in *informativischen Ereignissen* besteht, lässt sich auf Basis des metaphysischen Ratio-Empirismus auf vielfältige Weise untermauern. Das fängt bei Maxwells Theorie elektromagnetischer Felder an und reicht über die Quantenphysik und Informationstheorie bis etwa hin zur synthetischen Evolutionstheorie. Für die Geistes- bzw. Sozialwissenschaften ist diese Auffassung ohnehin gesetzt, indem etwa Entscheidungs- oder Handlungstheorien letztlich allein solche informativischen Ereignisse voraussetzen. Die Wissensrepräsentation hat sich etwa mit der AL-Forschung und anderen Disziplinen gerade auch auf H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* zu beziehen. Diesbezugliches wie auch alles moderne naturwissenschaftliche Wissen lässt sich jedoch auf Grundlage der Buneschen Ontologie gar nicht sachgerecht repräsentieren, indem die fundamentalen Kategorien falsch gesetzt sind.

³⁶⁶⁷ Vgl. hierzu speziell Bunge (1960, 1972, 1974a, 1974b, 1974c).

Die Existenz einer inhärenten logischen Struktur der Quantentheorie und einer entsprechend abstrakten Interpretation der Quantenmechanik als Logik wird als erstes durch Birkhoff/Neumann (1936) dargelegt, während ihre nach heutigen Maßstäben abschließende mathematische Formulierung schon J. von Neumann (1932) besorgt.³⁶⁶⁸ In der Tradition Zuses (1982) ist das Universum vor ihrem Hintergrund mit S. Lloyd (1997, 2006) als *Quantum Computer* zu verstehen:

»The universe is made of bits. Every molecule, atom, and elementary particle registers bits of information. Every interaction between those pieces of the universe processes that information by altering those bits. [...] The universe is a quantum computer.«³⁶⁶⁹

Im Quantencomputing ist *Information* entsprechend als *Quantum Information* zu interpretieren,³⁶⁷⁰ während auch C.F. von Weizsäcker (1985) die Relevanz der *Quantenlogik* im Kontext der Quantentheorie der Information unterstreicht:³⁶⁷¹

»Quantum logic is no more than a specialized version of a universal logic of prediction. Quantum theory, as the most universally valid theory in contemporary physics, has only provided the occasion for studying the logic of prediction.«³⁶⁷²

Es sind diese für das *Quantum Computing* relevanten Whiteheadschen prozessmetaphysischen Gesichtspunkte, die nicht nur mit McCarthy (1995) für die AI-Disziplin den "*general world view*" bilden, sondern damit verbunden für die Informatik insgesamt die *ultimate Weltauffassung* darstellen. Auf dem gegenwärtigen Stand der Forschung kann es keine andere geben; vor allem ist ein Schlusstrich zu ziehen unter Bemühungen, veraltete materialistische Standpunkte mit dem "*general world view*" bzw. der AI-Ontologie in Verbindung bringen zu wollen. Es kann deshalb gar nicht oft genug wiederholt werden, dass Aristoteles wie Bunge das falsche materialistische Paradigma für die Informatik implizieren. Zwar berücksichtigen *alle* gängigen Top-level Ontologien – im Unterschied etwa zur trivialen Objektkonzeption Grubers (1993, 1995) – die maßgebliche Bedeutung prozessualer Gesichtspunkte. Allerdings gehen die verbreitetsten TLO-Ansätze in ihrer gegenständlichen "Furniture"-Perspektive davon aus, dass sich Prozesse bzw. Ereignisse im Sinne von *Akzidenzen* auf einen *Träger* beziehen, was für die Informatik offensichtlich inadäquat ist. Denn diese benötigt mit der Automatentheorie und anderen CAS-Ansätzen vielmehr Ereignisse als *logico-mathematische Ereignisse*, wie sie auch die moderne Physik wie insgesamt Wissenschaft und Technopraxis voraussetzen. Das gilt damit für die Ontologie insgesamt: Wenn Bunge/Mahner (2004: 6) zu Recht postulieren, dass sich jede moderne Ontologie im Zeichen des Ratio-Empirismus an den Wirklichkeitswissenschaften

³⁶⁶⁸ Es sei angemerkt, dass es heute Bestrebungen gibt, über Neumann hinauszugehen, etwa auf Basis der *Clifford logic* als reversibler Quantenlogik, vgl. Finkelstein (2003).

³⁶⁶⁹ S. Lloyd (2006: 3).

³⁶⁷⁰ Vgl. hierzu etwa Mahler (1996).

³⁶⁷¹ Vgl. zur *Quantenlogik* etwa Birkhoff/Neumann (1936), Mittelstaedt (1959, 1978, 1981), Suppes (1976b), Rüttimann (1977), Beltrametti/Cassinelli (1981), Beltrametti/Van Fraassen (1981), C.F. von Weizsäcker (1985), D. Cohen (1989), Pitowsky (1989, 1994), Ptak/Pulmannova (1991), Zecca (1992), Finkelstein (1992); Janis/Riecanova (1992), Malhas (1992), Pavicic (1992a), Svetlichny (1992), Görnitz/Graudenz/Weizsäcker (1992) sowie Zapatrin (1992); für einen umfassenden Überblick vgl. die Bibliographien von Beehner (1980) und Pavicic (1992b).

³⁶⁷² C.F. von Weizsäcker (1985: 35).

orientieren muss, diese jedoch im Sinne der Komplexitätsforschung als Computerwissenschaft mit solchen *informativischen Prozessen* durchzogen sind, ist evident, dass mit der gängigen Ontologie bzw. Top-level Ontologie etwas fundamental nicht stimmt. Offensichtlich ist das Verhältnis zwischen universaler und regionalen Ontologien neu zu justieren.

Hinter allen führenden Top-level Ontologien wie auch hinter dem Objektgedanken in seiner Verhältnisbestimmung zur Ereigniskategorie verbirgt sich letztlich die alte aristotelische Metaphysik. Denn auf ihrem Tragergedanken, der auch für das aristotelische Schema *Subjekt-Prädikat-Objekt* bestimmend ist, steht letztlich die materialistische Substanzidee. Sie ist es, die für die gegenständliche Idee der "*Furniture of the World*" und die darauf aufbauende "Furniture-Ontologie" bestimmend ist. D.h. sie ist für neo-aristotelische Positionen wie sie die BFO-TLO oder BWW-TLO unmittelbar verkörpern genauso entscheidend wie für alle Ontologieansätze deskriptiver Metaphysik, die letztlich immer im aristotelischen *Substanz-Akzidenz-Schema* stehen. Das betrifft etwa die DOLCE-TLO genauso wie einfache linguistische Ontologiekonzeptionen wie jene Grubers (1993, 1995) und damit zugleich die gesamte sprachphilosophische Ontologietradition. Die Defekte dieser Perspektive wurden in der Ontologie, auch in der Ontologie der Informatik, lange Zeit nicht bemerkt. Im Kontext Cyber-physischer Systeme, von Computern als ereigniszentrierten "*Reality Machines*", der zentralen AI-Relevanz der Automatentheorie wie von *Scientific Ontologies*, die mit der modernen Physik, Chemie, Biologie oder Ökonomik allesamt auf dem Komplexitätsparadigma gründen, werden diese Defekte jedoch unmittelbar offensichtlich. Bunges rein-materialistische Substanzidee kann kaum den Ausgangspunkt für eine Ontologie *intelligenter Systeme* bilden, deren Prozesse sich nicht nur in IoX-Umgebungen auf Basis von *Smart Objects* und *Event Streams* vollziehen. Auf den damit zusammenhängenden Umstand, dass bei der sachgerechten Konzeption des Universums nicht allein Gesichtspunkte des Materialismus, sondern auch des Idealismus zu berücksichtigen sind, weist nicht nur bereits Leibnizens *Metaphysica* bzw. seiner *Monadologie* als Fixpunkt der Automatentheorie hin, sondern es ist auch für die darauf aufbauende Prozessmetaphysik Whiteheads zentral.

Zwar sind für die Metaphysiken von Leibniz und Whitehead auch eine Reihe aristotelischer Aspekte maßgeblich, doch im Kern handelt es sich um platonistische Ansätze, indem es für beide um ein *mathematisch intelligibles Universum* geht. Allerdings ist die gängige Antwort auf die ontologische Kernfrage: "*Was gibt es?*" bzw. "*Was existiert?*" darauf nicht ausgelegt. Das gängige ontologische Denkschema ist vielmehr auf den aristotelischen bzw. Bungeschen Ansatz fixiert, wenn man im Zeichen naiver Ontologie klassischerweise versucht, diese Frage über zwei Herangehensweisen zu klären: (i) es existiert das, was der sinnlichen Wahrnehmung zugänglich ist; sowie (ii) es existiert das, was räumlich ausgeht bzw. räumlich lokalisierbar ist. In diesem Sinne läuft die ontologische Kernfrage bei Materialisten wie Bunge auf Basis der empirischen Naturwissenschaften auf die alleinige Existenz *materieller Gegenstände* hinaus. Antimaterialisten wie Whitehead stellen die

Existenz solcher Gegenstände an sich gar nicht in Frage, indem ein Antimaterialismus natürlich keinen Immaterialismus impliziert. Vielmehr geht es um die ontologische Fassung der Entitäten, bei der weder eine gegenständliche 3D-Perspektive als haltbar erachtet wird noch eine ausschließliche Fixierung auf das Materielle. Die moderne Physik gibt der antimaterialistischen Position Whiteheads insofern recht, als mit Schrödinger (1944) erkannt wird, dass diese zur *Physik der Evolutionsprozesse* bzw. zur *Physik des Lebens und Werdens* avancieren muss, mit der das *Teleologiemoment* wiederum ins Spiel der Wissenschaften gelangt. Wenn außer Frage steht, dass dieses Moment in den heutigen *regionalen Ontologien* von zentralem Belang ist, muss es sich im Sinne des *Ratio-Empirismus* auch in der *universalen Ontologie* wiederfinden. Das ist bei Bunge jedoch nicht der Fall; für ihn zählen allein materielle Dinge und die unmittelbar darauf beziehbaren Naturgesetze. – Damit wird jedoch vom aristotelischen Teleologiemoment genauso abstrahiert wie vom *intelligiblen Universum* Platons.

Vor dem Hintergrund des bisherigen Zugangs zur ontologischen Kernfrage "*Was gibt es?*" bzw. "*Was existiert?*", die klassisch über die sinnliche Wahrnehmung bzw. die räumliche Ausdehnung führt, mündet die Ontologiekonzeption schnell in einer gegenständlichen "Furniture-Ontologie". Moderne Computerdisziplinen wie die durch Bunge ontologisch abgelehnte AL-Forschung, die jedoch für sich zu Recht genauso entsprechende Ontologiepositionen beanspruchen, legen indessen den Schluss nahe, dass diese beiden klassischen Zugänge zur Ontologie nicht hinreichend sind bzw. gar den Zugang zur eigentlich sachgerechten Konzeption der Ontologie verstellen. Offensichtlich irrt Bunge in der Annahme, dass das aristotelische Teleologiemoment bzw. das *intelligible Universum* Platons nicht von ontologischem Belang sind. Die Diskussion des Teleologiemoments etwa bei Pittendrigh (1958) oder Ayala (1998) zeigt, dass es für das Verständnis von Adaptionsprozessen gerade auch für eine *Physik der Evolutionsprozesse* von Bewandtnis ist. Diese Diskussion spielt mit Burks (1988) genauso im Kontext der Automatentheorie eine wesentliche Rolle, womit deutlich wird, dass es um etwas geht, was universal auch für die künstlichen Lebensprozesse der AL-Forschung Gültigkeit besitzt. Offensichtlich geht es bei der Teleologie in ihren verschiedenen Varianten weder um sinnlich wahrnehmbare noch um ausgedehnte Sachverhalte, weshalb Positivisten einem solchen Moment auch nichts abgewinnen können bzw. es teils strikt ablehnen.³⁶⁷³ Ontologische Relevanz besitzen solche Sachverhalte, wie es regionale Ontologien etwa mit Pittendrigh (1958) oder Ayala (1998) zeigen, offenbar dennoch. Über die Naturgesetze erklären lassen sie sich aber allenfalls

³⁶⁷³ Generell betrachtet hat der Positivismus zur Konsequenz, alles Immaterielle ontologisch abzulehnen, zumindest in dem Sinne, dass es nicht als real existierend vorausgesetzt werden kann. Indessen besitzt auch der Positivismus insofern eine Berechtigung, als gerade im Zuge der Klasse-1- bzw. Klasse-2-Metaphysik, die kein empiristisches Korrektiv besitzen, alles Mögliche ontologisch vorausgesetzt wird, womit etwa Quines Sparsamkeitsprinzip konterkariert wird. Insofern wird deutlich, dass eine überlegene wie nachhaltig tragfähige Ontologiekonzeption nicht umhin kommt, mit Verweis auf Pkt. 3.5 strikt zwischen verschiedenen Ontologiemodi mitsamt ihrer Submodi zu differenzieren. Denn Quines ontologisches Sparsamkeitsprinzip macht für *Scientific Ontologies* in bestimmten Fällen durchaus Sinn, während das für Ontologien der Technopraxis in dieser Form kaum gelten kann.

bedingt, was in dem oben erwähnten Sinne Sobers (1992: 763) gemeint ist. Damit wird insgesamt deutlich: Der alte Zugang zur Ontologie ist verfehlt, indem er CPS-inadäquat ist und auch nicht Leibnizens universalem Automatengedanken gerecht werden kann.

Zweifelsohne verlangen sowohl die Komplexitätsforschung als Computerwissenschaft als auch die Informatik mit ihrer Automatentheorie bzw. Theorie zellulärer Automaten einen völlig anderen Zugang zur Ontologie als ihn Aristoteles, Bunge oder weitere Verfechter neo-aristotelischer Positionen wie Galton und B. Smith bzw. die gesamte an dem Tragergedanken festmachende deskriptive Metaphysik der OLP-Tradition eröffnen. Entsprechend sind alle genannten Ontologiepositionen abzulehnen. Denn die Informatik, die Komplexitätsforschung wie insgesamt die moderne Wissenschaft und Technopraxis setzen das *intelligible Universum* der Linie Platon-Leibniz-Whitehead insofern als konstitutiv voraus, als sie ein *mathematisches Universum* unterstellen. Das *intelligible Universum* meint indessen eine ganz bestimmte Spielart des *mathematischen Universums*, nämlich das *logico-mathematische* Universum im Sinne Leibnizens. Inwieweit es tatsächlich berechenbar ist, ob es dabei mit S. Lloyd (1997, 2006) als *Quantum Computer* verstanden werden kann, ist letztlich unerheblich. Wesentlich ist vielmehr der Aspekt der Ontologisierung der Booleschen Logik, die auf der Annahme gründet, dass die binäre Logik als solche ontisch im Universum nicht weniger présent ist als etwa räumlich ausgedehnte materielle Körper, auch wenn zweite gegenüber der ersten der sinnlichen Wahrnehmung unmittelbar zugänglich sind. Denn Cyber-physische Systeme (CPS) sind nicht nur möglich, sondern sie sind als *kausale Systeme* real. Analoges gilt für andere qualitative Bestimmungen des Kosmos; etwa für den Fakt, dass wir es mit einem emergentistischen Universum zu tun haben, was auch Vertreter des emergentistischen Materialismus – wie Bunge – ontologisch voraussetzen und für seine Kategorien bestimmend ist. Die Ontologisierung der Booleschen Logik birgt eine ganze Reihe von Implikationen in sich, die nicht nur den Status der Information als physikalischer Größe betreffen, nicht nur die Richtigkeit der Voraussetzung von Platons intelligiblen Universum unterstreichen, nicht nur eine neue, strukturalistische Form von Ontologie implizieren, sondern zunächst einmal einen völlig neuen Zugang zur Ontologie an sich einfordern. Denn dieser ist damit in dem oben beschriebenen klassischen Sinne weder hinreichend noch korrekt; vielmehr ist er insgesamt in dem Sinne irreführend, als mit Putnam (1980: 481) zu unterstreichen ist, »that the universe is not a furnished room«.

Indem sich jede Ontologie auf Welten bezieht, führt der richtige Zugang zur Ontologie über die Frage der sachgerechten Konzeption des Universums überhaupt. Eine Antwort darauf ist die oben genannte Putnams (1980: 481), die zur Konsequenz hat, dass alle "Furniture-Ontologien" ad absurdum geführt sind. Fragt man nach Alternativen zu der nicht nur unter dem techno-wissenschaftlichen Gesichtspunkt naiven, sondern bei automatisierten realen CPS-Prozessen auch nicht ungefährlichen ontologischen Idee eines möblierten Universums, besteht ein besserer Start in die Ontologiedebatte im Kantisch-Feynmanschen

Regeluniversum. Selbst klassisch geprägte Physiker sind offen für die These, dass es solche *logico-mathematische Regeln* im Universum gibt. Wenn alle Theorien auf genau diese spezifische Form des *mathematischen Universums* hindeuten, ist es legitim, sie als metaphysische Hypothese vorauszusetzen. Das gilt zumal dann, wenn sie – wie alle metaphysischen Hypothesen – über den Ratio-Empirismus indirekt fallibel ist. Ohne solche fundamentalen Hypothesen ist letztlich keine adäquate Wissenschaftspraxis möglich, was bereits daran deutlich wird, dass sich die Cartesische und Leibnizsche *Mathesis universalis* stark unterscheiden, und sich Kant in dieser Sache an Leibniz, nicht an Descartes hält. Denn die Cartesische *Mathesis universalis* ist in ihrer Orientierung an der Geometrie wiederum mit der *res extensa* der gegenständlichen Idee der "Furniture-Ontologien" geschuldet. Demgegenüber steht jene Leibnizens im Zusammenhang seiner prozessualen *Metaphysica*, und ist in ihrer logico-mathematischen Verfasstheit auf Prozesse in beiden Sphären des Cartesischen Dualismus in einheitlicher Weise projizierbar. Für die oben behandelte Frage des "Urstoffs" des Universums ist also offensichtlich die Frage seiner Konzeption als solche bestimmend, indem schon anhand der beiden Varianten der *Mathesis universalis* deutlich wird, dass das einigende, universale Prinzip nicht in der Materie, sondern vielmehr in der Information besteht. Während der Ursprung des mathematischen Universums in Platons *intelligiblem Universum* zu verorten ist, wird dessen logico-mathematische Struktur erst mit Leibnizens *Automatenuniversum* zum Vorschein gebracht. Schließlich wird mit Whiteheads *prozessualen Strukturuniversum* richtig klar, welche ontologischen Schlussfolgerungen daraus für die Ontologiefrage zu ziehen sind, indem die Verhältnisbestimmung von Ereignis und Objekt jener entspricht, wie sie im mathematischen Universum als *prozessualen Strukturuniversum* die einzig richtige ist, indem Objekte in Ereignissen situiert sind und auf diesen gründen.

Somit wird auch ersichtlich, was mit *Teleologie* gemeint sein kann und was nicht. Gemeint ist damit offensichtlich zwar etwas "übersinnliches", da es nicht unmittelbar der sinnlichen Wahrnehmung zugänglich ist, doch hat dieses strikt dem *Ratio-Empirismus* der Klasse-4-Metaphysik zu entsprechen. Es kann in dieser Sache also gerade nicht um jene Freiheitsgrade gehen, die für Klasse-1- oder Klasse-2-Metaphysiken und damit auch noch für die analytische Metaphysik selbstverständlich sind. Indessen ist die Teleologie auch nicht durch eine Klasse-3-Metaphysik zu erschließen, wie es mit Bunge deutlich wird, wenn diese zwar die Mathematik für essentiell hält, sich aber in ihrer Ontologie allein auf das über die empirischen Naturwissenschaften sinnlich Wahrnehmbare fixiert. Die technowissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik geht jedoch in ihrer Eigenart als Computer- bzw. Digitalmetaphysik darüber grundsätzlich hinaus. Für sie liegt die Klasse-3-Metaphysik als wissenschaftliche Metaphysik zwar an sich richtig, ist jedoch mit Blick auf das mathematische Universum in keiner Weise hinreichend. Denn auf Basis einer Klasse-3-Metaphysik lässt sich kein universales Prinzip begründen, auf das es jedoch in der Metaphysik wie bei der kategorialen Fundierung der Ontologie ankommt. Für die Klasse-4-Metaphysik ist das

mathematische Universum entscheidend, und das universale Prinzip ist in Leibnizens *Mathesis universalis*, nämlich in der *mathematischen Logik* und ihren prozessmetaphysischen Implikationen zu suchen. In diesem Sinne kann mit *Teleologie* nicht mehr gemeint sein als die *Idee logico-mathematischer Programme*, wobei ein solches Programm im Sinne eines logischen Systemgefuges schließlich als idealistisches Moment zu verstehen ist. Diese Position geht letztlich mit modernen Ansätzen wie Wolframs (2002) *Theorie zellulärer Automaten* konform:

»[H]ow intelligence should be defined has never been quite clear. But in recent times it has usually been assumed that it has something to do with an ability to perform sophisticated computations.«³⁶⁷⁴

Vor diesem Hintergrund liegen Leibniz und Whitehead offensichtlich richtig, wenn sie das materialistische wie idealistische Moment einer kategorialen Synthese zuführen, die sich bei Bunge hingegen explizit nicht findet. Die Metaphysik Whiteheads geht dabei über Leibniz insofern hinaus, als sie nicht nur den *Idealismus und Materialismus* versöhnt, sondern damit verbunden auch den *Rationalismus und Empirismus*. Das ist bei Leibniz nicht in der Metaphysik, sondern vielmehr insgesamt im Leibnizprogramm angelegt, und entsprechend fehlt das direkte Whiteheadsche »interplay between science and metaphysics«.

Wenn die *Idee logico-mathematischer Programme* offensichtlich dem Kosmos im Automaten Sinne Leibnizens inhärent ist, dann besitzen materialistische wie idealistische Positionen offensichtlich parallele Berechtigung. Wesentlich ist dabei Folgendes: Alle logico-mathematischen Routinen, die möglich sind, sind dem Kosmos als solche Möglichkeiten inhärent. Die Grundprinzipien des Computers, Shannons (1938) *Schaltalgebra* sind dem Kosmos immer inhärent – und diese *logico-mathematischen Regeln* wurden durch Leibniz und Nachfolger "entdeckt". In diesem Sinne ist der platonische Ideenhimmel zu interpretieren, nämlich als Entdeckungsverfahren. Es handelt sich dabei nicht um eine separate Welt, sondern um den Kosmos an sich. Poppers Welt 3 wird vor diesem Hintergrund durch Bunge zu Unrecht kritisiert und abgelehnt.³⁶⁷⁵ Denn es geht dabei um nichts anderes als um jene Welt, die als Resultat von W2-Aktivitäten entweder als mögliche Artefakte geschaffen oder aber als objektive Wahrheiten entdeckt werden. Sie sind im Universum zulässig und gehören als realisierte oder unrealisierte Möglichkeiten zu diesem. Objektives Wissen im Sinne des Kritischen Rationalismus ist das, was mit den Notwendigkeiten und Möglichkeiten des Kosmos korrespondiert. In genau diesem Sinne, also als objektives Wissen bzw. objektive Wahrheit ist es von einem subjektiven Träger ablösbar. Nicht vom Agenten ablösbar ist die subjektive Überzeugung (belief), einschließlich ihrer Irrtümer. Doch objektives Wissen bzw. objektive Wahrheit ist im Zeichen der Korrespondenztheorie dem Kosmos inhärent, nämlich in dem Sinne, dass es jederzeit mit genau den gleichen Gesetzmäßigkeiten *wiederentdeckbar* wäre, sofern es tatsächlich richtig ist.

³⁶⁷⁴ Wolfram (2002: 822).

³⁶⁷⁵ Bunge kritisiert Popper auch dahingehend, dass er keinen der in seiner Drei-Welten-Lehre vorkommenden Schlüsselbegriffe genau definiert, vgl. Bunge/Ardila (1990: 13). Dieser Vorwurf ist zwar nicht un gerechtfertigt, ändert jedoch nichts an der Richtigkeit der Popperschen Position.

Indem sich Shannons (1938) *Schaltalgebra* jederzeit auf Neue entdecken bzw. begründen ließe, steht ihre ontologische Zulässigkeit im Sinne einer Behandlung als Artefakt der Technopraxis außer Frage. Die Kritik Bunges an der Popperschen Welt 3 ist somit insofern unbegründet und verfehlt, als sich nicht abstreiten lässt, dass dem Kosmos nicht nur materialistische, sondern genauso idealistische Momente im platonistischen Sinne inhärent sind. Somit ist die Welt 1, auf die sich Aristoteles wie Bunge beschränken, um die in Kantischer Tradition stehende Welt 2 als Welt des *Subjekt-Superjekts* bzw. als Agentenwelt sowie um die in der Tradition Platons stehende Welt 3 zu ergänzen. Dabei steht jedoch mit dem *logico-mathematischen Universum* außer Frage, dass dies allein im Sinne objektiven bzw. objektivierten Wissens bzw. in jenem der W2-Produkte gelten kann, weil diese logico-mathematischen Prinzipien allen vier CYPO-Welten im Zeichen von *World Automata* in Gestalt formallogischer Regeln an sich inhärent sind. Wenn die Welt 3 bei R. Penrose (1997a) anders konzipiert wird, kann dies mit Blick auf das *universale Prinzip* keine zweckmäßige metaphysische Prämisse bedeuten. Man sollte es also beim Popperschen Original belassen.

Wenn die Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis durch Bunge im Sinne der "Furniture-Ontologie" vollzogen wird, ist seine materialistische Metaphysik genauso falsch wie jene – auch durch ihn abgelehnte – sprachphilosophische Position, die auf Basis ihrer ontologisch irreführenden *Subjekt-Prädikat-Struktur* der Sprache wie der ebenso fehlleitenden *Subjekt-Objekt-Dichotomie* zur umgekehrten Schlussfolgerung gelangt. Indem Sprache im OLP- oder ILP-Modus maßgeblich menschliches Denken bestimmt und insofern ein essentieller Zusammenhang zwischen perzeptiv-kognitiven Verarbeitungsprozessen und Sprache besteht, gilt mit Verweis auf Pkt. 5.6 gerade für diese Agentenklasse das Moment *kognitiver Verzerrung* (cognitive bias). Allerdings lässt es sich entgegen der Annahme der DOLCE-TLO gerade nicht im linguistischen Sinne deskriptiver Metaphysik heilen. Bunge liegt mit seinem Votum für die *revisionäre Metaphysik* grundsätzlich richtig, genauso wie Quine mit seiner faktischen Zurückweisung der OLP-Position, die mit ihrer Orientierung an Gegenständen im Sinne des aristotelischen *Common Sense-Realismus* ebenso zu den "Furniture-Ontologien" zu zählen ist: Ontologie ist empirisch über exakte Theorien der Erfahrung aufzuschließen – und nicht über die Defekte der Sprache. Mit Pkt. 6.1.3 sind dabei die Kategorien entscheidend; kein qualifizierter Ontologe wird dies bestreiten, indem mit Van Inwagen (2011) *jede* Ontologie *kategorial* ist. Allerdings geht es dabei weder um OLP- noch um ILP-Kategorien. Denn auch ILP-Kategorien sind im Sinne der Klasse-2-Metaphysik *a priori*, und haben nichts mit dem *Ratio-Empirismus* der Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken zu tun, die solche sprachphilosophischen "Ontologien" entsprechend vehement ablehnen. Somit liegt Bunge richtig, dass dies allein metaphysische Kategorien einer *Scientific Metaphysics* sein können, indem Ontologie in genau dem Sinne kategorial ist, als sie ein »hypothetico-deductive system dealing with the basic questions of

being and becoming« verkörpert.³⁶⁷⁶ Bei diesem handelt es sich um das grundlegendste hypothetisch-deduktive System überhaupt, ohne das man mit Verweis auf Pkt. 4.1 nicht anzufangen braucht solche Systeme auf erfahrungswissenschaftlicher Ebene zu konzipieren. Nicht nur der mathematischen Logik sind mit H.R. Smart (1925) metaphysische Präsuppositionen inhärent, nicht nur der Ontologie, sondern im Sinne der Verbindung von universaler Ontologie und regionalen Ontologien genauso jeder einzelwissenschaftlichen Theorie.

Bunges ontologische Position ist insofern richtig, als für ihn – wie für Van Inwagen (2011) – *jede* Ontologie *kategorial* ist, diese sich jedoch allein über den *Ratio-Empirismus* wissenschaftlicher Metaphysik sachgerecht erschließen lassen. Denn es handelt sich um universale Ontologie, die im transdisziplinären Sinne mit sämtlichen regionalen Ontologien korrespondieren können muss. Dabei sind diese *regionalen Ontologien* zuvorderst als Domänenontologien zu verstehen, womit klar ist, dass mit diesen nicht allein die primären *Scientific Ontologies* gemeint sind, sondern genauso technologische wie praktische Ontologien. Entscheidend ist vielmehr das in Pkt. 3.3.1 erläuterte wissensontologische Verhältnis von *Top-level Ontologie* und *Domänenontologie*, was der klassischen Differenzierung von *universaler* und *regionaler Ontologie* im Sinne metaphysischer Ontologie entspricht. Bunge ist also zuzustimmen, wenn Metaphysik für ihn *revisionäre Metaphysik*, nicht etwa die defekte deskriptive Metaphysik impliziert, wobei das Revisionäre bei erster im *Ratio-Empirismus* verankert ist. Dann jedoch ist in Anwendung einer solchen ratio-empirischen Revision kategorialer Systeme auf die Bungesche Ontologie festzustellen, dass alle erfahrungswissenschaftliche Theorie auf ein metaphysisches System im Sinne der Computer- bzw. Digitalmetaphysik hinausläuft, indem *Materie* mit Russell (1927a: 400 f.) als "*system of events*" zu verstehen ist. Dafür sprechen wissenschaftliche, technologische wie praktische Gründe, die für die entsprechenden Ontologietypen konstituierend sind. In wissenschaftlicher Hinsicht gilt dies sowohl mit Blick auf das logico-mathematische Regeluniversum wie für die logico-mathematische Behandlung von Sachverhalten als solche. Technologisch ist Shannons (1938) *Schaltalgebra* genauso anzuführen wie die durch McCulloch/Pitts (1943) begründeten *künstlichen neuronalen Netze* oder J. von Neumanns (1951) *Switching Organ*. In praktischer Hinsicht lässt sich etwa auf *Event Streams* im *Complex Event Processing* (CEP) im IoX-Hyperspace zu verweisen. Cyber-physische Systeme (CPS), die mit dem heutigen Computerverständnis als "*Reality Machines*" den Maßstab für die gesamte Informatik bilden, sind auf Basis des Bungeschen Systems deshalb nicht sachgerecht adressierbar, als dieses kein universales Prinzip bietet, über das sich beide Welten verbinden lassen. Bei der im vierten Teil behandelten metaphysischen Position Russells (1927a) und Whiteheads (1920, 1925, 1929a), hinter der die logico-mathematische Perspektive von Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* steht, ist das hingegen grundlegend anders. Nicht umsonst steht Bunge AI-basierten Disziplinen wie der AL-For-

³⁶⁷⁶ Vgl. Bunge (1990a: 590).

schung ablehnend gegenüber – was bliebe ihm auf Grundlage seines einseitigen metaphysischen Denkschemas anderes übrig?

Wenden wir uns damit der Rezeption der Bungeschen Metaphysik in den Wissenschaften zu, indem sie mit Pkt. 4.1 die Wissenschaften fundieren können muss: Was die Naturwissenschaften betrifft, ist das Bild klar: die Quantenphysik etwa orientiert sich gewiss nicht an Bunges materialistischer Substanzmetaphysik, sondern vielmehr explizit an Whiteheads Prozessmetaphysik.³⁶⁷⁷ Gewiss wird die Raumzeit der Relativitätstheorie nur durch letztere genauso absorbiert wie etwa die interne Selektion der synthetische Evolutionstheorie; tatsächlich geht die Prozessmetaphysik – im Gegensatz zur Substanzmetaphysik – mit allen modernen Schlüsseltheorien konform.³⁶⁷⁸ Auf Basis der Nichtgleichgewichtsthermodynamik fordert Prigogine, wie Ostwald Physikochemiker, explizit eine *Ontologie des Werdens* ein und stützt sich dabei in metaphysischer Hinsicht nicht zuletzt auf Whitehead. Gleiches gilt für andere Ansätze, die in die empirischen Bereiche der Komplexitätsforschung fallen. Das reicht von der *Autopoiesis*,³⁶⁷⁹ die wesentlich auf Prigogine rekurriert, bis zu Eigens *Hyperzyklen*,³⁶⁸⁰ die für die biophysikalische Chemie maßgeblich sind. All das spricht eine deutliche Sprache: die Erkenntnis der modernen Wissenschaften weist seit langem genauso wenig mehr in Richtung des Beharrenden, des statischen Seins wie auf einen Tragergedanken, sondern läuft allgemein in den fundamentalen Fragen vielmehr auf die Whiteheadsche (1929a) *techno-wissenschaftliche Metaphysik* hinaus. Das ist durchaus von direktem praktischem Belang, indem sachgerecht konzipierte TLO-Ansätze, die etwa in der *chemischen Prozessindustrie* zum Einsatz kommen, ein gründlich durchdachtes metaphysisches Fundament voraussetzen. Entsprechenden Stellenwert besitzt die Metaphysik in der rein praktisch gehaltenen BORO 4D-Ontologie oder in Sowas Prozessontologie. Insgesamt ist es vor dem Hintergrund der modernen Naturwissenschaften um solche TLO-Ansätze schlecht bestellt, die im Kern eine 3D-Ontologie implizieren. Neben der auf Bunge aufbauenden BWW-TLO ist das etwa bei den beiden bi-kategorialen TLO-Ansätzen DOLCE und BFO der Fall. Dabei muss dieser Umstand gleich aus zwei Gründen bedenklich erscheinen: zum einen handelt es sich bei diesen drei Ansätzen um die mit Abstand verbreitetsten TLO-Theorieanwärter; zum anderen kommen sie alle auch in wissenschaftlichen Kontexten zum Einsatz und erheben dabei mehr oder weniger explizit den Anspruch einer *Scientific Ontology*. Das gilt für Bunge wie für B. Smith ganz besonders, indem sie im ersten Fall objektive wissenschaftstheoretische Positionen, im zweiten zumindest eine strenge Realitätsrepräsentation postulieren.

Während Bunges materialistische Ontologie in den Naturwissenschaften wenig Anklang findet, und ihre deutliche Inkompatibilität mit den Schlüsseltheorien als problematisch zu

³⁶⁷⁷ Vgl. hierzu etwa die Beiträge in Eastman/Keeton (2004); vgl. auch Burgers (1963), Finkelstein (1973, 1974), Folse (1974, 1981), Riggan (1982), Epperson (2005, 2009), Kallfelz (2009) sowie Klose (2009).

³⁶⁷⁸ Vgl. hierzu auch McHenry (2015).

³⁶⁷⁹ Vgl. etwa Jantsch (1980).

³⁶⁸⁰ Vgl. Eigen (1971, 1973, 1987) bzw. Eigen/Schuster (1977, 1978a, 1978b).

erachten ist, stößt sie in Teilen der Sozialwissenschaften wie in Teilen der Technologien auf grotere Resonanz. Allerdings kann dies nur eingeschränkt gelten. Denn die Bunge-Rezeption bezieht sich in kaum einem Fall auf seinen eigentlichen ontologischen Kern, sondern vielmehr auf den auf diesen aufsetzenden Bungeschen (1979a) *Systemismus*, der weiter unten näher erörtert wird. Mit diesem *Systemismus* ist jedoch an sich gar nicht viel gesagt, indem er im Kern lediglich postuliert: »everything is either a system or a component of one«. ³⁶⁸¹ Dabei ist klar, dass diese ontologische Position gar nicht von Bunge selbst, sondern aus Whiteheads (1929a) *Relationenontologie* hervorgegangen ist. Darin besteht insofern kein unwichtiges Detail, als die Bungesche Variante letztlich einen "*Träger-Systemismus*" markiert, während das Whiteheadsche Original als "*Ereignis-Systemismus*" zu verstehen ist. Mit diesen maßgeblichen Unterschieden, die ontologisch von umfassender Konsequenz sind, setzen sich die Bunge-Verfechter jedoch erst gar nicht auseinander. Für die Informatik ist dies von ontologischer Relevanz, indem sich eine Reihe von Ansätzen unmittelbar wie elementar auf Bunges (1979a) *Systemismus* beziehen, während sie die Implikationen seines emergentistischen Materialismus wie der neo-aristotelischen Natur seines Ansatzes komplett übersehen. Für die Ontologiedebatte unmittelbar relevante Fälle bilden die BWW-TLO bzw. IOMIS-TLO sowie die DEMO-EO. Letztere hat sich ganz dem Bungeschen *Systemismus* verschrieben, expliziert indes nicht, welche genauen Konsequenzen daraus für die Frage der konzeptuellen Modellierung folgen. Dass die genannten CM- bzw. AI-Ontologieansätze mit Bunge schlichtweg völlig falsch beraten sind, offenbart nicht nur sein konstituierendes Moment des *Materialismus*, sondern genauso der damit verbundene "*Träger-Systemismus*". Vor seinem Hintergrund müsste den Bunge-Verfechtern schnell klar werden, dass sich eine solche metaphysische Fundierung für die konzeptuelle Modellierung Cyber-physischer Systeme (CPS) bzw. virtueller Systeme nicht eignet.

Im Zuge jeden *Systems Engineering* stößt Bunges 3D-basierter "*Träger-Systemismus*" schnell an seine Grenzen; diese sind unproblematisch solange es sich bei den Objekten um solche handelt, die lediglich *rein gegenständlich* zu modellieren sind. Aber welche Objekte werden in der Informatik jenseits von Hayes' (1979) "*toy problems*" tatsächlich rein gegenständlich modelliert, wenn ihr Fokus auf ereigniszentrischen Prozessen liegt? Das gilt gerade für den "*Träger-Systemismus*", denn es sind auch gerade physische Objekte, die nur dann sachgerecht modelliert sind, wenn sie *raumzeitlich* konzipiert sind – was sie bei Bunge nicht sind. Bei CPPS der *Smart Factory* ist dies gar nicht anders zu denken, und so auch insgesamt nicht in der *Smart Enterprise Integration* (SEI). Insofern spricht alles dafür, sich dem Original, nämlich Whiteheads (1929a) 4D-basierten "*Ereignis-Systemismus*" zuzuwenden, der für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) verpflichtend ist. Der Grund, dass dies bisher nicht geschieht, ist einfach: das Whiteheadsche System ist mit seiner 4D-Sichtweise gewiss komplizierter als die vermeintlich verständlichere Bungesche (1977a) 3D-Sichtweise. Allerdings sollte man sich auf Basis von letzterer nicht an die konzeptuelle

³⁶⁸¹ Vgl. Bunge (1998a: 348).

Modellierung kritischer Prozesse bei vollautomatisierten Systemen machen. Denn diese stehen immer in kausal-ereigniszentrischen Sequenzen und besitzen entsprechend eine Dimension, die "Furniture-Ontologen" vollständig fremd ist.

Die Popularität des Bungeschen Ansatzes hat vor allem damit zu tun, dass man bisher Informationssysteme modelliert hat, bei denen es mehr oder weniger allein um die "Abbildung" der physischen Realität ging. In vernetzten Welten wie der *Connected Industry* (I40) geht es jedoch um Cyber-Physik, um die kausale Interaktion *Cyber-physischer Systeme* (CPS). Dann stellt sich die Ausgangssituation wie das Anforderungsprofil an eine Referenzontologie zur konzeptuellen Modellierung völlig anders dar. Denn die physische Realität ist nur ein Aspekt, und vor allem kann sie nicht mehr einfach nur räumlich wahrgenommen werden.³⁶⁸² Die physische Realität ist auch deshalb nicht mehr einfach zu modellieren, weil CPS der Realität mitsamt ihrer Sensoren und Aktoren immanent sind, weil sie interaktiv sind, und dabei im Allgemeinen auf Multiagentensysteme (MAS) hinauslaufen, die wiederum eine soziale Realität konstituieren. Wie in Pkt. 3.2.4 dargelegt, muss damit die Ontologiekonzeption der CM- und der AI-Sphäre konvergieren, was somit in erster Linie die *Top-level Ontologie* betrifft. Konventionelle CM-Ansätze werden damit nicht nur mindestens für CPS-Zwecke wie für SEI-Konzepte obsolet – und gleiches gilt für die sie fundierenden metaphysischen Ansätze. Geht es um die CPS-Realität, gibt es zur Whiteheadschen (1929a) Metaphysik und ihrem *4D-basierten "Ereignis-Systemismus"* keine Alternative. Analoges gilt in Bezug auf die erforderliche Korrespondenz mit erfahrungswissenschaftlichen Schlüsseltheorien auch im Hinblick auf *Scientific Ontologies*. Für den naturwissenschaftlich geschulten Ontologen ist die Whiteheadsche (1929a) Metaphysik in ihrer Korrespondenz mit den Schlüsseltheorien gewiss besser nachvollziehbar als die Bungesche, die nur für solche "Furniture-Ontologen" verständlich erscheinen kann, die sich nicht mit den ontologischen Belangen der Cyber-Physik auseinandersetzen bzw. nicht auf dem Stand der dritten Revolution der Physik als *"New Physics"* sind. Ihnen ist in der Tat eine »naive practice with the BWW ontology« zu bescheinigen.³⁶⁸³ Dabei geraten die gängigen BWW-Rekurse insbesondere dann zur Farce, wenn sich diese neben der CM-Sphäre zunehmend ebenso auf die AI-Sphäre beziehen. Die Whiteheadsche Metaphysik ist demgegenüber mit Verweis auf Pkt. 4.2 auch aufgrund ihres Bruchs mit der konventionellen sprachphilosophischen Grammatik für jene Anwender schwer zu verstehen, denen der *Ereigniskalkül* (EC) der formalen Logik nicht zugänglich ist. Im Popperschen (1979) rationalen Streit um die sachgerechte Metaphysikvariante ist Verständlichkeit jedoch kein Argument für metaphysische Richtigkeit.

Schon Bunges 3D-Perspektive ist als fundamentale ontologische Position für die Informatik unhaltbar, indem diese nicht nur mit Pkt. 6.2.5 wesentlichen Anwendungsfeldern diametral widerspricht. Vielmehr ist die Daten- bzw. *Informationsverarbeitung* (Infor-

³⁶⁸² Vgl. auch Al-Debei et al. (2012).

³⁶⁸³ Vgl. Wyssusek/Klaus (2005a: 586).

mation Processing) an sich im Whiteheadschen Sinne zu verstehen. Denn alles in der Informatik ist *Prozess*, was in fundamentaler CPS-Perspektive grundsätzlich *raumzeitliche* Prozesse meint. Entsprechend hat auch die Ontologie der Informatik darauf abzustellen, indem diese – unter Hinweis auf die erforderliche CPSS-Adäquanz – *Computer als "Reality Machines"* aufzufassen hat. Zudem meint der Terminus *Information Processing* gerade in der für Bunge wesentlichen *physikalischen* Hinsicht, dass Signale bzw. *Informationen* verarbeitet werden, nicht *Materie*. Insofern ist Wieners (1948: 155) kybernetische Auffassung von *Information* als eigenständiger physikalischer Größe richtig. Entgegen Bunge lässt sich diese nicht im Trägersinne lediglich auf *Eigenschaften* von Dingen bzw. Substanzen degradieren. In der Konsequenz müsste man das "Bit" mit seinen Zustandswerten selbst als "Substanz" bzw. "Ding" verstehen. Das allerdings ist schon insofern abwegig, als dieses dann räumlich ausgedehnt sein müsste, und das meint Wiener (1948) mit seiner dritten physikalischen Größe natürlich nicht. Wiener (1948) liegt also nicht nur aus Sicht der Informatik richtig, und auch Bunge (1979a: 258) muss einsehen, dass er an Wieners Kybernetik nicht vorbeikommt, indem er sie als »chapter of the general theory of systems as well as of scientific ontology« erachtet. Dann aber ist es um seine eigene Ontologie auch insofern schlecht bestellt. In der Tat ist *Information* nicht nur für die Ontologie der Technopraxis als *eigenständige* physikalische Größe unabdingbar, sondern genauso für die *Scientific Ontology*. Insgesamt ist festzustellen, dass sich die Bungesche Argumentation für die Zwecke der Informatik im Ganzen disqualifiziert. Ursächlich dafür ist sein materialistischer Physikalismus, auf dessen Basis Bunge (1956b) sich von Anfang an den Zugang zur Disziplin verbaut, wenn er behauptet: »Strictly speaking, computers do not compute, machines do not think, but they perform certain physical operations that we coordinate with certain mental processes«.³⁶⁸⁴

Für das richtige Verständnis des Bungeschen Ansatzes ist auch ein Vergleich mit der in Pkt. 5.1 behandelten Ontologie Quines hilfreich. Jenseits von Quines Naturalismus und dessen 4D-Position, die mit Bunges 3D-Variante konfligiert, gilt für beide strenge Wissenschaftlichkeit. Wie Quine ist auch Bunge Verfechter des Naturalismus, was nochmals das Erfordernis einer weiten Auslegung des Naturalismusbegriffs unterstreicht. Wie Quine (2000) setzt auch Bunge den Naturalismus nicht mit dem Physikalismus oder Materialismus gleich, wohingegen beide einen moderaten Physikalismus befürworten. Dabei bildet der Materialismus in Gestalt des Bungeschen (1981) *Scientific Materialism* eine Teilmenge des Naturalismus.³⁶⁸⁵ Ungeachtet seines Naturalismus lehnt Quine in Tradition des mathematischen Strukturalismus Whitehead-Russellscher Provenienz auch den Materialismus *offiziell* ab, denn sein Naturalismus ist im Gegensatz zu Bunge ein strikt methodologischer bzw. mathematischer Naturalismus. Allerdings laufen Quines Positionen, insbesondere sein strenger Empirismus mit Verweis auf Pkt. 5.1 tatsächlich genau auf das hin-

³⁶⁸⁴ Vgl. Bunge (1956b: 219).

³⁶⁸⁵ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 12).

aus, was Bunge (1990a: 590) ihm als "*one-level materialism*" unterstellt. Das liegt zum einen daran, dass Quine wie Whitehead zwar einen mathematischen Strukturalismus vertritt, jedoch keinen ontologischen bzw. metaphysischen. Damit verbunden ist zum anderen dafür ausschlaggebend, dass Quine im strikten Unterschied zu Whitehead einen Nominalismus, keinen Platonismus vertritt. Allerdings sollte dabei nicht übersehen werden, dass auch im Nominalismus im Sinne meta-ontologischer bzw. kategorialer Dispositionen eine metaphysische Position gegeben ist.

Insofern besteht der eigentliche Unterschied zwischen Bunge und Quine tatsächlich weniger im *Scientific Materialism* bzw. *Scientific Realism* als vielmehr in der *emergentistischen* wie *systematisch-metaphysischen* Natur der Ontologie Bunges: Bunge (1990a: 590) stellt nicht nur seinen "*emergent materialism*" Quines "*one-level materialism*" gegenüber, sondern vertritt auch die auf den ersten Blick gewagte Ansicht, dass es sich bei Quine überhaupt nicht um "Ontologie" handelt. Versteht man Ontologie im Sinne der *Scientific Metaphysics* Bunges oder auch nur – wie *de facto* bei Quine – als *Scientific Ontology*, die immer *universale Ontologie* sein muss, hat Bunge in dieser Sache recht. Denn dann muss es sich bei einer universalen Ontologie allein schon zum Zwecke des Abgleichs mit den regionalen Ontologien um ein *universales hypothetisch-deduktives System* handeln, das unter dem Regime des *Ratio-Empirismus* steht. Und das ist bei Quine erwiesenermaßen nicht der Fall, denn das liefe auf die Notwendigkeit der Explikation jener metaphysischen Hypothesen hinaus, die natürlich auch bei Quine gegeben sind. Mit Verweis auf Pkt. 5.1 besteht in dieser Hinsicht der elementare Unterschied zum Whiteheadschen System darin, dass diese Hypothesen nicht expliziert sind, womit unklar bleibt, wie sie bei Quine jenseits eines Ratio-Empirismus laufend verifiziert bzw. falsifiziert werden können. Die Antwort darauf kann nämlich insofern nicht in einem moderaten Physikalismus bestehen, als Bunge wie Quine auf dieser Grundlage zu vollkommen disparaten Hypothesen gelangen, die Quine implizit vertritt. Ungeachtet seines Verzichts auf ein *universales hypothetisch-deduktives System*, wie es mit einer *Scientific Metaphysics* vorausgesetzt wird, ist auch Quines Ontologie völlig durchsetzt von metaphysischen Dispositionen. Neben seinem impliziten Realismus sei nur auf die divergente 3D- (Bunge) vs. 4D-Position (Quine) verwiesen, mit der verschiedenste weitere zusammenhängen, etwa hinsichtlich der Mereologie oder der Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis. Bunge ist vor diesem Hintergrund dem Substanzparadigma, Quine als Whitehead-Schüler hingegen dem Prozessparadigma zuzuordnen. Jenseits dieser maßgeblichen Unterschiede gilt dennoch insgesamt: Bunge (1977a) unterscheidet sich von Quine (1980, 1981) vor allem darin, dass er *explizit* wissenschaftliche Metaphysik betreibt und *offiziell* auf dem Materialismus beharrt, während dies bei Quine in engeren Grenzen beides *implizit* der Fall ist. Und dieser Punkt eint beide Ansätze neben anderen Aspekten darin, dass sie genauer analysiert für die Informatik letztlich völlig indiskutabel sind. Denn sie sind beide fundamental CPS-inadäquat.

Der Naturalismus lässt sich mit Pkt. 5.1 in einer *starken* und einer *schwachen* Version formulieren.³⁶⁸⁶ Im Gegensatz zum schwachen Naturalismus lässt der starke Naturalismus keinerlei Raum für übernatürliche Wesenheiten und fordert positive Gründe dafür, warum man von der Existenz einer ubernatur ausgehen sollte.³⁶⁸⁷ Damit sind allerdings heute vor allem Aspekte wie die Poppersche Welt 3 gemeint, die durch theoretische bzw. mathematische Physiker wie P. Davies (1989b), R. Penrose (1997a) oder G.F.R. Ellis (2004) im Zuge der dritten Revolution der Physik gesetzt sind. Wenn Bunge wie etwa auch Vollmer den starken Naturalismus vertreten,³⁶⁸⁸ ist klar, dass selbst Bunes moderater Physikalismus nicht mit der heutigen theoretischen Physik konform geht. Genauso steht außer Frage, dass Bunge über Vollmers (2000) Forderung nach *Minimalmetaphysik* notwendig weit hinausgehen muss. Oder besser: mit den umfassenden wissenschaftlich-metaphysischen Debatten bei Bunge wird deutlich, was alles im Zuge wissenschaftlicher Metaphysik unter eine solche *Minimalmetaphysik* fällt. Im Grunde ist diese insofern immer ganze Metaphysik, weil sie zum einen System ist, zum anderen alle Metaphysikklassen und Metaphysikansätze zueinander in Konkurrenz stehen und damit der jeweils notwendigen Rechtfertigung gegenüber widerstreitenden Positionen nachzukommen hat. Auch gilt zu berücksichtigen: will man nicht – wie Positivisten – der Philosophie von vornherein eine Existenzberechtigung absprechen, muss die wissenschaftliche Metaphysik als *universale Disziplin* auch für diese einen geeigneten wie zeitgemäßen Zugang eröffnen. Insofern ist es nicht nur um Vollmers (2000) Forderung nach *Minimalmetaphysik* schlecht bestellt, sondern genauso um Bunes Metaphysikvariante, indem sie – im Unterschied zu Whitehead – auch diesen Zugang nicht bieten kann. Richtig ist jedoch, die Klasse-1- und Klasse-2-Metaphysiken rigoros zu überwinden, die in ihrem Infallibilismus inakzeptabel sind. Sie betreffen gerade die Kantische Metaphysikkritik, und diese ist mit Einsteins (1934) Argumenten ernst zu nehmen. Insofern kann die Lösung mit Verweis auf Pkt. 4.1 nur darin bestehen, strikt die techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik einzufordern, die Platz lässt für materialistische wie idealistische Aspekte und empirische wie rationale Argumente.

Bunge vertritt einen *wissenschaftlichen Realismus (Scientific Realism)*, den er als verfeinerte Version des *kritischen Realismus* erachtet.³⁶⁸⁹ Dieser besagt wiederum, dass es möglich ist, annähernd wahre Theorien der Realität zu formulieren; insofern verbindet er für Bunge den Fallibilismus mit dem Meliorismus.³⁶⁹⁰

»[S]cientific realism identifies reality with the collection of all concrete things, i.e., things capable of changing in some respect or other. [...] [I]t postulates the autonomous existence of the external world, admits that we are largely ignorant of it, and encourages us to explore it further, enriching and deepening the fund of factual truths.«³⁶⁹¹

³⁶⁸⁶ Vgl. etwa Kanitscheider (1996).

³⁶⁸⁷ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 8).

³⁶⁸⁸ Vgl. Vollmer (1995: Kap. 2) sowie Bunge/Mahner (2004: 8 f.).

³⁶⁸⁹ Vgl. Bunge (1996: 355).

³⁶⁹⁰ Vgl. Bunge (1996: 323).

³⁶⁹¹ Bunge (2003b: 242 f.), ohne Hvh. des Orig.

Dass Bunge allein *im Umfeld* des *Kritischen Rationalismus* zu verorten ist, diesen jedoch nicht teilt, hat vor allem mit dem in Pkt. 3.5 erwähnten Umstand zu tun, dass der Kritische Rationalismus mit der Transformation subjektiven in objektives Wissen die Existenz der Welt 3 voraussetzt. Bunge aber vertritt im klaren Gegensatz zur pluralistischen Ontologie Poppers einen Materialismus. Somit lehnt Bunge (1990a) ungeachtet seiner emergentistischen Position Poppers *Drei-Welten-Lehre* als "disjoint from science" ab; insbesondere die Welt 3 ist für ihn problematisch, indem für ihn genau umgekehrt zu Popper gilt: »there is no such thing as knowledge independent of the knowing subject«. ³⁶⁹² Für die KR-Zwecke von AI-Ontologien besteht darin indessen eine Basisvoraussetzung, genauso wie für die regionalen Ontologien aktueller Wissenschaftspraxis. Es sei auf die oben genannten Physiker verwiesen, die die Welt 3 voraussetzen. Daneben sollte nicht übersehen werden, dass die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, die nach allgemeiner Auffassung als *Realwissenschaften* zu klassifizieren sind, ebenfalls die Poppersche Welt 3 (wie letztlich auch die CYPO Welt 4) als konstituierendes Moment implizieren.

Im Einklang mit dem methodologischen Naturalismus betreibt Bunge einen ontologischen Naturalismus, »wonach es auf der Welt ausschließlich mit [...] 'rechten Dingen' zugeht«. Es gibt also »keine übernatürlichen Dinge oder Eigenschaften und daher auch keine Wunder«. ³⁶⁹³ Allerdings muss eine solche Definition des ontologischen Naturalismus deshalb als wenig aussagekräftig erscheinen, als darin bereits die Vorbedingungen des methodologischen Naturalismus bestehen. In verallgemeinerter wissenschaftstheoretischer Hinsicht läuft dieser auf den Kritischen Rationalismus hinaus, der analog zur wissenschaftlichen Metaphysik gleiche ontologische Positionen für sich beansprucht. Im Grunde setzt dies jede wissenschaftliche Erklärung im Sinne objektiven Wissens voraus. Mit "Naturalismus" ist dann wie bei Quine ein "Empirismus" bzw. "Realismus" gemeint, wenn Bunge konstatiert: »Der Naturalismus ist für die Wissenschaften keine beliebige Setzung, sondern er wird gleichsam von deren methodologischen Prinzipien erzwungen«. ³⁶⁹⁴ Diese Naturalismusinterpretation findet sich bereits bei R.W. Sellars (1926: 210): »It is evident that the spirit of naturalism is identical with the spirit of science«; und auch für die nachfolgende Sellars-Generation bilden mit W. Sellars (1963: 173) die Naturwissenschaften das Maß aller Dinge: »in the dimension of describing and explaining the world, science is the measure of all things, of what is that it is, and of what is not that it is not«. Entsprechend zeichnet sich der "Naturalismus" bei Quine vor allem – wie bei Wittgenstein – dadurch aus, dass das, was "Realität" ist, mit dem zu korrespondieren hat, was anerkannte naturwissenschaftliche Theorie ist. Und auch in dieser Sache stellen sich bei Bunge mehrfache Probleme ein: Wie oben dargelegt, ist seine Substanzontologie nämlich gerade nicht mit anerkannten naturwissenschaftlichen Theorien kompatibel.

³⁶⁹² Vgl. Bunge (1990a: 589).

³⁶⁹³ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 8).

³⁶⁹⁴ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 9).

Wie unter Pkt. 4 bemerkt, beginnen diese Inkompatibilitäten bereits mit der Urknalltheorie, indem Bunge (2010) diese – seines *emergentistischen Materialismus* ungeachtet – ohne nähere Begründung ablehnt. Physikochemiker wie Prigogine setzen sie jedoch als essentiell voraus,³⁶⁹⁵ und gehen bereits auf dieser Basis – im Gegensatz zu "Furniture-Ontologen" wie Bunge – von einem *ereigniszentrischen Universum* aus. Solche Voraussetzungen sind als *ontologischer Naturalismus* bzw. metaphysische Disposition zu werten; nicht das, was Bunge oben darunter versteht. Aber auch insgesamt ist die Bungesche Position nicht mit den physikochemischen Prozessen von Prigogines *dissipativen Systemen* vereinbar: Mit der Irreversibilität der Nichtgleichgewichtsthermodynamik wird offensichtlich, dass es einen Zeitpfeil der Natur gibt. Dieser spricht dafür, die Zeit als vierte Dimension ontologisch zu berücksichtigen. In diesem Sinne legt die Nichtgleichgewichtsthermodynamik eine 4D-Perspektive nahe, wie sie aus der Relativitätstheorie resultiert. Das widerspricht Bunges Vorstellung, "Dinge" und ihre als Eigenschaften behandelten "Ereignisse" jenseits von Raumzeit definieren zu wollen. Bunge will die 4D-Implikationen von Einsteins Relativitätstheorie nicht akzeptieren.³⁶⁹⁶ Auch gängige Interpretationen der Quantentheorie, der mit C.F. von Weizsäcker (1973a) eine Schlüsselstellung einzuräumen ist, will Bunge nicht anerkennen. Vielmehr sieht er die Quantentheorie im völligen Einklang mit seinem Materialismus. In seinen Augen liefere sie keine subjektivistischen, antirealistischen oder antimaterialistischen Argumente.³⁶⁹⁷ Damit vertritt Bunge eine Gegenposition etwa zu Mach, Wheeler oder Zeilinger sowie zu Heisenberg, Schrödinger oder Weizsäcker. Wenn Bunges eigenwilliger 3D-Materialismus in der modernen Physik kaum zu finden ist, muss er sich an seinem eigenen Anspruch messen, nämlich der *wissenschaftlichen* Ontologie als *allgemeinster* Theorie. Diese steht zwingend unter dem Regime des *Ratio-Empirismus* als revisionärer Metaphysikauffassung. Der Abgleich mit gängigen naturwissenschaftlichen Theorien legt den Schluss nahe, dass das Bungesche spekulative System offensichtlich zu revidieren ist. Insofern schlägt sich Bunges Metaphysik mit ihren eigenen Waffen.

In Sachen Naturalismus ist schließlich festzustellen, dass gewiss nicht nur einige Parallelen zwischen Bunge und Quine, sondern auch zwischen Bunge und Whitehead bestehen. Das betrifft nicht nur die Idee *wissenschaftlicher Metaphysik*, die bei beiden eine *System-ontologie* wie ein Denken in *komplexen Systemen* impliziert. Auch ist bei beiden eine Verbindung zum *Evolutionären Naturalismus* von R.W. Sellars zu sehen: »By its very principles, evolutionary naturalism is opposed to reductive materialism.«³⁶⁹⁸ Oder anders gewendet: »Evolutionary naturalism is not a reductive naturalism.«³⁶⁹⁹ Auf dieser Basis lässt sich für beide wissenschaftliche Metaphysiken die Entstehung von *genuin Neuartigem*

³⁶⁹⁵ Vgl. Prigogine/Stengers (1993: 18).

³⁶⁹⁶ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 67 ff.).

³⁶⁹⁷ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 144).

³⁶⁹⁸ Vgl. R.W. Sellars (1927: 221).

³⁶⁹⁹ Vgl. R.W. Sellars (1922: 19).

voraussetzen, was mit R.W. Sellars (1926) als Hypothese des *Evolutionären Naturalismus* verstanden werden kann:

»The hypothesis which has appeared to us most illuminating is that of evolution. It is the assumption that there is novelty or origination in the world [...]. This thesis has been given various names of much the same import: creative evolution, emergent evolution, epigenetic evolution, originative evolution.«³⁷⁰⁰

Während diese Position des *Evolutionären Naturalismus* mit den Ontologien Bunges und Whiteheads wie mit allen modernen Schlüsseltheorien korrespondiert, entspricht sie demgegenüber nicht dem aristotelischen Werde- bzw. Evolutionsverständnis. Denn genuin Neuartiges im Sinne eines schöpferischen Universums gibt es hier genauso wenig wie komplexe Phänomene, die aus Interaktionsprozessen jenseits der Substanz emergieren. Entsprechend ist die Bungesche Position nur sehr eingeschränkt als Substanzmetaphysik charakterisierbar, nämlich etwa im Sinne von Hübners (2007) *komplexen Substanzen*;³⁷⁰¹ besser ist sie charakterisiert als *systemische Dingmetaphysik*, der ein emergentistischer Materialismus bzw. *Evolutionärer Naturalismus* zugrundeliegt.

Mit dem *emergentistischen Materialismus* Bunges, der sich mit Verweis auf Pkt. 6.2.7 explizit wie maßgeblich vom Emergentismus Hartmanns und Poppers unterscheidet,³⁷⁰² wird deutlich, dass Bunge eine ganz spezielle Spielart von Materialismus und Naturalismus vertritt. In dieser Hinsicht besteht eine nur auf den ersten Blick belanglose Inkonsistenz zwischen dem frühem und späteren Bunge, indem die für die Informatik gerade entscheidende artifizielle Ebene, deren Bedeutung bereits in Pkt. 4.6 im Zusammenhang mit der *Ontologie der Artefakte* deutlich wurde, durch Bunge (1998a, 1998b) erst nachträglich eingefügt wird. In Bunges (1969) ursprünglich emergentistischer Mehrebenenstruktur fehlt diese noch: Räumt man dieser in CPS-Kontexten – unabhängig von der Priorität der Natur bzw. Welt 1 – in Konzeptionsfragen der Metaphysik eine prinzipiell gleichberechtigte Stellung ein, folgt daraus notwendig eine techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik, die Bunges wissenschaftlicher Klasse-3-Metaphysik entgegensteht. Dies muss umso mehr überraschen als es gerade Bunge ist, der das enge Zusammenspiel zwischen Wissenschaft und Technologie betont und sich in methodologischen Fragen um die Technologie verdient macht. Allerdings hätte er diesen Schritt metaphysisch konsequent vollziehen müssen. Doch bietet sein auf materielle Dinge fixierter metaphysischer Ansatz – im Unterschied

³⁷⁰⁰ R.W. Sellars (1926: 362).

³⁷⁰¹ Das gilt indessen allein für die gemeinsame Position *komplexer Substanzen*, wonach »ein komplexes Ding aus den Dingen besteht, die es bilden oder zusammensetzen«, vgl. Hübner (2007: 2, Fn. 1). Ansonsten baut weder Hübner (2007) auf Bunge – als vielmehr etwa auf Chisholm – auf, noch würde Bunge die Positionen Hübners (2007) teilen. Denn diese entsprechen weder Bunges emergentistischen Systemismus noch seiner spezifischen Materialismusvariante. Mit Blick auf den unter den historisch konstituierenden Autonomieaspekten nicht unproblematischen Substanzbegriff erscheint es sinnvoller mit Bunge/Mahner (2004) von *komplexen Dingen* statt von *komplexen Substanzen* zu sprechen. Das gilt zumal der Komplexitätsbegriff bei Hübner (2007) völlig unzureichend geklärt ist und weder eine Verbindung zur wissenschaftlichen Metaphysik noch zur *Theorie komplexer Systeme* aufweist. Vielmehr beschränkt sich Hübner (2007) auf eine Klasse-2-Metaphysik, die gegenüber der Klasse-3-Metaphysik Bunges insbesondere im Hinblick auf den fehlenden *Ratio-Empirismus* inferior ist.

³⁷⁰² Vgl. Bunge/Mahner (2004: 85, 117 ff.); vgl. zur Diskussion der *Emergenztheorien* Poppers und Bunges auch Stephan (1999: 178 ff.).

zum logico-mathematischen Ereigniszentrismus Whiteheads – kein einigendes Prinzip für eine echte Einheit von Wissenschaft und Technologie. Das wird besonders bei artifiziellen bzw. virtuellen Welten Cyber-physischer Systeme deutlich, gilt aber mit Verweis auf Wieners Kybernetik, die nicht umsonst auf Leibniz bzw. Whitehead aufbaut, insgesamt.

Demgegenüber zeigt sich Bunges Naturalismus von genauso speziellem Charakter, indem Bunge (1998b) im Kontext *sozialer Systeme* gerade gegen den Naturalismus Position bezieht. Er wendet sich genauso gegen einen *sozialen Naturalismus* (etwa Biologismus) wie gegen den *Idealismus*. Vielmehr besitzen für Bunge (1998b: 9) sowohl der *Naturalismus* wie der *Historismus* ein "Quäntchen" Wahrheit, womit er ihnen schließlich seinen *emergentistischen Systemismus* als Alternative entgegenstellt. In gleicher Weise grenzt er diesen im Kontext *sozialer Systeme* gegenüber dem *Individualismus* wie gegen den *Holismus* (bzw. *Globalismus*) ab.³⁷⁰³ Wie für die originäre Systemontologie Whiteheads, an der sich Bunge in seinem durch die Epoche des Positivismus motivierten, indessen in CPS-Hinsicht fehlgeleiteten materialistischen Umkehrungsversuch unmittelbar orientiert, gilt insgesamt: »the systemic approach can be successfully employed in all disciplines, from physics and social science to linguistics and mathematics. It is thus [...] a potent science unifier«. ³⁷⁰⁴ Untersucht man den Bungeschen Systemismus genauer, wird deutlich, dass dieser im Sinne dissipativer Strukturen, die aus der Interaktion der Systemelemente emergieren, zwar mit der Whiteheadschen Prozessmetaphysik konform gehen, jedoch nicht mit der Bungeschen Substanzmetaphysik selbst. Denn Ereignisse bzw. Prozesse beziehen sich bei Bunge immer auf die Dinge als solche; projiziert man das Ganze auf komplexe adaptive Systeme (CAS) folgt daraus, dass sich das Geschehen auf Makroebene aus dem metaphysischen Ansatz selbst heraus nicht erschließen lässt. Solche dissipativen Strukturen verlangen nicht nur eine 4D-Perspektive, sondern erfordern vielmehr, dass nicht materielle Dinge die zentrale Kategorie bilden, sondern Ereignisse, bei denen zwischen Mikro- und Makroereignissen zu differenzieren ist. Darüber hinaus ist der *Systemismus* bei Whitehead wie bei Bunge nicht zu verwechseln mit der am Ende von Pkt. 6.1.3 kritisierten *Allgemeinen Systemtheorie*, die in ihrem Holismus durch Bunge grundsätzlich abgelehnt wird.

Im Hinblick auf den Naturalismus weist Bunge darauf hin, dass genau hinzuschauen sei, »um welchen Naturalismus es sich handelt«. ³⁷⁰⁵ Tatsächlich gilt das Erfordernis der genauen Abgrenzung der Naturalismusvarianten umso mehr, als die diversen Naturalismen teils im Widerspruch zueinander stehen. Wie oben ausgeführt, ist das bei Bunge ein *ontologischer Naturalismus*, der zugleich ein *starker* Naturalismus ist. ³⁷⁰⁶ Vor allem aber handelt es sich bei ihm um eine Spielart des *Evolutionären Naturalismus*, der zu einer Mehrebenenstruktur führt, die mit Pkt. 6.2.7 eine elementare TLO-Relevanz besitzt und als solche in der Ontologie der Informatik bereits in verschiedenen Ontologiekonzeptionen Be-

³⁷⁰³ Vgl. zum *Systemismus* in dieser Abgrenzung *sozialer Systeme* Bunge (1983a: 150 ff.).

³⁷⁰⁴ Vgl. Bunge (1998a: 348).

³⁷⁰⁵ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 13).

³⁷⁰⁶ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 7 ff.).

rücksichtigung findet. Dabei gilt diese Relevanz sowohl unter CM- wie unter AI/KR-Gesichtspunkten. In Bezug auf den AI-Gesichtspunkt, der mit H.A. Simons bzw. B. Smithens Gedanken der *Scientific Ontologies* wie insgesamt mit den erwähnten *Semantic E-Sciences* zu assoziieren ist, hilft die Bungesche Ontologie dabei, das zwingende Erfordernis einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* klarer werden zu lassen. Denn auf ihrem wie analog alternativen emergentistischen Konzeptionen wie jener Poppers wird deutlich, dass Ontologie immer *universale* wie *regionale* Ontologie zugleich meint. D.h., dass ihr Zusammenspiel dezidiert zu klären ist, was metaphysisch allein über den Whitehead-Bungeschen *Ratio-Empirismus* der Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysik möglich ist. Klasse-1- bzw. Klasse-2-Metaphysiken sind entsprechend mit Pkt. 4.1 grundsätzlich abzulehnen.

Mit Verweis auf Pkt. 3.3.1 findet sich das ratio-empirische Zusammenspiel zwischen *universaler* und *regionaler* Ontologie auf Ebene der Wissensontologie mit der Referenz aller *Domänenontologien* als regionale Ontologien auf die *Top-level Ontologie* als universaler Ontologie wieder. In diesem Sinne kommt man in CM- wie in AI-Kontexten nicht um den Systemismus und Emergentismus bei Whitehead bzw. Bunge umhin. Diese sind allerdings nur im Grundsatz homogen, weisen jedoch in den entscheidenden Einzelfragen eine grundverschiedene Natur auf: neben den erwähnten Unterschieden auf der Makroebene sind bei Hartmann und Popper im Sinne von Whiteheads Antimaterialismus *alle* emergentischen Ebenen real, während das in Bunges Materialismus allein für die materielle Ebene gilt. Damit ist Bunge bei der Interaktion der Welten bzw. Ebenen im Kontext Cyber-physischer Systeme vor elementare Probleme gestellt. Denn dann müsste Bunge die Konsequenz ziehen und behaupten, dass nur ein Teil von Cyber-physischen Systemen *real* sei, was jedoch offensichtlich seinem eigenen Systemismusgedanken zuwiderläuft. Insofern besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Bungeschen Metaphysik und der technowissenschaftlichen Metaphysik Whiteheads, die zugleich Computer- bzw. Digitalmetaphysik ist. Dennoch hilft die Bungesche Metaphysik nicht zuletzt mit ihren zahlreichen Defekten, die tiefgreifende Systemismus- und Emergenzproblematik zu diskutieren, wobei Bunges (2001a: 75) Emergentismus zwischen folgenden sechs Ebenen differenziert:

1. Physikalische Ebene (Menge aller physikalischen Dinge)
2. Chemische Ebene (Menge aller chemischen Systeme)
3. Biologische Ebene (Menge aller Organismen)
4. Soziale Ebene (Menge aller sozialen Systeme)
5. Technische Ebene (Menge aller Artefakte)
6. Semiotische Ebene (Menge aller symbolischen Systeme)

Mit seinem emergentischen Materialismus vertritt Bunge ein naturalistisch-materialistisches Weltbild, das indessen einen radikalen resp. reduktionistischen Materialismus ablehnt. Vielmehr handelt es sich bei Bunge um einen Pluralismus, um eine Mehrebenenstruktur der "Realität", die er mit dem emergentischen Materialismus zu adressieren sucht:

»*Pluralism: The Multilevel Structure of Reality*. An ontological hypothesis involved in and encouraged by modern science is that reality, such as known to us today, is not a solid homogeneous block

but is divided into several *levels*, or sectors, each characterized by a set of properties and laws of its own. The main levels recognized at present seem to be the physical, the biological, the psychological, and the sociocultural ones. Every one of these may in turn be divided into sublevels. For instance, the main sublevels of the physical level are the physical proper and the chemical sublevels, and the main sublevels of the sociocultural level are the economic, the social proper, and the cultural sublevels. Finer divisions can be introduced and none are clear-cut and rigid.«³⁷⁰⁷

Allerdings besteht ein offensichtlicher Widerspruch in den Realitätsauffassungen zwischen Bunge (1967a) *Scientific Research* und Bunge (1977a) Substanzmetaphysik, in der allein *materielle Dinge* "real" sind. Dabei ist nicht nachzuvollziehen, warum höhere Ebenen nicht bzw. weniger "real" sein sollen, indem diese dem Kosmos genauso inhärent sind, da es sich mit Whitehead in jeder Hinsicht um ein *emergentistisches Universum* handelt:

»A second, related presupposition is that *the higher levels are rooted in the lower ones*, both historically and contemporaneously: that is, the higher levels are not autonomous but depend for their existence on the subsistence of the lower levels, and they have emerged in the course of time from the lower in a number of evolutionary processes. This rooting of the higher in the lower is the objective basis of the possibility of partially explaining the higher in terms of the lower or conversely.«³⁷⁰⁸

Auch ist Bunge mit der "*New Physics*", etwa der *Physik der Evolutionsprozesse* oder der u.a. auf Schrödinger (1944) zurückgehenden *Physik des Lebens und Werdens* in der Position widerlegt, dass die höheren Ebenen für die physikalische Ebene ignorierbar seien. Denn das sind sie schon mit Verweis auf P. Davies' (2006) *Physics of Downward Causation* nicht. Allerdings illustrieren solche Positionen in geeigneter Weise das spezielle Bunge'sche Physikverständnis mitsamt seiner Defekte:

»The two basic ontological hypotheses just referred to are built into the contemporary outlook to the point that they underly the usual classification of the sciences and they dominate more and more our system of higher education. Thus, the scientific psychologist is required to learn more and more biology, and even chemistry and physics, because it is increasingly being recognized that psychical events are rooted in these lower levels; but the psychologist is also required to become conversant with sociology, because we have come to realize the reaction of the sociocultural level on the immediately lower ones: thus, we recognize the influence of religion on food habits and the reaction of the latter on food production. Only physicists are entitled to ignore the upper levels [...].«³⁷⁰⁹

Wenn allein *materielle Dinge* "real" sind, meint Bunge (1991) vor diesem Hintergrund, dass ein *moderater Reduktionismus* dann unproblematisch sei, solange er nur *das Unwesentliche auf das Wesentliche* reduziert. Ähnliche Überlegungen finden sich bereits bei Bunge (1967a: 294); hier zeitigt sich der *moderate Reduktionismus* noch in Gestalt eines *methodologischen Reduktionismus*. Mit diesem sollen höhere Ebenen durch niedrigere erklärt werden, während damit kein *ontologischer Reduktionismus* impliziert ist. Was Bunge unter diesem moderaten Reduktionismus konkret versteht, ändert sich im Zeitablauf. Genauer untersucht erweisen sich Bunge's Positionen als inkonsistent: Während Bunge (1969) behauptet, dass die metaphysische These der Existenz von Schichten bzw. Ebenen »contradicts every shade of monism, for it asserts the originality, hence the irreducibility, of every new level«,³⁷¹⁰ verkehrt sich dies später ins genaue Gegenteil. Der späte Bunge propagiert mit seinem naturalistischen Materialismus demgegenüber das "monistische

³⁷⁰⁷ Bunge (1967a: 293).

³⁷⁰⁸ Ibid.

³⁷⁰⁹ Ibid.

³⁷¹⁰ Vgl. Bunge (1969: 22).

Extrem", nämlich einen "materialistischen Monismus",³⁷¹¹ der *materialistische Ontologie* ist. Die Kernproblematik, die sich hinter diesem Widerspruch Bunges verbirgt, wird weiter unten mit seiner Kritik an Poppers Welt 3 besser nachvollziehbar, indem es hier um die Emergenz und die Frage des Widerstreits von Materialismus und Idealismus geht.

Kernanliegen Bunges ist es, den *Cartesischen Dualismus* von Geist und Materie, der im klassischen Gegensatz von Idealismus und Materialismus mündet, einseitig, d.h. zugunsten des letzteren zu entscheiden.³⁷¹² Bunge geht mit diesem Schritt zu Aristoteles zurück, bei dem die Substanz im Sinne des Hylemorphismus immer *materialistische* Substanz ist. Allerdings geschieht dies mit dem entscheidenden Unterschied, dass im Bungeschen Naturalismus jede Form von Teleologie im streng positivistischen Sinne aufgegeben wird.³⁷¹³ Mit anderen Worten: was sich nicht *auf rein materialistischem Wege* über die Naturwissenschaften erklären lässt, existiert für Bunge im realen Sinne nicht. Die Metaphysik auf *empirische Naturwissenschaft* reduzieren zu wollen, ist jedoch mit Putnam (1983a: 210) ein schwerwiegender Fehler des Materialismus: »The appeal of materialism lies precisely [...] in its claim to be *natural* metaphysics, metaphysics within the bounds of science«. Mit Putnam (1983a: 211) mündet diese Kritik in jener des *Szientismus*, indem er den Materialismus zu Recht als »the dominant contemporary form of scientism« versteht, den er wiederum als »one of the most dangerous contemporary intellectual tendencies« einstuft. Tatsächlich kann weder im Materialismus noch im Szientismus eine geeignete Grundlage der Ontologie bestehen, weil beide das Transdisziplinaritätsmoment unterminieren, auf dem allein eine *ontologische Einheit aller Wissenschaften und Technologien* möglich wird. Diese ist unter semantischem Gesichtspunkt essentiell, indem die *Einheit des Wissens* nicht nur im Sinne der *Semantic E-Sciences* anzustreben ist, sondern vielmehr eine unabdingbare Voraussetzung für die sachgerechte semantische Systemintegration kombinierter Informations- und Wissenssysteme darstellt.

Es steht außer Frage, dass die Bungesche Position nicht nur die Realitätsfrage unzulässig auf rein materielle Aspekte verkürzt, sondern dass diese ganz entscheidend mit dem oben behandelten Problem des "Urstoffs" zusammenhängt. Indessen erscheint es fraglich, ob sich das metaphysische Kernproblem des *Cartesischen Dualismus* tatsächlich zugunsten der materialistischen Substanzidee lösen lässt, zumal idealistische Positionen in der modernen Physik durchaus eine Rolle spielen. Tatsächlich ist dieser Widerstreit genauso wenig zugunsten des Materialismus wie zugunsten des Idealismus auflösbar. Vielmehr ist die Wahrheit in der Mitte zu suchen, wie es den Grundgedanken des Leibniz-Whiteheadschen Antimaterialismus manifestiert. Dieser sucht beide Positionen vor dem Hintergrund des *emergentistischen Universum* miteinander zu vereinen. Demgegenüber bleibt für Bunge Emergenzposition dieser Widerstreit zwischen Materialismus und Idealismus insofern bestimmend, als eine solche Synthese unterbleibt. Entsprechend gilt, dass die Mehrebenen-

³⁷¹¹ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 16).

³⁷¹² Vgl. hierzu Bunge/Mahner (2004: 13 ff.).

³⁷¹³ Vgl. etwa Bunge/Mahner (2004: 221).

struktur Bunges (1969) und der Schichtengedanke N. Hartmanns (1940) vom Prinzip her zwar ähnlich angelegt sind, sich jedoch in wesentlichen Belangen grundsätzlich unterscheiden. Das hängt unmittelbar mit Bunges strikter Ablehnung resp. Hartmanns vehementer Befurwortung idealistischer Momente zusammen.

Dabei ist festzustellen, dass auch Bunge in seinem emergentischen Materialismus verschiedene Organisations-, System- oder Komplexitatsebenen anerkennt und diese gar in eine Verbindung zu den ontologischen Schichten oder Stufen bei Hartmann (1940) bringt.³⁷¹⁴ Auch findet sich in Bunges "Schichtenstruktur der Welt" neben der physikalischen, chemischen und biologischen Schicht eine soziale Schicht,³⁷¹⁵ die er genauso wesentlich adressiert.³⁷¹⁶ Entscheidend ist jedoch, dass Bunge entgegen Hartmann keine *eigenständige* geistige Schicht anerkennen will, weil er mit seinem Materialismus keine immaterielle Sphäre des Geistigen akzeptieren kann.³⁷¹⁷ Es geht hier also um den Gegensatz von Materialismus und Idealismus bzw. um den Cartesischen Dualismus, den Bunge einseitig zugunsten der *res extensa* entscheiden will: »the *res cogitans* is a *res extensa*«. Darin besteht der entscheidende Kern wie maßgebliche Unterschied: Whiteheads Prozessmetaphysik sohnt mit ihren tatsächlich universalen, logico-mathematisch veranlagten metaphysischen Kategorien nicht nur den Subjektivismus und Objektivismus, sondern auch den Materialismus und Idealismus aus. Damit hebt sie den metaphysischen Gegensatz des *Cartesischen Dualismus* genauso wie jenen der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* auch *de facto* auf. Bunge hingegen wählt nicht den Weg der Synthese, sondern geht in seinem Physikalismus im Grunde über Descartes bzw. Newton noch hinaus, indem er den Dualismus insofern für hinfällig erklärt, als er seine physikalisch-materialistische Perspektive genauso auf die *res cogitans* projiziert.

Bunges Mehrebenenstruktur ist insofern potentiell irreführend, als die Ebenen nicht wie bei Hartmann oder Popper tatsächlich sich selbst genügen. Vielmehr repräsentiert Bunges *emergentischer Materialismus* in ontologischer Hinsicht in Wirklichkeit zugleich einen *emergentischen Reduktionismus*; dieser ist dabei eliminativ und reduktionistisch. Denn er eliminiert mentale *Dinge* aus der Welt und reduziert das Psychische auf eine *Eigenschaft* bestimmter *materieller Systeme*.³⁷¹⁸ In der Systematik der Popperschen *Drei-Welten-Lehre* gesprochen wird also versucht, die Welt 3 wie die Welt 2 konsequent auf die Welt 1 zu reduzieren. Dabei ist der Bungesche Reduktionismus in dem Sinne als moderat zu verstehen,³⁷¹⁹ als bei Bunge zwar die Psychologie auf die Neurobiologie, diese aber nicht auf die Physik reduzierbar ist.³⁷²⁰ Bunges Schichtengedanke ist insofern mit Hartmanns Schichtengedanken inkompatibel, als für Bunge außer Frage steht, dass »das Psychische selbstver-

³⁷¹⁴ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 3, 84 f.).

³⁷¹⁵ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 85).

³⁷¹⁶ Vgl. etwa Bunge (1998b, 1999, 2001b).

³⁷¹⁷ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 151).

³⁷¹⁸ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 152).

³⁷¹⁹ Vgl. hierzu auch Bunge/Mahner (2004: 153).

³⁷²⁰ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 152).

ständlich mithilfe der Neurobiologie erklärt werden« muss.³⁷²¹ Zwar sucht Bunge auch sozialpsychologische Aspekte mit in seine Erklärungen des Psychischen einzubeziehen.³⁷²² Inwiefern sich jedoch sozialpsychologische Phänomene tatsächlich hinreichend auf neurobiologischem Wege erklären lassen, bleibt fraglich. Das gilt nicht zuletzt insofern, als für sozialpsychologische Sachverhalte jene institutionellen Strukturen wesentlich sind, denen mindestens für die Belange der Wissensrepräsentation der ontologische Status des *immateriellen Objekts* bzw. *Artefakts* zuzuweisen ist. Es ist somit die Ontologie der Informatik, die entsprechend eine besondere *Ontologie der Artefakte* verlangt, und dabei genau auf das hinausläuft, was bei Popper die Welt 3 ausmacht. Dann besitzen solche Artefakte eine ontologische Existenz, die unabhängig ist von einem "Geist" als materiellem Träger, der sie gerade "denkt". Dabei kann eine solche *Ontologie der Artefakte* gewiss nicht nach Bunge-schem Muster wiederum materialistisch verstanden werden, indem sie sich nicht sinnvoll auf die physikalische Ebene von Computern reduzieren lässt. Im Sinne von Poppers Welt 3 sind solche immateriellen Objekte bzw. Ereignisse real, und sie sind es auch für die Welt 4, indem sie es sind, die die realen, empirisch zugänglichen sozialen Erfahrungsräume wesentlich bestimmen. In einer integrierten Ontologiekonzeption ist damit der Hartmann-Poppersche Schichtengedanke, der den Schichten ihre prinzipielle Autonomie belässt, dem Bungeschen *emergentischen Reduktionismus* zweifellos vorzuziehen. Darauf kommen wir in Pkt. 6.2.7 im Kontext der meta-ontologischen Kriterien der Top-level Ontologie zurück.

Nicht allein mit CYPO FOX, sondern genauso in Bezug auf alle grundlegenden Fragen der Ontologiedebatte und die AI-Ontologie stellt sich der Streit um Poppers Welt 3 als entscheidend heraus. Während bzgl. der Welt 1 – ungeachtet des partiell als Widerstreit aufgefassten Unterschieds zwischen metaphysischem Realismus und Empirismus – weitgehende Einigkeit besteht, zeigen sich die Welt 2 und vor allem die Welt 3 als die entscheidenden Debattenfelder, wenn es um die Frage der CPS- bzw. MAS-adäquaten Konzeption der AI-Ontologie und einer entsprechenden Grundlegung durch die *Top-level Ontologie* geht. Diese Debatte ist umso entscheidender, als Bunge damit nicht nur im fundamentalen Gegensatz zu Popper, sondern auch zu Whitehead steht, die beide durch Bunge entsprechend angegriffen werden. Insofern ist gerade vor dem Hintergrund der Ontologie der Informatik zu klären, inwieweit die scharfe Kritik Bunges an Popper wie Whitehead tatsächlich gerechtfertigt ist. Dabei liegt die Annahme nahe, dass es sich vor dem Hintergrund Cyber-physischer Systeme (CPS) quasi spiegelbildlich verhält, indem nicht die beiden letztgenannten Positionen ins Kreuzfeuer der Kritik gehören – sondern vielmehr umgekehrt die Bungesche Dogmatik. Dabei sollte nicht nur außer Frage stehen, dass die Ontologie der Informatik nicht ohne die philosophische Ontologie diskutierbar ist. Vielmehr ist auch hier entgegengesetzt zu postulieren, dass in der philosophischen Ontologie nichts verstanden ist, wenn die cyber-physischen Sachverhalte der Informatik keine angemessene

³⁷²¹ Ibid.

³⁷²² Vgl. Bunge/Mahner (2004: 153).

Berücksichtigung finden. Anders gewendet: es gibt nur *eine*, nämlich *die Ontologie*, die im Zeichen des IMKO OCF immer als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu verstehen ist. Denn nicht nur die CM-Ontologie der Informatik ist mit ihrem realistisch-strukturellen Fokus eine *metaphysische*, sondern diese ist im kategorialen Sinne von der *Wissensontologie* untrennbar – was für beide Richtungen gilt. Tatsächlich lässt sich erst im Kontext einer CPSS-adäquaten *Top-level Ontologie*, der Integration von CM- und AI-Ontologie wie der Notwendigkeit einer AI-kompatiblen formalen Ontologie die Debatte um die Welt 3 in einer Weise angehen, die alle relevanten Aspekte hinreichend berücksichtigt. Erst im Kontext aller Neumannschen Automatenklassen wird richtiggehend diskutierbar, inwieweit der Bungesche *Materialismus* oder aber der Whitehead-Poppersche *Antimaterialismus* den richtigen metaphysischen Zugang zur Ontologie im Allgemeinen wie zur Welt 3 im Besonderen eröffnen. Das ist zu klären, bevor man sich der eigentlichen AI-Ontologie zuwenden kann, wobei die Automaten bei Computern als "*Reality Machines*" prinzipiell im Sinne Cyber-physischer Systeme (CPS) auszulegen sind. Zweifellos lässt sich keine Grundfrage einer CPSS-adäquaten Ontologie der Informatik sachgerecht klären, ohne diesen Streit um die Poppersche Welt 3, insbesondere auch in ihrer Relation zur Welt 2 und Welt 1 bzw. in MAS-Hinsicht zur Welt 4 entschieden zu haben. Gerade auch in dieser Hinsicht ist die AI-Ontologie immer als *philosophische* Ontologie zu verstehen, womit die *integrierte metaphysische Wissensontologie* insgesamt die einzig universale Perspektive offerieren kann.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass Bunge im Zuge der Debatte um den Popperschen *Drei-Welten-Realismus*, die teilweise im Kontext der Philosophie des Geistes geführt wird, gleich aus drei Gründen falsch liegt, wenn er diesen polemisch als "Monster traditioneller Metaphysik" zu diskreditieren sucht.³⁷²³ Denn bei der Metaphysik, auf die Whitehead wie darauf aufbauend Popper hinauswollen, geht es (i) um Metaphysik, die in einem *intelligiblen Universum* auch *intelligente* Materie voraussetzt. Damit zusammenhängend geht es (ii) weniger um einen klassisch-physikalischen Zugang als vielmehr um einen transdisziplinär techno-wissenschaftlichen Zugang, der sich nicht an einfacher Materie orientieren kann. Damit wiederum verbunden ist (iii) fraglich, ob die Bungesche Perspektive schon mit Blick auf die Realwissenschaften sinnvoll erscheinen kann; also ob diese überhaupt den von ihr selbst beanspruchten Status als Klasse-3-Metaphysik erfüllt. Denn der ökonomischen Disziplin liegen genauso wie verwandten Wissenschaften Entitäten zugrunde, die nicht-materiell sind und Artefakte im Sinne der Welt 3 bilden. Wenn nach allgemeinem Verständnis Realwissenschaften *real* sind, passen Bunges Objekte zumindest nicht unter diese Definition. Denn für Bunge ist ein Objekt »real genau dann, wenn es materiell ist.«³⁷²⁴ Die Realität ausschließlich *materialistisch* definieren zu wollen, ist unter dem wissenschaftlichen Gesichtspunkt der Realwissenschaften also nicht haltbar.

³⁷²³ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 122).

³⁷²⁴ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 64).

Eine ontologische *Einheit der Wissenschaften*, deren Machbarkeit zu Unrecht angezweifelt wird, ist auf einer solch fragwurigen Basis nicht zu realisieren.

Ungleich problematischer wird es, wenn die Ontologie der Informatik ins Spiel kommt und deutlich wird, dass die ganze Bunesche Ontologie unter KR- wie unter CPS-Gesichtspunkten nicht haltbar ist. Das gilt auch dann, wenn Bunge mit seinem emergentischen Materialismus im strikten Unterschied zu anderen Materialismusvarianten »dem Mentalen seine Sonderstellung« belassen will.³⁷²⁵ Denn die Problematik der W3-Artefakte stellt sich im Kontext der Philosophie des Geistes nur bedingt; vollends wird sie erst mit Cyber-physischen Systemen (CPS) sichtbar. Dann ist das Physische, das für Bunge gesetzt ist, notwendig mit dem Virtuellen auf eine einheitliche Basis zu stellen, die nicht reduktionistisch sein kann. Denn für den Systemgedanken ist gerade konstituierend, dass Systeme nicht sinnvoll auf ihre materialistischen Teile zu reduzieren sind. Vielmehr ist das System als solches ontologisch *einheitlich* zu adressieren, indem bei Cyber-physischen Systemen (CPS) über physische Sensorik und Aktorik einerseits und intelligente Agenten andererseits eine unmittelbare kausale Interaktion physischer wie virtueller Welten gegeben ist. Damit konstituieren sich CPS aus Komponenten, die als System gleichzeitig materialistische wie idealistische Züge aufweisen. Für Bunge ist alles Immaterielle an Materie gebunden, denn für ihn gibt es »keine Erkenntnis ohne ein erkennendes Subjekt bzw. kein Wissen ohne ein wissendes Subjekt«. ³⁷²⁶ Wenn es nur *eine* "Ontologie" gibt bzw. geben kann, die letztlich auch bei Bunge *integrierte metaphysische Wissensontologie* ist, wird deutlich, dass sich die Bunesche Position nicht verteidigen lässt. Speziell im KR-Zusammenhang, auf den Popper wie Frege nicht direkt zielen, zeigt sich vielmehr, dass das genau Gegenteilige richtig ist, wenn es um objektives Wissen geht: »Knowledge in the objective sense is *knowledge without a knower: it is knowledge without a knowing subject*«. ³⁷²⁷

Die Ontologie der Informatik verlangt das, was Popper hinsichtlich der Natur des Wissens bereits unabhängig von ihr vorgedacht hat, wenn er eine im metaphysischen Ganzen kosmologischer Aufklärung zu verstehende Epistemologie ohne wissendes Subjekt entwickelt. ³⁷²⁸ Damit wird der Fokus auf eine Epistemologie gesetzt, die auf objektives Wissen und schließlich auf die Einheit allen Wissens zielt. Diese ist im AI/KR-Zusammenhang von besonderer Relevanz, als Popper mit der traditionellen Epistemologie zu brechen sucht, die auf subjektive Erkenntnis bezogen ist. Es ist diese traditionelle Epistemologie, die auch im Zentrum der *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) der AI-Forschung steht. Vor allem zielt diese neue auf die Klasse-4-Metaphysik bezogene Epistemologie auf die Welt 3, nämlich insofern, als objektives Wissen jenes ist, das als Artefakt in die Popperische Welt 3 gehört. Insofern sich dieses Wissen im Kosmos jederzeit aufs Neue *entdecken* lässt, ist es im Sinne des platonischen Ideenhimmels zu verstehen. Darauf kommen wir in

³⁷²⁵ Vgl. Bunge/Ardila (1990: 15).

³⁷²⁶ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 122).

³⁷²⁷ Vgl. Popper (1972a: 109).

³⁷²⁸ Vgl. Popper (1972a: 106 ff.).

Pkt. 6.2.3 zurück. Zwar geht es auch Bunge um Kosmologie; dennoch ist es für ihn unabdingbar, mentale Konstrukte bzw. abstrakte Objekte strikt materialistisch auszulegen. Das wird bei Bunge insofern vollzogen, als für ihn nicht nur alle »Gedanken Gehirnprozesse sind«,³⁷²⁹ sondern gleiches auch für die Sprache gelte: »primary linguistic facts are not grammars but the brain processes of speech production and understanding«.³⁷³⁰ Vor diesem Hintergrund ist nochmals mit Pkt. 3.5 auf Minsky (1997: 25) zurückzukommen, mit dem gilt: »Computer Science [...] will help us understand brains. [...] It will help us learn what Knowledge is. It will teach us how we learn, think, and feel«.

Mit Minsky (1997: 25) wird auch in dieser Hinsicht deutlich, wie sehr Bunge in zentralen Positionen irrt: Ohne Zweifel entspricht Bunges Metaphysik der in Pkt. 4.1 skizzierten *Scientific Metaphysics* und damit seiner eigenen Zuordnung. Damit ist sie vom Grundsatz her nicht nur mit den *Scientific Ontologies* der *Semantic E-Science* kompatibel, sondern läuft im Sinne formaler Ontologie einerseits und Langley/Simons et al. (1987) AI-basierter *Scientific Discovery* andererseits geradewegs auf diese hinaus. Das ist in dem Sinne gemeint, als in der Bungeschen Metaphysik im Kern eine *formale Scientific Ontology* angelegt ist, wohingegen Bunge indes selbst keinen Gedanken auf die Fragen einer Computertologie richtet. Und darin besteht mit Blick auf die Automatenklassen bei J. von Neumann das Problem, indem *maschinelle* Agenten bereits gegenwärtig prinzipiell genauso mindestens zum Teilvollzug und eines Tages durchaus auch zum Komplettvollzug der Wissenschaftspraxis geeignet sind wie *menschliche* Agenten. In Bezug auf exakte digitale Messtechnik bei Multisensorsystemen, die bei 24/7 *round-the-clock operations* an intelligente Multiagentensysteme anschließen, ist darüber hinaus schon gegenwärtig mindestens partielle Überlegenheit zu konstatieren. In Verkopplung mit einer transdisziplinären integrierten Ontologiearchitektur wie CYPO FOX läuft dies auf Superintelligenz der dritten AI-Generation hinaus. So gesehen scheitert Bunge an Minsky (1997: 25), indem die Formalsprachen maschineller Agenten nicht wirklich etwas mit physischen Sprechakten zu tun haben. Bunge (1967a: 92) muss sich an seiner eigenen Metaphysikreflexion messen lassen: »[W]e have not the choice of making metaphysical commitments or of avoiding them, but of adopting a good or a bad metaphysics«. Gute Metaphysik ist jene, deren Ratio-Empirismus über alle Automaten- bzw. Agentenklassen Bestand haben kann; schlechte solche, deren Ontologieverständnis allein auf menschliche Subjekte zugeschnitten ist. Auch das unterscheidet Whitehead von Bunge. Entsprechend stellt sich die Frage, warum in der Informatik überhaupt umfassend auf Bunge (1977a, 1979a) rekurriert wird, wenn seine materialistische Metaphysik in keiner Weise auf AI-Agenten und damit auf den Kern der Informatik abstellt – während dies bei ihrem antimaterialistischen Original, d.h. bei Whiteheads (1929a) *cyber-physischer* Systemontologie, gerade elementar gegeben ist?

³⁷²⁹ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 116).

³⁷³⁰ Vgl. Bunge (1998b: 58).

Diese *Universalität der Metaphysik* in Bezug auf alle Automaten- bzw. Agentenklassen wirkt dabei in all ihre Bereiche hinein und bestimmt all ihre Aspekte. Das sei kurz an dem für Bunge elementaren *emergentischen Reduktionismus* aufgezeigt, der vor diesem Hintergrund nichts weiter als einen ontologischen Irrtum darstellt. Das beginnt damit, dass Ontologie zwar im Sinne Bunges *universale Ontologie* ist, diese jedoch im Zeichen des *Ratio-Empirismus* mit allen *regionalen Ontologien* zu korrespondieren hat. Insofern ist eine Referenz der regionalen Ontologien auf die universale Ontologie angelegt, jedoch keine Reduktion höherer Ebenen auf niedrigere Ebenen bei den regionalen Ontologien selbst. Mit anderen Worten: der ontologische Monismus, der durch Bunge wiederholt gefordert wird, kommt gerade von der *universalen Ontologie* und hat nichts damit zu tun, dass höherer Ebenen auf niedrigere Ebenen reduzierbar sind. Bunge (1969) betont nicht umsonst die Irreduzibilität der Ebenen und in der Tat ist keine von Bunges (2001a) sechs Ebenen sinnvoll reduzierbar: Das gilt selbst für seine letzte sechste Ebene, die *semiotische Ebene*, die mit Bunge (1998a) neben der Syntaktik und Pragmatik auch in klassischerweise die *Semantik* umfasst. Mit Blick auf die *Semantic E-Science* steht dabei bei *maschinellen* Agenten außer Frage, dass diese weder sinnvoll etwa auf Gehirnprozesse *menschlicher* Agenten zu reduzieren ist, indem sie als semantisches Netz bzw. als Wissensontologie mitsamt von Regeln und Axiomen wiederum für sich selbst ein formallogisches *System* bildet. Dabei hat dieses in seiner Semantikstruktur mit der jeweilig repräsentierten Weltstruktur zu korrespondieren, womit der Systemcharakter als solcher immer erhalten bleiben muss.

Die Ontologieforschung der Informatik besitzt gegenwärtig vor allem aus dem Grunde nicht die Reife, um tieferliegende ontologische Probleme zu erkennen, weil sie Ontologie entgegen dem IMKO *OCF* gerade nicht als *integrierte metaphysische Wissensontologie* begreift.³⁷³¹ Doch das ist sie faktisch, wenn alle Wissensontologie, selbst die linguistische im Sinne deskriptiver Metaphysik, auf der ganzen Linie mit Metaphysik durchsetzt ist. Dann unterscheidet sich gute Wissensontologie von schlechter wiederum dadurch, dass diese metaphysischen Fundamente im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* vollständig freigelegt, verstanden und eingehend begründet werden. Allerdings ist die Ontologie der Informatik von diesem eigentlich erforderlichen Status quo, der mit Blick auf hochautomatisierte AI-Systeme elementaren Rang besitzt, heute weit entfernt. Das gilt auch dann, wenn es Ausnahmen wie Sowa (2000) gibt, der zumindest grundsätzlich das Erfordernis erkennt, die unabdingbare Explikation der Metaphysik mit der für diese ebenso elementaren Wissensontologie zusammenzubringen. Da in dieser Sache offenbar ein umfassenderer Klärungsbedarf besteht, liegt im dritten und vierten, in diesem fünften wie im nachfolgenden sechsten Teil das Hauptaugenmerk entsprechend auf drei Aspekten: (i) zunächst muss es darum gehen, überhaupt für die große Problematik der Heterogenität bzw. Inkommensurabilität, die zwischen einzelnen Ontologieansätzen besteht, zu sensibilisieren. In der TLO-Inkommensurabilität besteht dabei mit Verweis auf Pkt. 1.2

³⁷³¹ Analoges gilt gewiss für die *philosophische* Ontologie, indem beide als *kategoriale Ontologie* eins sind.

das ontologische Kernproblem, das gerade in Bezug auf das autonome "*Reality Computing*" gegeben ist. Darauf aufbauend ist (ii) herauszuarbeiten, dass die Ursachen dafür letztlich im Sinne von McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" *metaphysischer* Natur sind, und sich entsprechend nur im Zuge der Metaphysik selbst klären lassen. Damit ist (iii) offensichtlich, dass McCarthys (1995) Frage nach dem sachgerechten "*general world view*" letztlich auf die Frage nach der adäquaten metaphysischen Fundierung der Informatik und damit auf jene nach dem sachgerechten Metaphysikverständnis als solchem hinausläuft. Während Klasse-2-Metaphysiken mit ihren linguistischen Defekten wie mit ihrem fehlenden Ratio-Empirismus als Grundlegung der Informatik letztlich indiskutabel sind, muss es mit diesem Pkt. 5.3 darum gehen, aufbauend auf Pkt. 4.1 den maßgeblichen Unterschied zwischen der Klasse-3-Metaphysik (Bunge) und der Klasse-4-Metaphysik (Whitehead) herauszuarbeiten. Schließlich ist zu zeigen, dass allein die Klasse-4-Metaphysik als Computer- bzw. Digitalmetaphysik für die Grundlegung der Ontologie der Informatik in Frage kommt. Dabei läuft die *integrierte metaphysische Wissensontologie* des IMKO OCF auf die in Pkt. 3.5 erörterte Ontologiearchitektur von CYPO FOX hinaus, indem sich eine techno-wissenschaftliche Metaphysik, die zugleich CPS- bzw. MAS-adäquate Digitalmetaphysik ist, allein auf Basis einer solch emergentistischen Vier-Welten-Ontologie für den CPST- bzw. IoX-Hyperspace begründen lässt.

Erst im Zuge einer tiefergehenden Ontologiedebatte wird ersichtlich, dass die These, wonach man die verschiedensten Ontologiekonzeptionen der Informatik einfach nebeneinander betreiben kann, in keiner Weise haltbar ist. Vielmehr wird an der Kritik der aristotelischen wie der Bungeschen Ontologie deutlich, dass man sich entscheiden muss für bestimmte meta-ontologische Dispositionen bzw. für spezifische Kategorien einschließlich ihrer jeweiligen Verhältnisbestimmung in Form metaphysischer Kategoriensysteme. Die Grundsatzentscheidung besteht dabei in jener zwischen Substanz- vs. Prozessontologie, hinter der die Substanz- vs. Prozessmetaphysik als spekulative Systeme stehen. Es ist insofern ein schwerwiegender Trugschluss mit Milton/Kazmierczak (2006) zu glauben, es gäbe keinen "Gold Standard" für die Ontologie der Informatik – und damit im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF für die Ontologie überhaupt. Natürlich gibt es diesen, wenn auch nur prinzipiell bzw. nicht in Form der heutigen Ontologiekonzeptionen. Denn sie alle sind defizitär bzw. defekt, wie es im Zuge der exemplarischen Darlegung der Defizite und Defekte in Pkt. 7.3 ersichtlich wird. Stellt man indessen diese Defizite und Defekte systematisch ab und bringt sie auf die tragfähige Synthese einer integrierten Ontologiekonzeption, ist der "Gold Standard" realisierbar. Darin sollte mit Pkt. 8.4 ein zentrales Ziel der weiteren Ontologieforschung bestehen. Denn letztlich kann es für die Zwecke der Informatik *nur eine sachgerechte* universale Ontologie geben, wenn ihre ontologischen Szenarien zuvorderst *integrative Ziele* verkörpern, und sich die Systemintegration zunehmend auf kombinierte Informations- und Wissenssysteme erstreckt. Die große Konfusion, die auf einem Nebeneinander inkommensurabler Ontologieverstand-

nisse und Ontologiekonzeptionen beruht, ist vor dem Hintergrund solcher Systemintegrationen für die Disziplin inakzeptabel. Vielmehr muss gerade in ontologischer wie semantischer Hinsicht alles mit allem zusammenspielen, und das bei prinzipiell hochautomatisierten kritischen Prozessen. Dennoch ist das geeignete Referenzszenario im komplexesten wie diffizilsten ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenario der Informatik zu suchen, das mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in komplexen U-PLM-Systemen mitsamt ihrer diversen CPS-Varianten (CPPS usf.) und IoT-Produkten auszumachen ist.³⁷³²

Damit ist evident, dass eine zukunfts offene Ontologiekonzeption allein in einer integrierten Ontologiekonzeption bestehen kann, die als solche entsprechend mächtig ist. Diese Mächtigkeit ist jedoch gewiss nicht gegeben, wenn sich neo-aristotelische Ontologiekonzeptionen wie die Bungesche einseitig auf die physisch-empirische Seite des Universums beziehen, und mögliche Welten genauso außen vor lassen wie die logico-mathematische Seite des intelligiblen Universums. Eine mächtige Ontologiekonzeption muss beide Modi beherrschen, alle Spielarten können. Vor allem aber müssen diese Modi samt ausdifferenzierter Submodi klar separierbar sein, wie es bei CYPO FOX angelegt ist. Keine Ontologiekonzeption kann den ontologischen "Gold Standard" bilden, die nicht CPS- bzw. MAS-adäquat ist, woran neo-aristotelische Ontologiekonzeptionen genauso scheitern wie solche, die auf der analytischen Metaphysik gründen. Erste versagt am Cyberspace, letzte an der Realität. Insofern ist die *eine richtige*, d.h. CPSS-adäquate Ontologiekonzeption als "Gold Standard" auf dem *Ratio-Empirismus* wie dem *logico-mathematischen Prozessuniversum* der Klasse-4-Metaphysik als techno-wissenschaftlicher Digitalmetaphysik zu begründen. Nur sie kann der synthetischen bzw. erweiterten Realität des CPST- bzw. IoX-Hyperspace gerecht werden, mithin tatsächlich universal sein.

Mit der zentralen Relevanz der Welt 3 kommen wir auf Poppers Epistemologie zurück, bei der es sich insofern um die zur Computer- bzw. Digitalmetaphysik passende Erkenntnistheorie handelt, als sie Wissen als *objektives* Wissen zulässt, also »*knowledge without a knowing subject*«. ³⁷³³ Das ist dann zutreffend, wenn es um *Scientific Ontologies* geht, bei denen es sich in methodologischer Hinsicht um spezifische Domänenontologien handelt. Poppers Epistemologie ist mit solchen KR-Ontologien kompatibel, während es die Bungesche insofern nicht sein kann, als diese Position zugunsten seines *emergentischen Reduktionismus* als Option entfällt:

»An important metaphysical consequence of our view of cognition is that there is no knowledge in itself, that is, separate from the cognitive processes occurring in some nervous system or other. This, of course, is at odds with the idealist tradition«. ³⁷³⁴

Wenn sich also die BWW-Ontologie auf Bunge bezieht, ist ein solches Unterfangen streng genommen schon insofern von vornherein zum Scheitern verurteilt, als die zugehörige Epistemologie überhaupt kein von menschlichen Individuen separiertes Wissen zu-

³⁷³² Vgl. hierzu etwa Abb. 2 unter Pkt. 1.5.1.

³⁷³³ Vgl. Popper (1972a: 109).

³⁷³⁴ Vgl. Mahner/Bunge (1997: 64).

lässt. Das indessen setzt jedes Computersystem ontologisch voraus. Diese Feststellung besitzt umso mehr Relevanz, als die BWW-Ontologie mit Evermann (2009) nicht nur einen CM-, sondern auch einen AI-Anspruch artikuliert. Damit versteht sie sich als genuine *Computerontologie*, die ihre metaphysische Bezugsbasis jedoch in keiner Weise hergibt. Wenn Bunges Metaphysik eines nicht ist, dann ist es eine Computerontologie; sie ist auf den Vollzug menschlicher, methodologisch objektiv gesicherter Wissenschaftspraxis ausgelegt und auf nichts anderes. Sie ist jenseits des separaten Bungeschen Technologiegedankens insofern nicht einmal auf die menschliche Handlungspraxis zugeschnitten, als selbst *menschliche* Agenten mit ihrem subjektiven Standpunkt im Sinne des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* in ihr gar nicht vorkommen. Sie zielt allein auf die physisch-materielle Realität, nicht aber auf die synthetische Realität der Cyber-Physik; sie zielt in ihrem strengen Materialismus und Naturalismus mit Mahner/Bunge (1997) lediglich auf natürliche Organismen, nicht aber auf die Realität künstlicher Organismen, wie sie die AL-Forschung in der starken AL-Variante voraussetzt. Sie ist natürlich keine Digitalmetaphysik; sie zielt nicht auf Automaten im Allgemeinen oder Robotik im Speziellen, auf 4D-basierte mobile Roboter in ihrem Endurantismus ohnehin nicht, und insgesamt in keiner Weise auf H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial*. Warum bemuhnt man sie dann als Computerontologie? Die Antwort liegt auf der Hand, indem sie mit allen anderen bemuhnten Philosophien der Informatik genauso deutlich wird: weil die Informatik ihre Leibniz-Whiteheadsche metaphysischen Wurzel nicht versteht. Das beginnt bereits mit ihrem Ur- bzw. Grundstoff der *Information*, was mit dem IMKO *OCF* genauso für Daten wie für das Wissen, für Automaten und Agenten, für Perzeption und Kognition, für das cyber-physische Realitätsverständnis usf. gilt. Alles das ist digitalmetaphysisch in universaler Weise und nicht anders zu erschließen, und wenn die Informatik bis heute davon absieht, steht sie als Disziplin auf tönernen Füßen. Ohne ein tiefes Verständnis dieser Digitalmetaphysik als Ursprungsparadigma können selbst ausgewiesene Ontologen der Informatik nicht verstehen, was eine an der Cyber-Physik zu orientierende Computerontologie überhaupt ausmacht. Sie können nicht verstehen, dass die Metaphysik der Informatik gewiss keine durch Leibniz und Whitehead gerade abgelehnte deskriptive Metaphysik sein kann. Sie kann nur *revisionäre Metaphysik* sein, dann aber keine materialistische, wie sie Bunge vorgelegt hat. Genauso bleibt damit unklar, welche zentrale Stellung ihr im Sinne des IMKO *OCF* in der Disziplin eigentlich zukommt, indem alle strukturalistischen Aspekte und Technologien von dieser metaphysischen Basis der Informatik ausgehend einheitlich zu entwickeln sind.

Alle abstrakten Objekte benötigen bei Bunge ein denkendes *menschliches* Subjekt, womit ihnen keine eigene Existenz zugeschrieben werden kann. Denn für Bunge besteht in der "Autonomie" platonistischer Ideen ein ganz zentrales Problem.³⁷³⁵ Wenn die Informatik jedoch mit ihrer zentralen Voraussetzung eines mathematischen Universums, mit Zuses (1982) *Computing Universe* resp. Zuses (1993) *Rechnenden Raum* (Cellular Structured

³⁷³⁵ Vgl. Bunge (1998b: 58).

Space) und damit mit der Automatentheorie bzw. *Theorie zellulärer Automaten* auf der Metaphysik Platons wie Leibnizens aufsetzt, folgt daraus eine offensichtliche Inkompatibilität zur Metaphysik bzw. Ontologie Bunes. Das haben Wand/Weber (1989b, 1990a) übersehen, indem sich die konzeptuelle Modellierung selbstverständlich gerade auf AI-basierte Systeme beziehen können muss. Entsprechend kann man sich auch nicht auf die Position berufen, dass die auf Bunge aufbauende BWW-Ontologie für Teilbereiche, etwa die konzeptuelle Modellierung als solche einsetzbar ist, indem die CM- und die AI-Sphäre prinzipiell immer aufs engste miteinander verflochten sind. Insbesondere gilt das für CPS-basierte *"Reality Machines"*, deren Sensorik im IoX-Hyperspace im Zeichen von *Event Streams* steht, womit die für CM-Zwecke (vgl. Pkt. 3.2.2) eingesetzte *Top-level Ontologie* mit jener identisch sein muss, die für SCEP-Zwecke (vgl. Pkt. 6.2.1) Verwendung findet.

Bunes Metaphysik ist mitsamt Ontologie und Epistemologie mit der KR-Idee unverträglich und steht in einem unmittelbaren Widerspruch zu dem nichtmaterialistischen Realismus abstrakter Objekte bei Popper. Es ist jedoch dieser, den die Informatik mit einer CPSS-adäquaten Ontologie letztlich voraussetzen hat. Bunes Kritik zielt auf alle Ansätze, die abstrakten Objekten eine eigene Existenz zuweisen, etwa auf Platons "Reich der Ideen", Hegels "objektiven Geist", Hartmanns "geistige Schicht" oder Poppers "Welt 3".³⁷³⁶ Konsequentermaen ist hier noch Freges Dritte Welt zu ergänzen. Damit stellt sich für Materialisten wie Bunge die Frage: »Abstrakte Objekte [...] sind zwar nicht real [...], aber irgendwie "gibt" es sie doch [...]. Wenn sie nicht real existieren, auf welche Weise existieren sie dann?«. ³⁷³⁷ Wenn es sie jedoch "gibt", sind sie im Sinne der ontologischen Kernfrage *"Was gibt es?"* jedoch offensichtlich zu berücksichtigen. Dabei sei nochmals daran erinnert, dass Metaphysiker wie J. Kim et al. (2012: 3) mit Blick auf eine komplette Ontologie gar die Berücksichtigung *fiktionaler* Objekte fordern, indem etwas über sie ausgesagt werden kann. Diese Position, die mit Meinongs (1913) *Objekttheorie* konform geht, wird den vielfältigen ontologischen Anforderungen der Informatik gewiss in vielen, jedoch nicht allen Hinsichten besser gerecht als das für sie untragbare Ontologieverständnis Bunes. Wenn Bunge einwendet, dass es keinerlei empirische Belege für die Hypothese geben kann, dass solche Ideenwelten losgelöst von lebenden Gehirnen existieren,³⁷³⁸ macht er die Rechnung ohne die AI-Ontologie. Dennoch ist der Aktualismus mitsamt des objektiven Ontologieverständnisses Bunes zu retten, was beides unter dem ontologischen Regime von CYPO FOX möglich wird.

Computerwelten offenbaren in ihrer logico-mathematischen Strukturiertheit, dass Ideenwelten als Möglichkeit in den logico-mathematischen Strukturen des Kosmos angelegt sind. Dazu gehört letztlich auch die Möglichkeit, überhaupt etwas über das Universum logisch aussagen zu können. Damit lässt sich ontologisch insofern nicht von der Existenz der Logik abstrahieren, als ihre Wahrheiten genauso Bestandteil des Kosmos sind wie ma-

³⁷³⁶ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 124).

³⁷³⁷ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 12).

³⁷³⁸ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 124).

terielle Dinge. Das ist im Sinne der synthetischen Realität zu verstehen, indem diese Wahrheiten Bestandteile technologischer Baupläne (W3-Realität) sind, die in Form physischer Artefakte (W1-Realität) real werden. Mit diesen Existenzaussagen unterstellt man nicht nur den materiellen Dingen Existenz, sondern setzt gleichzeitig voraus, dass sich überhaupt etwas über sie logisch aussagen lässt. Das eine ist also nicht vom andern separierbar; es gibt nur grundsätzlichere und weniger grundsätzliche Hypothesen. Insofern ist es nicht nur richtig sondern auch konsequent, objektives Wissen ontologisch als Artefakte der Welt 3 zu behandeln. Denn diese sind als die oben erwähnten Baupläne der physischen Artefakte der Welt 1 zu verstehen, die damit nicht nur eine physische Realität, sondern auch eine synthetische Realität verkörpert. Von dieser ist zu sprechen, wenn Artefakte unmittelbar in die Natur eingebettet sind und dabei ganz oder teilweise materiell existent, d.h. im Bungeschen Sinne real sind. Poppers in Pkt. 3.5 bemuhetes Beispiel des Hausbaus hilft hier weiter: das realisierte Haus ist physisch real, womit das Artefakt komplett in die Welt 1 gehört; sein Bauplan hingegen in die Welt 3. Die Beziehung ist hier implizit, d.h. nicht unmittelbar kausal. Anders gestaltet sich diese Relation bei Cyber-physischen Systemen (CPS); sie gehören mit ihrem materiellen Teil in die physische Welt 1, während ihre Steuerungslogik Teil der Welt 3 ist, jedoch im Systemsinne genauso real ist. In kausaler Hinsicht ist die Welt 3 dann gar der für die Prozesse der physischen Welt relevantere Teil, indem die Steuerungslogik für die jeweilige physische Umweltinteraktion bzw. für kausale Wechselwirkungen entscheidend ist. Poppers Beispiel ist vor diesem Hintergrund in der ganzen Dimension von H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* zu denken. Das betrifft unmittelbar den CPST- bzw. IoX-Hyperspace und damit die Frage der realen Existenz Cyber-physischer Systeme (CPS).

Das Wesen der synthetischen Realität hängt an der Art der Artefakte; ist die Informatik mit Programmen im Spiel, stellt sie sich im Fall Cyber-physischer Systeme (CPS) als fortwährendes Wechselspiel zwischen W1- und W3-Sphäre dar. Programme im Kosmos als Automatenuniversum können mit Verweis auf das in Pkt. 1.5.1 behandelte 4D-Printing eine unterschiedliche Stellung im ontologischen Weltgefuge bedeuten. Dabei ist die dort vollzogene Differenzierung der zwei Denkschulen zentral: Im ersten Fall ist die Programmierung external von der Materie gehalten (Welt 1), während sie im zweiten Fall im CPS-Sinne als Prozessor der Materie inhärent ist (W1-W3-Interaktion). Ein selbstfaltender Origami als Beispiel für den ersten Fall ist gewöhnliche Physik, allerdings ist ihm im Ganzen im Zeichen der *ex ante Programmierung* mit der physikalischen Basis bei Bunge nicht beizukommen, indem bei ihr nicht im platonistischen Sinne von der logico-mathematischen bzw. strukturalistischen Form auf die Materie zu schließen ist, sondern nur umgekehrt Materie im Sinne des aristotelischen Hylemorphismus ausgeformt werden kann. Bereits im Zuge des 4D-Printing wurde in Pkt. 1.5.1 festgestellt, dass in jeder techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik allein die *Form* primär sein kann, und genau das hat die Metaphysik der Informatik vorauszusetzen. Damit ist bei ihr ontologisch

all das zulässig, was sich auf Basis mathematischer Logik repräsentieren lässt. Allerdings verlangt diese Position zwingend die Abgrenzung verschiedener Welttypen bzw. Weltmodi. Denn die Existenzfrage ist selbstverständlich bzgl. der W1A-Ontologie, bei der es um *ontisch-aktuale Entitäten* geht, anders zu beantworten und auf Wahrheit überprüfbar als etwa bzgl. der W2F-Ontologie, bei der es um *epistemisch-fiktionale Entitäten* geht. Das ist in Bezug auf die Wahrmacher (Truthmakers) in Pkt. 6.2.8 von zentraler Relevanz.

Insgesamt zeigt sich, dass die Behandlung von abstrakten, selbst fiktionalen Objekten bei der Abgrenzung von Welttypen unkritisch ist. Wenn alle ontologischen Fragen der Top-level Ontologie im Sinne formaler Ontologie in der philosophischen Ontologiedebatte zu berücksichtigen sind, ist Bunge zahlreichen fundamentalen Irrtümern aufgesessen. Denn die Evaluierung der TLO-Theorieanwärter offenbart, dass in der Ontologie der Informatik all diese Objekte zum Zuge kommen, nicht allein solche, die unter Bunes W1A-Modus fallen. Insofern ist Poppers *Drei-Welten-Lehre* gesetzt und mit CYPO FOX um die vierte Welt ergänzt als universale CPST-adäquate Ontologiearchitektur der Informatik umzusetzen. Dabei eröffnet die CYPO-Ontologiekonzeption – mitsamt ihrer Submodi wie W2F oder W3P – eine genaue Klassifizierung aller Ontologien, womit bei gleichzeitiger TLO-Referenz jeder ontologische Konflikt vermeidbar ist. Indessen ist Bunge in dem Punkt zuzustimmen, der sich auf den W1A- bzw. W4A-Modus bezieht: Bunes Kritik macht deutlich, dass auch die Informatik einen Modus benötigt, der *streng empirisch* gehalten ist. Genauer besehen folgt daraus das Erfordernis *zweier streng empirischer Modi*: Legen wir die strengen, an sich berechtigten Buneschen Maßstäbe an, ist Ontologie im W1-Modus allein klassisch im Zeichen sinnlicher Wahrnehmung und räumlicher Ausdehnung zu verstehen, und damit *physischen* Objekten vorbehalten.

Anders gewendet handelt es sich bei dem durch Bunge und Quine in positivistischer Tradition einseitig verfolgten W1-Modus, dessen Berechtigung wie dessen Priorität gerade auch für Popper außer Frage steht, allein um einen *physisch-materialistischen* Modus. Es handelt sich damit und unter Verweis auf Abb. 8 in Pkt. 3.5 um den Modus der *Natürlichen Welt*, die als physisch-materiale Welt die naturwissenschaftliche Welt ist. Es ist offensichtlich, dass dieser ontologische Modus mit jenem der *Sozialen Welt* inkompatibel ist, doch ist diese genauso *empirisch* zugänglich wie die Natürliche Welt. Dabei bestehen die Unterschiede zwischen beiden empirischen Welten nicht zuletzt darin, dass für die *Soziale Welt* im Sinne Searles (1995, 2005) *Institutionen* als *abstrakte Objekte* konstituierend sind. Der W1-Modus lässt solche Objekte jedoch nicht zu, weil in ihm *ex definitione* nur das existiert, was sinnlich wahrnehmbar bzw. räumlich ausgedehnt bzw. räumlich lokalisierbar ist. Und das sind Institutionen wie andere abstrakte Objekte nicht. Sie sind immateriell, wengleich für die Soziale Welt durch und durch bestimmend, womit sie offenbar nach ihrem eigenen empirischen Modus verlangen. Das gilt umso mehr als solche abstrakten Objekte für Bunge nicht "real" sind, die Sozial- bzw. Wirtschaftswissenschaften dennoch unter die *Realwissenschaften* fallen. Dieser durch W3-Artefakte bzw. abstrakte Objekte

bestimmte zweite empirische Modus besteht mit Pkt. 3.5 im W4-Modus der *Sozialen Welt*, der auch insofern an den W3-Modus anzuschließen ist, als er diesen voraussetzt.

Abstrakte Objekte bilden indessen für Bunge nichts weiter als *Fiktionen*, was mit Blick auf Searles (1995, 2005) *Institutionen* als *abstrakte Objekte* auf ein diffuses Fiktions- bzw. Realitätsverständnis hindeutet. Für Bunge sind jedoch solche und andere abstrakten Objekte *keine realen Entitäten*; nach seinem Dafürhalten sind sie nicht Teil der realen Welt.³⁷³⁹ Vielmehr gilt für ihn: »The world is composed exclusively of things (i.e., concrete or material objects)«. ³⁷⁴⁰ Ontologie umfasst jedoch weit mehr als die Entitäten des W1-Modus, womit die großen Metaphysiker wie Platon oder Leibniz gewiss weitsichtiger sind als Bunge. Alles, was zur formalen Ontologie der Informatik gehört, ist in der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* im IMKO OCF insgesamt zur Ontologie zu zählen. Insbesondere impliziert jede sachgerecht konzipierte Metaphysik genau ein Kategoriensystem, auf das die philosophische Ontologie wie die *Top-level Ontologie* der Informatik einheitlich referenzieren. Natürlich ist die *universale Ontologie* eins. Entsprechend kann es – möglicher Welten ungeachtet – letztlich nur eine richtige *universale Ontologie* geben, indem diese den Kosmos ontologisch sachgerecht repräsentieren können muss: Jene Ontologie ist allen andern "überlegen", die im Popperschen (1979: 218) Sinne seiner eigentlichen Essenz am nächsten kommt. Das ist auf Basis der revisionären Metaphysik systematisch zu evaluieren. – In der Welt 3 sind alle wahren Sachverhalte im Sinne objektiven Wissens "real"; insofern sind abstrakte Objekte dann keine "Fiktionen", wenn sie notwendige Bestandteile wahrer Aussagen bilden. In diesem Sinne baut objektives Wissen auf der Korrespondenztheorie als Wahrmacher auf. Andere abstrakte Objekte vermögen logisch "möglich" zu sein, sind aber gegenwärtig nicht als W3-Objekte "real", wiederum andere mögen tatsächlich im Sinne Bunes "Fiktionen" sein, wenn sie faktisch nicht instantiiert sind.

Vor diesem Hintergrund wurden in Pkt. 3.5 die verschiedenen Submodi der vier Welttypen differenziert, also etwa W3A, W3P, W3F usw. Diese Submodi haben nicht zuletzt die Bewandnis, alle Welt- bzw. Ontologiemodi in abgestufter Weise als Realitatssphare begreifbar zu machen. Im Gegensatz zu Bunge, der allein Materielles für "real" hält, benötigt die Informatik ein anderes Realitätsverständnis, wonach gilt: unmittelbare Realität = aktuelle Welt. Daraus folgt: alle Entitäten, die *ontisch* in aktuellen Welten stehen, sind unmittelbar "real" (W1A, W3A, W4A). Alle Entitäten, die *epistemisch* auf aktuelle Welten bezogen sind, bilden eine unmittelbare dezidierte "Realitatsvorstellung" (W2A). In diesem Sinne ist der W2A-Modus *strikt* realitätsbezogen, bezieht sich jedoch gleichzeitig auf die W1A-, W3A- sowie W4A-Realität, also auf alle ontisch aktuellen Entitäten. Real ist also nicht nur das Physische (W1A) wie bei Bunge, sondern im kausalen Sinne genauso technologische Artefakte (W3A) sowie schließlich auch die soziale Realität (W4A). Diese drei ontisch aktuellen Welten erweisen sich dabei als unmittelbar kausal interdependent. Dieses

³⁷³⁹ Vgl. Mahner/Bunge (1997: 6).

³⁷⁴⁰ Ibid.

Realitätsverständnis entspricht grundsätzlich jenem Poppers, der analog zu Hartmann jede seiner drei Welten als "real" voraussetzt. Das Ontologieverständnis von CYPO FOX ist jedoch im Detail ein anderes. Es ist mit seinen Subtypen, seiner vierten Welt, seinen verschiedenen Wahrmachern, seiner meta-ontologischen wie kategorialen Einbindung in das IMKO OCF sowie der Top-level Ontologie als "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*" ungleich ausdifferenzierter als das Poppersche Original.³⁷⁴¹ Darauf kommt es bei maschinellen Agenten in der Informatik an. Denn diese benötigen alle Welten ganz genau und somit eine ausdifferenzierte Ontologiearchitektur, um zu CPS-Agenten avancieren zu können. Analoges gilt in Bezug auf die Wissensarten: Objektives Wissen, wie es für Popper wie für Bunge elementar ist, besitzt in der CYPO-Architektur zwar ebenfalls primäre Stellung; allerdings sind für die Informatik in allgemeiner KR-Hinsicht technologisches und praktisches Wissen in wissensontologischer Hinsicht genauso von zentraler Relevanz.

Im Unterschied zu Popper ist in Bezug auf eine universale Agententheorie auch eine weitaus genauere Bestimmung des W2-Modus erforderlich. Subjektive Vorstellungen im W2-Modus sind zwar bei menschlichen Agenten – analog zu Bunge – im neurobiologischen Sinne "real" sind, indem sie zur Natur gehören. Bei maschinellen Agenten trifft dies jedoch nicht zu, was dann besonders deutlich wird, wenn der Agent nicht physisch, sondern lediglich virtuell instantiiert ist. Dann ist auch eine Argumentation über physikalische Schaltzustände abwegig, indem jede physikalische Reduktion auf eine physische Signalebene in der Sache nutzlos ist. Betrachtet man die Agenten universal, sind subjektive Vorstellungen als solche inhaltlich betrachtet nicht real, sondern allenfalls perzeptiv auf die Realität bezogen. Demgegenüber bleiben subjektive Fiktionen fiktiv und gehören inhaltlich nicht zur Realität. Ihre neuronale Verschaltung bei menschlichen Agenten bzw. ihre physikalisch-symbolische Verschaltung bei maschinellen Agenten ist real, aber in dieser Reduktion jeweils ontologisch belanglos. Eine Mehrweltenontologie zeichnet sich durch den Realitätsstatus der jeweiligen Welt aus. So besitzt der W3A-Modus einen anderen Realitätsstatus als etwa der W3P- oder W3F-Modus: Während der W3A-Modus auf CPS-Basis der unmittelbaren Realität entspricht, kann dies für den W3F-Modus nur im Sinne des abgestuften Realitätsverständnisses von CYPO FOX mittelbar gelten. D.h. der Realitätsstatus differiert nicht nur zwischen den Ontologiemodi, sondern auch nochmals zwischen den Submodi. Was überhaupt als W3-Entität als "real" erachtet werden kann, lässt sich bei jedem Artefakt cyber-physisch über das Prinzip kausaler Wirksamkeit bestimmen. Wissensontologisch ist demgegenüber die intersubjektive Objektivierung entscheidend. Diese ist auch für die Überführung aller Regelmechanismen in die Realität ausschlaggebend; bei

³⁷⁴¹ Mit Verweis auf Pkt. 3.5 differenziert auch Popper (1974b: 1050 ff.) drei Subtypen der Welt 3; allerdings geht es dabei allein um den Bezug der Welt 3 zum platonischen Ideenhimmel. Es stehen also weder die Belange der Wissensrepräsentation noch eine metaphysische Ausdifferenzierung der Technopraxis als Welt 3 im Fokus. Im AI-Kontext ist jedoch genau das entscheidend, womit die CYPO-Subtypen elementar sind.

der technologischen Steuerung in Bezug auf die physische Realität sowie bei der Herausbildung von Institutionen in Bezug auf die soziale Realität. Diesbezüglich kommt man letztlich nicht um einen *objektiven Idealismus* umhin, wie er durch Wheeler (1988, 1990) favorisiert – durch Bunge jedoch wiederum strikt abgelehnt wird.

In die physische Realität eingebettete Cyber-physische Systeme (CPS) verlangen, dass alle relevanten ontologischen Entitäten in einer integrierten Ontologiearchitektur zu klassifizieren sind, wie es mit den CYPO Submodi möglich ist. Sinn und Zweck dieser Submodi ist zuvorderst, zwar die gesamte Bandbreite an Entitäten jenseits von Bunge und im Sinne Poppers zur Realisierung von Superintelligenz zuzulassen, ohne dass diese im Gruberschen Sinne durchmischt werden. Das würde nämlich die Stabilität AI-basierter *"Reality Machines"* unmittelbar konterkarieren. – Entsprechend wird es auch möglich, die universale Realitätsauffassung in der Weise zu konstituieren, dass sie mit dem allgemeinen Verständnis der Realwissenschaften wie der Technopraxis korrespondiert. Darüber hinaus ist dieser Ansatz im Gegensatz zum Bungeschen geeignet, alle Cyber-physischen Systeme (CPS) mitsamt ihrer Komponenten als systemisches Ganzes als "real" erachten zu können. Das setzt im Allgemeinen die Interaktion der W1A- und W3A-Modi voraus (CPS, CPPS, CPLS); bei *Cyber-physischen Soziosystemen* (CPSS) tritt daneben der W4A-Modus hinzu. Mit diesen Weltmodi und Submodi zeigen sich die in Pkt. 6.2.8 diskutierten Wahrmacher speziell für die Zwecke der Ontologie der Informatik entscheidend. Dabei wird auch hier der auf Konsens beruhende W3-Wahrmacher, der für die Ontologie der Informatik elementar ist, mit Bunges Ablehnung des *objektiven Idealismus* gerade bekämpft.³⁷⁴² Natürlich ist die Bungesche Position mit den eigentlichen Anforderungen der Ontologie der Informatik auch insofern grundsätzlich unvereinbar.

Mit Verweis auf die Realwissenschaften wird deutlich, dass die bereits in Pkt. 3.5 aufgeworfene Frage, was Realität ist, wesentlich dadurch bestimmt wird, ob der Tatbestand der Emergenz zugelassen wird und ob man dabei einen starken oder schwachen Emergenzbegriff voraussetzt. Bei der Annahme eines starken Emergenzbegriffs sind höhere Komplexitätsebenen nicht auf niedere reduzierbar und damit für sich existent. Dies ist bei Hartmanns Schichtengedanken der Fall. So wendet sich Hartmann (1938) bei der Realitätsfrage explizit gegen einen Materialismus und Naturalismus, weil die »Seinsweise der Erkenntnis als solcher« keine eigene ist, sondern »ganz und gar zur Realität« zählt: »Erkenntnis ist eine Form des geistigen Seins. Der Geist aber ist ein Reales im vollen Sinne des Wortes«. ³⁷⁴³ Anders gewendet ist keine Erkenntnis, auch eine naturalistische, möglich ohne die Emergenz und reale Existenz der geistigen Schicht. Diese ist jedoch bereits insofern nicht auf niedere Schichten reduzierbar, als für Erkenntnis Rationalität, formale Sprache und soziale Konventionen als formale Regeln wesentlichere Voraussetzung sind als die durch Bunge hervorgehobenen physikochemischen Gehirnprozesse. Mit Hartmann (1938:

³⁷⁴² Vgl. Mahner/Bunge (1997).

³⁷⁴³ Vgl. Hartmann (1938: 358).

358) ist davon abzusehen, unter Realität eine "Dinghaftigkeit" verstehen zu wollen, wie es bei Bunge der Fall ist. Erkenntnis ist schon insofern real, weil im Subjekt-Objekt-Verhält- nis sowohl das Objekt als auch das Subjekt Realcharakter besitzen, womit die Relation zwischen ihnen eine Realrelation ist.³⁷⁴⁴ – Das korrespondiert mit der Auffassung, wonach in der Welt 3 alle wahren Sachverhalte im Sinne objektiven Wissens "real" sind. Somit gilt mit Piaget (1950) als Begründer der genetischen Erkenntnistheorie: »Der Gegenstand der Philosophie ist die Totalität der Wirklichkeit. Sie umfaßt die Realität der Objektwelt, die Realität des Geistes und auch die Beziehungen zwischen diesen beiden Welten«. ³⁷⁴⁵

Für Bunge sind abstrakte Objekte auch deshalb nicht "real", weil er ihnen die Fähigkeit abstreitet, sich eigenständig verändern zu können.³⁷⁴⁶ Dass auch dies nicht richtig ist, wird ersichtlich, wenn abstrakte Objekte konsequent im Zeichen der mathematischen Logik ge- dacht werden: Ein Computervirus ist gemäß der Bungeschen Position weder "real" noch besitzt er als abstraktes resp. immaterielles Objekt die Fähigkeit zur Veränderung. Dass letzteres unrichtig ist zeigt der Umstand, dass Computerviren zur Mutation fähig sind.³⁷⁴⁷ Zudem sind solche abstrakten Objekte mindestens kausal "real", indem sie in der Lage sind, Materie initial zu verändern. Nachweislich ist es Computerviren gelungen auf kon- krete Objekte einzuwirken, etwa durch gezielte ubertaktung einzelner Bausteine von Au- tomaten, was zur physischen Beeinflussung und schließlich zur umfassenden Schädigung der Materie führt. Insofern lässt sich offensichtlich kaum eine solch rigorose Trennung zwischen konkreten und abstrakten Objekten ziehen, indem letztere durch Bunge als "fik- tiv" erachtet werden. Vielmehr wird es in diesem wie in anderen Fällen erforderlich, mit Popper die Interaktion von W1- und W3-Welt zuzulassen, und beide Welten im abgestuf- ten emergentistischen Sinne als "real" zu behandeln. Demgegenüber könnte die gerade auf Veränderung ausgelegte materialistische Ontologie Bunges in solchen Fällen eine derartige Veränderung gar nicht kausal zuschreiben. Wenn für Bunge nur Materie real ist, müsste ein solches Ereignis letztlich auf eine übernatürliche Verursachung zurückgeführt werden, weil es im Rahmen des Bungeschen Naturalismus nicht erklärbar ist.

Indem Bunge die Existenz von Mischobjekten bzw. Hybriden aus materiellen und im- materiellen Objekten im Kontext von Poppers Welt 3 abstreitet,³⁷⁴⁸ wird wiederum die In- kompatibilität mit den Sachverhalten der Informatik deutlich. Denn Cyber-physische Sys- teme (CPS) stellen gerade solche Hybride dar; das wird an einfachsten Teilaspekten deut- lich, wenn etwa der Greifarm eines Roboters materieller Natur ist, während seine Steue- rungslogik eine immaterielle Natur aufweist. Es ist jedoch gerade dieser immaterielle Be- standteil, der kausal auf den materiellen einwirkt. Insofern scheitert das Bungesche Exis- tenzverstandnis offenbar am Kausalitätsaspekt. Insbesondere für eine CPSS-adäquate

³⁷⁴⁴ Vgl. Hartmann (1938: 359).

³⁷⁴⁵ Vgl. Piaget (1950: 13).

³⁷⁴⁶ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 117).

³⁷⁴⁷ Farmer/Belin (1992: 820 f.) zeigen auf, dass Computerviren genau jene Eigenschaften aufweisen, die auch für biologische Viren charakteristisch sind; vgl. hierzu ferner Spafford (1992, 1995).

³⁷⁴⁸ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 120).

Ontologiekonzeption ist das inakzeptabel. Demnach ist offenbar ein Existenzverständnis erforderlich, das der CPSS-Adäquanz wie der synthetischen Realität Rechnung trägt. Damit gelangt man wiederum zum Popperschen Existenzverständnis zurück, das mit seiner *Drei-Welten-Lehre* kompatibel ist. Popper macht die Existenzfrage nicht an Aspekten des Materialismus fest, sondern kritisiert diesen vielmehr fundamental. Für Popper existiert ein Objekt (bzw. Ereignis) genau dann, wenn es kausal auf *prima facie* reale Gegenstände einwirkt.³⁷⁴⁹ Somit ist gezeigt: so wenig die Bungesche Metaphysik zur Fundierung einer CPSS-adäquaten Ontologie beitragen kann, so geeignet muss der Poppersche *Drei-Welten-Realismus* dazu erscheinen, wenn man diesen mit CYPO FOX auf die Grundlage einer *Vier-Welten-Ontologie* hebt.

Abschließend stellt sich insgesamt die Frage, inwieweit sich die Bungesche Metaphysik tatsächlich als Grundlage für die Informatik heranziehen lässt. Dabei ist zum einen die Wesentlichkeit der durch Bunge fundamental angegriffenen Popperschen W3-Sphäre für die Ontologie der Informatik zu berücksichtigen, zum anderen, dass das Kriterium der CPSS-Adäquanz für die *Top-level Ontologie* ausschlaggebend ist. Dabei steht nicht weniger als die gesamte maßgebliche philosophische Bezugsbasis der BWW-TLO in Frage, wenn sich ihre mangelnde CPSS-Adäquanz nicht heilen lässt und ihre metaphysischen Fundamente insgesamt als CPSS-inadäquat einzustufen sind. In dieser Debatte sind nicht nur genuin metaphysische Sachverhalte wie der Realitaspekt ausschlaggebend, sondern genauso alle meta-ontologischen Kriterien; vom Wesen abstrakter Objekte angefangen bis hin zu gültigen Wahrmachern im KR-Zusammenhang. Unsere abschließende Kritik beginnt mit der Feststellung, dass Bunges Ontologie zwar auf einem *emergentischen Systemismus* basiert, doch in ihrem Materialismus letztlich als *reine* W1-Ontologie einzustufen ist. Denn allen anderen Ebenen versteht diese Ontologie in ihrem Naturalismus nicht sachgerecht zu erschließen, wenn die universalen Kategorien notwendig auf Basis eines materialistischen Trägers mit Eigenschaftspluralismus stehen. In diesem Sinne ist Bunges *"emergent materialism"* in letzter Konsequenz kaum besser als der durch ihn kritisierte *"one-level materialism"* Quines. Für die Informatik macht der Emergentismus nur dann Sinn, wenn dieser nicht einseitig materialistisch ausgelegt wird. Das kann schon mit Blick auf mathematische Objekte nicht wegweisend sein, umfasst jedoch alle oben erörterten Probleme. Jenseits der BWW-TLO hat die Informatik diese Notwendigkeit erkannt, und steht in dieser Sache mit Verweis auf Pkt. 6.2.7 im Zeichen der antimaterialistischen Linie der *Neuen Ontologie*, wie sie durch Whitehead, N. Hartmann et al. vertreten wird: Bei der GFO-TLO bezieht sich etwa das Postulat einer Mehrebenenstruktur unmittelbar auf N. Hartmanns Schichtengedanken. Analoges gilt für die im Kontext der Informatik verschiedentlich diskutierte *"Levels of Reality"* Polis (1998, 2002b, 2010a), indem auch Poli explizit auf N. Hartmanns Schichtengedanken rekurriert, der wiederum mit der Popperschen *Drei-Welten-Lehre* kompatibel ist. Hinzu kommen die verschiedenen unter Pkt. 3.5

³⁷⁴⁹ Vgl. Popper in Popper/Eccles (1977: 9).

genannten Konzepte und Ansätze der Informatik, die bereits auf Poppers emergentistischer *Drei-Welten-Lehre* aufbauen.³⁷⁵⁰

Bunges Ontologie ist rein *ontisch*; eine *epistemische* W2-Ontologie findet sich in seiner streng realistischen Ontologiekonzeption nicht. Daraus resultiert jedoch ein überaus maßgeblicher Defekt in Bezug auf die Zwecke der Informatik, indem W2-Agentenwelten für eine agentenbasierte AI-Ontologiekonzeption unabdingbar sind. Indem Bunge auch die Poppersche Welt 3 ablehnt, ist die gesamte Technopraxis zwar im Sinne seines *emergenti-schen Systemismus*, jedoch nicht genuin ontologisch im CPS-Sinne adressierbar. Auch das ist für die Ontologie der Informatik inakzeptabel, insbesondere mit Blick auf H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial*. Entsprechend verwundert es nicht, wenn Bunge die ontologischen Belange der AL-Forschung nicht nur komplett negiert, sondern sie in seinem Materialismus strikt ablehnt. Mit Blick auf die auch durch Bunge hervorgehobene Rolle der Automatentheorie, auf deren erweiterte *Theorie zellulärer Automaten* sich die AL-Forschung maßgeblich stützt, ist eine solche Position mit den Zwecken der Informatik nicht zu vereinbaren. Analoges gilt für mögliche Welten: Bunge bezeichnet seine Ontologie zwar als *Metaphysik*, doch handelt es sich gemäß der klassischen Systematik Wolffs (1730) allein um eine strenge *metaphysica generalis*. Demgegenüber werden einzelne Aspekte der *metaphysica specialis* zwar in Teilen berührt,³⁷⁵¹ finden jedoch in der strikten wie engen naturalistischen Metaphysikkonzeption Bunges selbst keine Berücksichtigung. Als solche kann sie auch nicht Klasse-2-Metaphysiken substituieren, als Bunges Klasse-3-Metaphysik strikt wie ausschließlich auf die *aktuale Welt* zielt. Mögliche Welten spielen bei Bunge aufgrund seines engen Naturalismus keine Rolle. Für die Informatik bilden diese allerdings im Sinne artifiziereller bzw. virtueller Welten eine unabdingbare Voraussetzung.

In Bezug auf den Materialismus ist zu konstatieren, dass dieser nicht nur für die philosophische Ontologie untragbar ist, sondern gerade auch für die Zwecke der Informatik als ungeeignet erscheinen muss. Whiteheads metaphysischer Logizismus offenbart demgegenüber mit seinem *Antimaterialismus*, was eine sachgerecht konzipierte Ontologie ausmacht. Denn dieser Antimaterialismus wird im Zuge der auch durch Bunge (1973) selbst propagierten Automatentheorie mit der *funktionalen Äquivalenzthese* letztlich voraussetzt. In dessen wurde bereits in Pkt. 3.5 die CPS-Inkompatibilität der Bungeschen Metaphysik konstatiert: Mit Blick auf die dort erörterte starke Interpretation der Äquivalenzthese wird bei Bunge Cyber-physischen Systemen (CPS) der volle Realitätsstatus insofern versagt, als für ihn allein ihr physisch-materieller Teil "real" sein kann. Tatsächlich aber sind sie in Wirklichkeit gerade im Sinne des Bungeschen Systemismus *als System* "real" – oder aber in ihrer CPS-Ganzheit insgesamt nicht. Offensichtlich ist die Bungesche Metaphysik nicht CPSS-adäquat, obschon sie systemisch ist und die physische Dimension von CPS abdeckt. Indem Bunges Ansatz an einer CPSS-adäquaten Ontologie scheitert, kann er auch keine

³⁷⁵⁰ Vgl. hierzu Fn. 2309.

³⁷⁵¹ Vgl. etwa Bunge/Mahner (2004).

philosophische Basis für eine *integrierte Ontologiekonzeption* darstellen. Damit ist er schließlich auch als philosophische Ontologie abzulehnen, weil er den universalen Anspruch, der für die Metaphysik konstituierend ist, letztlich nicht erfüllen kann.

Es ist bemerkenswert, dass nicht nur die Defekte der aristotelischen Metaphysik, sondern auch jene des für die Informatik genauso unhaltbaren Bungeschen Ansatzes mit der Whiteheadschen Ereignis- resp. Prozessontologie ins genaue Gegenteil verkehrt werden. Indem sich bei Bunge wie Whitehead und Popper die Argumente jeweils auf Basis des *Ratio-Empirismus* im Zeichen *wissenschaftlicher Metaphysik* vollziehen und somit den Status *allgemeinster Theorie* beanspruchen, lässt sich nicht sagen, dass sich Bunge auf einer anderen Ebene bewegte als Whitehead und Popper. Vielmehr zielen sie mit ihren *Scientific Ontologies* auf genau die gleichen Geltungsbereiche. Dennoch ist der Fokus der Whiteheadschen Prozessmetaphysik unvergleichlich größer als jener der Bungeschen Ontologie. Denn es handelt sich bei erster um eine echte Metaphysik insofern, als sie tatsächlich universal ist. Whiteheads (1929a: 13) Metaphysik kann nicht nur sämtliche wissenschaftliche Disziplinen tatsächlich in einer echten logico-mathematischen Synthese alle Dualismen und Dichotomien transzendieren; vielmehr geht es mit ihr um »the description of the generalities which apply to all the details of practice«. Als solche schafft sie nicht nur die Trias von Wissenschaft, Technologie und Praxis, sondern es handelt sich um ein metaphysisches System, das im Sinne Wolffs (1730) sowohl die *metaphysica generalis* als auch die *metaphysica specialis* mitsamt *möglicher Welten* abdeckt.

Mit Pkt. 4.1 handelt es sich bei Bunge um eine *Scientific Metaphysics*, also eine *Klasse-3-Metaphysik*, während die Whiteheadsche die für die Informatik erforderliche *Techno-scientific Metaphysics*, also eine CPSS-adäquate *Klasse-4-Metaphysik*, repräsentiert. Diese ist nicht nur dem *physisch-empirischen Universum* des Aristoteles verpflichtet, sondern setzt darüber hinaus in der Tradition Platons bzw. Leibnizens primär am *mathematischen Universum* an, womit sie zugleich eine Computer- bzw. Digitalmetaphysik verkörpert. Insofern wird deutlich, dass die Klasse-4-Metaphysik die richtige Form des *Ratio-Empirismus* manifestiert, als der Rationalismus wesentlich auf dem platonischen *intelligiblen Universum* als objektive, der aristotelischen Sinneswelt ontologisch übergeordneter Wirklichkeit aufbaut,³⁷⁵² während der Empirismus auf das sinnlich wahrnehmbare *physisch-empirische Universum* zielt. Dabei geht es nicht um zwei separierte Universen, sondern um *ein* Universum, das im Sinne ratio-empirischer Metaphysik adressiert wird. Wenn es um dieses *eine* Universum geht, dem beide Seiten der Medaille gerecht zu werden haben, sind *empirische Gesetze*, die gewiss wesentlich sind, primär im Sinne logico-mathematischer Regeln zu behandeln. Dann bilden physikalische Gesetze mit Pagels (1982) – nicht mehr und nicht weniger als – die Invarianzen in jedem möglichen Programm. Diese sind zugleich Ziel wie Restriktion der Digitalen Physik: »We can imagine building an artificial intelligence, a big

³⁷⁵² Das ist gemeint, wenn Whitehead (1920: 18) feststellt: »Plato's guesses read much more fantastically than does Aristotle's systematic analysis; but in some ways they are more valuable«.

computer, whose job it is to discover the laws of nature. But the operations of the computer are themselves limited by the laws of nature«. ³⁷⁵³ Im Sinne von Wolframs (2002) *New Kind of Science* kommt damit zugleich Computereexperimenten und -simulationen eine elementare Rolle zu.

Wenn im Zuge der konkurrierenden Metaphysiken Whiteheads (1919) und Bunges (1977a) die Frage nach dem *Verhältnis von Objekt und Ereignis* jeweils eingehend untersucht und diametral anders bestimmt wird, kann mit Blick auf die fundamentalen Strukturen der Welten offensichtlich nur eine Position richtig sein. Zwischen Whitehead und Bunge bestehen ungeachtet ihrer geteilten wissenschaftsorientierten Ontologie elementarste Unterschiede: So lehnt Bunge in seinem Materialismus *mögliche Welten* konsequent ab, während das Whiteheadsche System auch in dieser Hinsicht flexibler ist; er sieht nicht nur stetig neue Möglichkeiten in die Konkreszenzen aktueller Welten einströmen, sondern lässt auch Platz für mögliche Welten. Denn die Grenzen aktueller Wahrnehmung müssen für Whitehead nicht zwingend jene Grenzen sein, die solche möglichen Welten ausschließen. Mit Blick auf die aristotelische Form-Materie-Dichotomie lässt sich mit Pkt. 4.1 im Kontext der Klassen von Metaphysiken mit Pkt. 6.1.2 konstatieren: so wesentlich für Whitehead die Form ist, so wesentlich ist für Bunge die Materie. In Bezug auf die Diskussion um die Klasse-4-Metaphysik ist deutlich geworden, dass dieser allein der Whiteheadsche Ansatz entspricht. Demgegenüber kommt die Bungesche Ontologie in der angewandten Informatik zwar umfassend zum Einsatz, doch passt sie in Wirklichkeit unter wesentlichen Gesichtspunkten, etwa in ihrer Substanzzentrierung, ihrem Materialismus, der fehlenden Agentenwelten oder ihrer Ablehnung möglicher Welten letztlich in keiner Weise zur Disziplin. Offensichtlich ist das in den Reihen der Informatik nicht hinreichend reflektiert worden. Insgesamt ist festzustellen, dass die Bungesche Ontologie mit den eigentlichen CPS-bezogenen Erfordernissen sowohl der CM- wie insbesondere der AI-Ontologie strikt inkompatibel ist. Mit der folgenden Abb. 30 werden die wesentlichen Unterschiede zwischen den Metaphysikansätzen Bunges und Whiteheads nochmals zusammengefasst:

³⁷⁵³ Vgl. Pagels (1982: 337).

5. Kritik des TLO-Theorieanwärter-Rekurses auf philosophische Ontologien

Differenzierungskriterium	Substanzmetaphysik Bunge	Prozessmetaphysik Whitehead
Tradition	Aristoteles / Descartes	Platon / Leibniz
Fokus	Materie / Materialismus	Form / Strukturalismus (keine Negation der Materie)
Primäre Entität	Materielle Dinge [Revidierter Substanzgedanke]	Ereignisse (Prozesse) sowie eternal objects [Platon]; dezi- dierte Ablehnung der Substanz
Verhältnis Ereignis/Objekt	Objekt primär; Ereignis rein objekt- bezogen Metaphysischer Tragergedanke	Ereignis primär; Objekte in Er- eignissen situiert und durch Ereignisse konstituiert
3D vs. 4D	Endurantismus (3D)	Perdurantismus (4D)
Existenzbedingung	Räumliche Ausdehnung materieller Dinge (Körper)	Kausalität (Platon, S. Alexander, Britischer Emergentismus)
Kompatibilität Physik	Inkompatibel mit Relativitatstheo- rie, Quantenphysik und Nicht- gleichgewichtsthermodynamik	Kompatibel mit Relativitatstheo- rie, Quantenphysik und Nicht- gleichgewichtsthermodynamik; Referenzbasis der dritten Revolu- tion der Physik ("New Physics")
Kompatibilität mit H.A. Simons <i>Sciences of the Artificial</i>	Nein; enger Naturalismus Gegenpos. AL-Forschung	Ja; Cyber-Physik / Digitalismus Zelluläre Organismen/Automaten
Mögliche Welten	Nein / Strenger Aktualismus	Ja / Aktualismus + Possibilismus
Emergenz / Mehrebenenontologie	Emergentistischer Materialismus Systemebenen (Reduktiver Materialismus) Gegenpos. zu Hartmann/Popper Ablehnung starker Emergentismus Gegenpos. zu AL-/starke AI-Pos.	Emergentismus (Nichtreduktiver Physikalismus) / platonischer Strukturenrealismus Kompatibel zu Hartmann/Popper Starker Emergentismus Starke Agententechnologie
Kausalität	Nur Upward Causation (Reduktion)	Upward + Downward Causation
Realität Welt 3 (Form/Materie)	Nein (Neo-aristotelischer Hyle- morphismus; Form immer an Materie gebunden)	Ja (i.S. Platons; logisches Univer- sum, Emergenzbedingung); strukturalistische Form
Natur des Wissens	Gebunden an Subjekte; nicht von Individuen als Träger ablösbar	Wissen nicht an Träger gebunden (entspricht KR-Hypothese)
Endogener Agent	Nein	Perzipierendes Subjekt-Superjekt
Mehrweltenontologie	Lediglich W1-fixiert; W2 bzw. <i>Subjekt-Superjekt</i> fehlend, W3 nur als losgelöste Technologie, W4 nur im aufgesetzten Sinne des Syste- mismus: aufgrund des Materialis- mus keine Mehrweltenontologie "aus einem Guss" möglich	W1 und W4 als gleichberechtigte empirische Modi; W2 als Sub- jekt-Superjekt; W3 als inkorpo- rierter technologischer Modus. Mehrweltenontologie "aus einem Guss" im Zeichen des logico- mathematischen universalen Strukturalismus bzw. metaphysi- schen Logizismus
Systemismus / Komplexität	Ja, jedoch Materialismus-exogen	Ja, Strukturalismus-endogen
Kompatibilität mit <i>Theorie komplexer Systeme</i>	Nein, da 3D-objektzentrisch	Ja, metaphysischer Ursprung der Komplexitätsforschung
Ratio-Empirismus	Ja, inkompatibel mit <i>New Physics</i>	Ja, kompatibel mit <i>New Physics</i>
Metaphysik	Klasse 3 (wissenschaftliche Meta- physik), <i>Anti-Digitalmetaphysik</i>	Klasse 4 (techno-wissenschaftli- che Digitalmetaphysik)
Mathematical / Computable Uni- verse Hypothesis (MUH/CUH)	Nicht gültig	Gültig; logico-mathematischer Strukturalismus
CPSS/IoX-Adäquanz (IoD, IoS, IoT, IoA, IoP)	Nicht erfüllt (rein physisch) Keine W3-Downward Causation	Erfüllt (physisch+virtuell) W3-Downward Causation
Referenzfunktion für Informatik	Grundsätzlich nicht erfüllt; Vollständige Inkompatibilität bzgl. Anforderungen der Informatik	Ja, mit Leibniz metaphysisches Ursprungsparadigma der Informatik und in Aktualisierung des Leibnizprogramms: <i>Metaphysik der Informatik</i>

Abb. 30: Komparative Analyse der Metaphysiken Bunges vs. Whiteheads

Mit den folgenden zwanzig Punkten wird abschließend nochmals stichpunktartig zusammengefasst, warum die Bungesche Metaphysik keine metaphysische Basis der Informatik und speziell nicht als universale Referenzbasis für die Ontologie der Informatik bzw. ihre Top-level Ontologie fungieren kann:

1. Bunges Metaphysik ist lediglich eine auf die physisch-empirischen Aspekte des Universums bezogene *Klasse-3-Metaphysik*. Im Unterschied zur Whitehead-schen Klasse-4-Metaphysik als techno-wissenschaftliche Computer- bzw. Digitalmetaphysik geht sie die Ontologiefrage nicht auch im Sinne Leibnizens bzw. Platons von der mathematischen Seite des Universums an. Damit kann sie kein *universales Prinzip* bieten, das eine transdisziplinäre Einheit aller Wissensdomänen realisieren kann. Indessen ist dies für die Integrationsbelange der AI-Ontologie mitsamt ihrer TLO-Referenz von zentraler Bewandnis.
2. Sie ist dabei allein auf *konkrete Entitäten* fixiert, nicht auch auf *abstrakte Entitäten*. Damit geht sie nicht mit H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* konform; sie ist keine Metaphysik der Artefakte. Abstrakte Objekte ließen sich bei Bunge allenfalls in epistemische Kategorien fassen, nicht aber in ontische, worauf seine Ontologie einseitig ausgelegt ist. Dieser Umstand ist wiederum einem defekten Emergenz- bzw. Realitätsverständnis geschuldet.
3. Sie ist *keine komplette Ontologie* und kann auch nicht die Grundlage einer integrierten Ontologiekonzeption bilden; denn sie berücksichtigt keine Cyberwelten, deren Prozesse sich als solche unabhängig von Materie vollziehen.
4. Sie ist im aristotelischen Trägersinne auf *materielle Dinge* fixiert; "Form" ist im *Hylemorphismus* nicht ablösbar von "Stoff", womit sie eine Diskrepanz zu den Strukturwissenschaften, mithin zur Komplexitätsforschung aufweist.
5. Sie ist letztlich allein auf *Scientific Ontologies* bezogen, wobei gleichzeitig Putnams (1983a) Kritik am metaphysischen Materialismus gilt, die auf den Vorwurf des *Szientismus* hinausläuft.
6. Entgegen der Objekttheorie Meinongs (1913) lässt sie nicht die Repräsentation beliebiger, ggf. gar fiktiver Objekte zu. Auf *konzeptuelle Objekte* ist die Ontologie Bunges an sich nicht ausgelegt; sie lassen sich allein sekundär behandeln.
7. Weder wird *Information* als eigenständige dritte physikalische Größe zugelassen noch als "Urstoff" des Universums; damit kann sie kaum das metaphysische Fundament der Informatik bilden.
8. Sie ist CPSS-inadäquat, und zwar u.a. in folgenden Hinsichten: (i) *Smart Objects* als intelligente Objekte bilden allenfalls sehr bedingt materielle Dinge; vielmehr weisen sie eine elementare idealistische Komponente auf. Solche Systeme bzw. Objekte stehen in (ii) *Event Streams*, die eine *unabhängige bzw. eigenständige Ereigniskategorie* einfordern (CEP). Damit sind (iii) Objekte in Ereignissen situiert und durch diese konstituiert, was bei Bunge im antiquierten

Trägersinne genau umgekehrt konzipiert wird: Ereignisse bzw. Prozesse sind bei ihm auf einen *Träger* bezogen. Daneben fehlt (iv) das universale Prinzip, das physische Welten mit Cyberwelten verbindet und einheitlich zugänglich macht.

9. Sie propagiert eine veraltete, weder wissenschaftlich noch technologisch tragbare und für die AI-Ontologie letztlich unhaltbare 3D-Perspektive, mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 also einen *Endurantismus*. Während Bunge gleichzeitig den *Scientific Realism* proklamiert, gilt mit Measor (1986: 221), dass der "Four-dimensionalism" als sachgerechter "type of scientific realism" zu erachten ist.
10. Sie kann weder den *Cartesischen Dualismus* tatsächlich überwinden noch die *Subjekt-Objekt-Dichotomie*. Vielmehr sucht sie Geist auf Materie zu reduzieren; damit scheitert sie an der Lösung zentraler metaphysischer Probleme. Bunge scheitert in seinem Versuch einer positivistisch-materialistischen Uminterpretation der Whiteheadschen Prozessmetaphysik, indem er als klassisch theoretischer Physiker ihre Bewandnis als Cyber-Physik bzw. als kosmologische Basis der dritten Revolution der Physik missverstehet. Indem CPS mitsamt ihres Existenzprinzips kausaler Wirksamkeit als synthetische Realität real sind, hat sich die Bungesche Metaphysik als solche erledigt.
11. Im Sinne des *Scientific Realism* kann es nicht wegweisend sein, die ontologische Existenzfrage und damit die Ontologiefrage überhaupt unmittelbar an der Materie festmachen zu wollen. Das erscheint vor allem dann inopportun, wenn diese endurantistisch konzipiert ist. Wenn die Existenzfrage allein auf die *physische* Existenz abstellt, dann müsste sie mindestens im Sinne Quines im Zeichen einer *raum-zeitlichen* Lokalisierbarkeit stehen. Die ontische Existenz von Entitäten sozialer Welten ist im Sinne Searles (1995) bei einem solchen Vorgehen allerdings nicht darstellbar. Dies geht mit dem Gedanken der *Scientific Ontologies* insofern nicht konform, als diese sozialen Welten genauso empirisch zugänglich sind. Zur Wahrung einer methodologischen Konsistenz müsste entsprechend auf einem gänzlich anderen Emergenz- bzw. Realitätsverständnis aufgesetzt werden. Dieses muss die *Existenz aller Entitäten* wie bei Hartmann oder Popper auf den einzelnen eigenständigen wie irreduziblen Schichten als "real" voraussetzen. Darin besteht ein grundsätzlicher Unterschied zu Bunge, indem bei den beiden erstgenannten auch abstrakte Objekte *ontisch* vorausgesetzt werden, also nicht bloß als subjektivistische bzw. epistemische Kategorien.
12. Die Bungesche Ontologie lehnt jeden *Funktionalismus* und jedes *Teleologiemoment* ab; diese sind aber im CAS-/CPS-Hinblick von elementarem Stellenwert.
13. Bunge lehnt in seinem emergentistischen Materialismus mit dem Funktionalismus auch die *äquivalenzthese* ab,³⁷⁵⁴ die für die Informatik indes elementar ist.

³⁷⁵⁴ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 157 ff.).

14. Die Ontologie Bunges ist rein auf *aktuale Welten* bezogen und lehnt *mögliche Welten* ab. Diese sind jedoch mit Verweis auf Pkt. 6.2.4 für Cyberwelten genauso essentiell wie insgesamt für die Technopraxis.
15. Die ontologischen Belange der AL-Forschung wie insgesamt von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* werden durch Bunge strikten naturwissenschaftlichen Empirismus insgesamt negiert. Mit einem rein materialistischen Realitätsverständnis und der durch die Ablehnung der Popperschen Welt 3 implizierten Zurückweisung einer echten *Ontologie der Artefakte* ist auf dieser Basis die in Pkt. 4.6 erörterte "*Synthetic Reality*" bzw. "*Augmented Reality*" nicht realisierbar. Jedoch sind auch gerade diese für die moderne Informatik zentral.
16. Sie impliziert mit ihrem emergentischen Reduktionismus ein *defektes Emergenzverständnis*; mit Pkt. 6.2.7 bezieht sich die Ontologie der Informatik nicht umsonst auf die damit konkurrierende Emergenzposition N. Hartmanns (1940), die *eigenständige* Schichten im Sinne Poppers oder Polis zulässt.
17. Sie besitzt ein *defektes Komplexitätsverständnis*; denn dieses ist in seinem universalen Prinzip mathematisch-strukturwissenschaftlicher Natur. Es ist also nicht zwingend an Materie gebunden; insofern ist Bunge emergentistischer Materialismus CAS-inkompatibel.
18. Sie ist MAS-inkompatibel, da sie keinen ontologischen W2-Modus im Sinne epistemischer Kategorien für Agentenwelten kennt, wie er demgegenüber durch das Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt* verkörpert wird. Die ontologischen Basis-kategorien selbst lassen auch keinen W4-Modus zu; bereits der W3-Modus ist mit der Ablehnung der Popperschen Welt 3 verwehrt. Bunge *Systemismus* ist für MAS-Zwecke ungeeignet; als "*Träger-Systemismus*" ist er defekt, und kann somit insgesamt kein Fundament einer agentenbasierten AI-Ontologie bilden.
19. Diese MAS-Inkompatibilität gilt zudem auch in *epistemologischer* Hinsicht; es reicht nicht aus, dass Bunge zwar einen gemäßigten Konstruktivismus akzeptiert bzw. einen radikalen Konstruktivismus ablehnt;³⁷⁵⁵ vielmehr ist der W2-Modus in MAS-Hinsicht mit Verweis auf Pkt. 6.2.6 gerade epistemologisch im Sinne subjektivistischer "*belief systems*" erforderlich.
20. Die *Konsenstheorie*, die mit Verweis auf Pkt. 6.2.8 gerade für die Technopraxis als Wahrmacher unabdingbar ist, wird nicht zugelassen. Bunge räumt zwar die Unzweckmäßigkeit einer einheitlichen Wahrheitstheorie ein, doch beschränken sich seine Wahrmacher auf die *Korrespondenztheorie* sowie im formal-mathematischen Fall auf die *Kohärenztheorie* der Wahrheit.³⁷⁵⁶

Diese eingehendere Kritik der Bungeschen Metaphysik war nicht allein auf diese selbst gerichtet, sondern vielmehr aufgrund der mit ihr unmittelbar verkoppelten Diskussion der

³⁷⁵⁵ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 93 f., 125).

³⁷⁵⁶ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 91).

Alternativen auch insofern motiviert, um den Stand und die Problematik der Metaphysik insgesamt zu verdeutlichen. Das gilt insbesondere mit Blick auf den notwendigen Dualismus der Metaphysik im Sinne physisch-empirischer Aspekte des Universums einerseits, wie der logico-mathematischen Aspekte andererseits. Beide Seiten werden zwar schon bei Leibniz, Boole oder Peirce thematisiert, jedoch im Zuge des *Ratio-Empirismus* erst durch Whitehead richtig zusammengebracht und als echte Einheit entwickelt. Implizit darauf aufbauend geschieht dies partiell auch bei C.F. von Weizsäcker oder Wheeler. Auf der Basis Whiteheads ist die Metaphysik somit als *Klasse-4-Metaphysik* weiterzuentwickeln. Was speziell die Whitehead-Russell-Tradition mit ihrer Ontologisierung der Booleschen Logik betrifft, ist ein grundsätzlich positives Bild zu zeichnen. Damit ist auch in dieser letzten Sache eine Gegenposition zu Bunge (2001a) zu beziehen wenn er behauptet: »All the philosophical schools [...] are in ruins. No new broad and deep philosophies have been proposed in recent times, and none of the extant ideas has been of much help to understand the sea changes that have signed the twentieth century«. ³⁷⁵⁷

In welche Richtung die Lösung dieses Problems zu entwickeln ist, sollte mit dem hier geführten Diskurs deutlich geworden sein: Sie liegt mit Pkt. 4.1 bzw. Pkt. 5.7 in der prozessontologischen, techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik*, die zugleich Computer- bzw. Digitalmetaphysik ist. Dazu wird jedoch die radikale Überwindung des Bunge-schen Materialismus als Klasse-3-Metaphysik wie der sprachphilosophisch fixierten analytischen Metaphysik als Klasse-2-Metaphysik zwingend. Bezogen auf diese hat Bunge (2001a) mit seiner obigen Feststellung tatsächlich recht, und hier auch darin, wenn er die metaphysischen Ansätze als stagnierend einstuft. ³⁷⁵⁸ Eine moderne, integrierte Ontologiekonzeption, auf deren Basis eine komplette Ontologie im Sinne einer integrierten metaphysischen Wissensontologie möglich ist, erfordert den Bruch mit den veralteten "Furniture-Ontologien", die eine Substanz bzw. ein "Ding" als Träger voraussetzen. Sie erfordern den Bruch mit einer im Kern gegenständlichen, letztlich naiven 3D-Perspektive, die mit Pkt. 6.2.5 wissenschaftlich wie technologisch unhaltbar ist. Sie erfordern den Bruch mit Aristoteles wie mit einseitig neo-aristotelischen Ansätzen; entsprechend erfordern sie auch den Bruch mit Bunge. Insofern überrascht es nicht, wenn Y. Wand als einer der beiden Schöpfer der BWW-TLO ihren Stellenwert nach fünfzehn Jahren Forschungsarbeit inzwischen selbst relativiert. ³⁷⁵⁹ Indem die BWW-TLO im CM-Bereich bis heute die größte Verbreitung besitzt, ist offensichtlich die Zeit für eine völlige ontologische Neukonzeption gekommen, die indes direkt zu den metaphysischen Ursprüngen der Disziplin zurückführt.

³⁷⁵⁷ Vgl. Bunge (2001a: 224).

³⁷⁵⁸ Vgl. Bunge (2001a: 207).

³⁷⁵⁹ Vgl. Evermann/Wand (2005: 24): »The use of Bunge's ontology is for purposes of demonstration only. We do not claim that this ontology correctly describes every application domain in the business or organizational world«. Das jedoch kommt einem Offenbarungseid gleich, denn an Demonstrationzwecken kann sich die Selektion von *Top-level Ontologien* nicht messen. Ohnehin geht es nicht um diese, sondern vielmehr um die Frage nach dem fundamentalen Weltmodell für die Informatik, die gänzlich anders zu adressieren ist als es im Zuge der BWW-TLO vollzogen wurde.

5.4 Zum TLO-Rekurs auf Chisholms 3D-Common Sense-Metaphysik

»Metaphysics and methodology should go hand in hand. Metaphysics tells us what something is; methodology, how to find out about it. Our methods must be justified by showing that they are indeed a good way to find out about the thing under study, given what it is. Conversely, if our metaphysical account does not tie in with our best methods for finding out, we should be suspicious of our metaphysics.«
— Nancy Cartwright (2006: 197)

Der TLO-Rekurs auf Chisholms Metaphysik vollzieht sich im Rahmen der Chisholm-TLO Miltons et al., die fachlich in der Tradition von Mealys (1967) Datenmodellierung bzw. der Analyse von Datenmodellen steht. Dabei wird Chisholms Metaphysik als aristotelischer *Common Sense-Realismus* durch Milton (2004) bzw. Milton/Kazmierczak (2006) explizit der im vorangehenden Pkt. 5.3 behandelten Metaphysik Bunges entgegengestellt,³⁷⁶⁰ die in ihrem Naturalismus resp. Materialismus grundsätzlich abgelehnt wird. Indem Milton (2004) Chisholms Metaphysik auf die Ontologie der Informatik bezieht, haben sich Chisholms Kategorien als metaphysische Bezugsbasis für TLO-Kategorien zu bewähren, wobei sie sich sowohl für CM- als auch für KR-Zwecke eignen müssen. Mit Miltons (2004) Diskussion der Ansätze von Chisholm und Bunge, die allerdings sehr oberflächlich bleibt und mit Blick auf ihre Tragweite für die ontologische Grundlegung der Informatik als unzureichend zu werten ist, offenbaren bei genauerer Analyse auch diese beiden Metaphysikvarianten die große Heterogenität der diversen Metaphysikansätze. Das wird bei Bunge und Chisholm daran deutlich, dass sie eine Reihe von Gemeinsamkeiten, genauso aber eine Reihe tiefer Disparitäten aufweisen. So stehen sie zwar gemeinsam – partiell – in der neoaristotelischen Tradition der Substanzmetaphysik,³⁷⁶¹ und stellen beide im Unterschied zu Aristoteles *Ereignisse* gesondert heraus, wobei dies mit Blick auf Pkt. 6.2.5 in beiden Fällen im endurantistischen Modus verbleibt.

Ungeachtet dieser Gemeinsamkeiten fallen jedoch auch hier die Unterschiede weitaus gravierender aus und mit Blick auf das Inkommensurabilitätsproblem größer ins Gewicht. Dabei ist mit Blick auf die im vorangehenden Pkt. 5.3 geführte Debatte um Platon und Aristoteles besonders herauszustellen, dass es sich bei Chisholm im Gegensatz zu Bunge um eine in Teilen platonistische Ontologie handelt,^{3762, 3763} die *mögliche Welten* als abstrakte Objekte zulässt.³⁷⁶⁴ Das führt nicht zuletzt dazu, dass *Ereignisse* bei Chisholm *abstrakte Sachverhalte* bilden,³⁷⁶⁵ während sie sich bei Bunge bzw. der BWW-TLO im genauen Gegensatz dazu immer auf Träger *konkreter* Systeme beziehen. Indem Bunges Materialismus nicht geteilt wird, setzen sich die maßgeblichen Unterschiede damit fort, dass die *"things"*,

³⁷⁶⁰ Vgl. hierzu auch Taliaferro (1998); vgl. daneben bereits Milton/Kazmierczak (2000).

³⁷⁶¹ Mit ihren platonistischen Teilen gilt das gerade für Chisholms Metaphysik nur partiell; es geht ihm gerade um eine *nicht-aristotelische* Theorie der Kategorien, die jedoch in ihrem Substanzzentrismus dann doch *neo-aristotelisch* ist.

³⁷⁶² Vgl. Chisholm (1976a: 119; 1994: 501 f.; 1996: 4).

³⁷⁶³ Chisholm kombiniert zwei maßgebliche Realismusvarianten: den Aristotelismus bzgl. *Substanzen*, sowie den Platonismus bzgl. *Eigenschaften*.

³⁷⁶⁴ Vgl. Chisholm (1985: 108).

³⁷⁶⁵ Damit meint Chisholm keine abstrakten Entitäten, sondern vielmehr den Umstand, dass es sich *nicht* um *konkrete, individuelle Entitäten* handelt, vgl. Chisholm (1970a: 22; 1971: 180).

von denen bei Chisholm (1996) im Sinne des *Common Sense* die Rede ist, nicht wie bei Bunge *materielle Dinge* bezeichnen als vielmehr – wie in der Sprachphilosophie üblich – allgemein als "*Entitäten*" zu verstehen sind. Ferner handelt es sich bei Bunge um eine *wissenschaftliche Metaphysik*, also um eine Klasse-3-Metaphysik, während Chisholms Metaphysik als Klasse-2-Metaphysik einzustufen ist. Bunge ist wie Quine Naturalist, während Chisholm wie der späte Wittgenstein, Moore oder Strawson als *Common Sense-Philosoph* zu klassifizieren ist. Im Gegensatz zum frühem Wittgenstein, der in dieser Sache analog zu Quine zu sehen ist, entfällt bei Chisholm jedoch die zentrale Prüf- bzw. Synthesefunktion naturwissenschaftlicher Theorie. Insofern bestehen zwischen den naturalistischen Ansätzen Bunes bzw. Quines im Vergleich zu Chisholm insbesondere mit Blick auf *Scientific Ontologies* – und damit technologische Ontologien – größte Unterschiede. Die durch Milton (2004) herausgestellte Disparität der Ansätze Bunes und Chisholms ist dabei nicht zuletzt auch vor diesem Hintergrund zu sehen, woraus sich entsprechende Schlussfolgerungen für die allgemeine Ontologiedebatte ziehen lassen.

Auch in Bezug zu anderen TLO-Ansätzen lassen sich solche Gemeinsamkeiten und Unterschiede feststellen; so sind etwa die Chisholm-TLO wie die BFO-TLO in ihrem Neo-Aristotelismus insbesondere den Positionen Brentanos verpflichtet, weisen jedoch beide vollkommen disparate Kategoriensysteme auf. Insbesondere handelt es sich bei der BFO-TLO um einen bi-kategorialen Ansatz, der sich im Sinne eines "3D+T" durch Kontinuanten wie davon kategorial separierten Okkurrenten geprägt zeigt, während Chisholm ähnlich wie Bunge einen 3D-Ansatz vertritt, der enger dem Tragergedanken verhaftet bleibt. Daneben wird durch Chisholm auch die 4D-Alternative verworfen,³⁷⁶⁶ wobei sich diese Zurückweisung jedoch auf sprachphilosophischen, nicht etwa auf wissenschaftlichen Argumenten begründet, und somit bedenklich erscheinen muss. Chisholm vertritt eine spezielle Variante der im nachfolgenden Pkt. 5.5 erörterten analytischen Metaphysik, womit er hier gesondert zu behandeln ist. Auf Basis von Chisholms Metaphysik lassen sich mit der Chisholm-TLO *mögliche Welten* als *abstrakte Objekte* auffassen; bei der DOLCE-TLO, die auf dem *Modalen Realismus* von Lewis (1986b) aufbaut, wird dies hingegen ganz anders gehandhabt, indem Lewis mögliche Welten als *konkrete Objekte* berücksichtigt. Chisholms Arbeiten repräsentieren ein umfassendes Werk, das zwar wesentlich um die hier relevante Metaphysik und Epistemologie kreist, sich dabei jedoch im Rahmen des Problems der *Handlungsverursachung* (agent causation) genauso mit der Thematik der Willensfreiheit sowie ethisch-moralischen Fragen usf. auseinandersetzt.³⁷⁶⁷ Es handelt sich also um eine sehr weitreichende philosophische Ontologie, die eine völlig andere Fokussierung besitzt als die rein wissenschaftsbezogene philosophische Ontologie Bunes. Vor diesem Hintergrund erscheint es insgesamt fraglich, inwiefern es sinnvoll erscheinen kann, auf einem solch klassisch philosophischen Ontologieansatz eine *Top-level Ontologie* der Informatik

³⁷⁶⁶ Im "Anhang A" nimmt Chisholm (1976a) zu *zeitlichen Teilen* Stellung und vertritt hier seine 3D-Perspektive; vgl. hierzu ferner Simons (1987: 120).

³⁷⁶⁷ Vgl. hierzu etwa Chisholm (1976b).

begründen zu wollen, die mit H.A. Simon (1995a) auch wesentlich die empirische Spielart der *Scientific Ontologies* beherrschen können muss. Entsprechend kann es jenseits der sehr allgemeinen Fokussierung Chisholms hier allein um die relevanten TLO-Aspekte gehen bzw. um die Frage, inwiefern ein Rekurs der TLO-Theorieanwärter auf eine solch klassische philosophische Ontologie im sprachphilosophischen Sinne des *Common Sense-Realismus* tatsächlich gerechtfertigt erscheinen kann. Damit ist die Diskussion der Chisholmschen Ontologie auf folgende fünf relevante Fragestellungen einzuschränken:

- (1) Wodurch bzw. wie sich Chisholms Metaphysik und Epistemologie im Kern charakterisieren lässt;
- (2) Ob sich Chisholms Kategorien als metaphysische Bezugsbasis für TLO-Kategorien, und zwar sowohl für CM- als auch für KR-Zwecke eignen;
- (3) Ob Chisholms Kategoriensystem die Grundlage einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption bilden kann;
- (4) Ob der *Common Sense-Realismus* tatsächlich die richtige Orientierung für eine universale Ontologiekonzeption vermitteln kann;
- (5) Inwieweit sich Chisholms Metaphysik und Epistemologie insgesamt zur Fundierung der Informatik eignen.

Ad (1) Ungeachtet der Breite des Werks Chisholms lässt sich darin eine deutliche Linie ausmachen: im Unterschied etwa zu Whitehead, Popper oder auch Bunge geht es weniger um Kosmologie und entsprechend auch nicht um Metaphysik als allgemeinste Theorie, wie sie im Zeichen des Ratio-Empirismus steht. Vielmehr geht es um eine Metaphysik, die sich in zentraler Weise um das *menschliche* Individuum – nicht wie in der Leibniz-Whiteheadschen *universalen* Metaphysik um *universal* erfasste Automaten- bzw. Agentenklassen – zentriert und als spezifische Variante analytischer Metaphysik eine linguistische Orientierung aufweist. Ungeachtet dieser nicht unproblematischen Fixierung und Einschränkung gebührt Chisholm in dieser Hinsicht das Verdienst, antimetaphysische Strömungen wie den Logischen Positivismus oder die linguistische Philosophie in metaphysischer Hinsicht herausgefordert zu haben und sie letztlich nicht nur in Bezug auf die Möglichkeit, sondern in weiten Teilen auch bzgl. der Notwendigkeit der Metaphysik überzeugt zu haben. Chisholms (1976a) *Person and Object* indiziert als explizite metaphysische Studie, um welche Aspekte sich die Chisholmsche Metaphysik zentriert, nämlich um die Person, das Individuum bzw. – in Tradition des Rationalismus – den menschlichen Agenten, womit prinzipiell eine philosophische Bezugsbasis für AI-Agententheorien gegeben wäre. In dieser Linie steht bereits das erste Werk Chisholms (1957) *Perceiving*, wobei es sich allerdings um philosophische, nicht etwa kognitionswissenschaftliche Aspekte handelt. Dennoch sind auch diese für AI-Zwecke mit ihrer rationalistischen Basis in erkenntnistheoretischer Hinsicht wichtig, und hier liegt neben der Metaphysik ein zweiter Schwerpunkt Chisholms.³⁷⁶⁸

³⁷⁶⁸ Vgl. hierzu auch Chisholm (1963, 1977, 1982b).

Chisholm (1963) setzt sich mit Hintikkas (1962) *Knowledge and Belief* auseinander, definiert mit Verweis auf Pkt. 3.5 im Zeichen des JTB-Paradigmas "*knowledge as justified true belief*",³⁷⁶⁹ und nimmt dabei ebenfalls auf zum in Pkt. 3.5 erwähnten Gettier-Problem Stellung,³⁷⁷⁰ worin allesamt wesentliche AI-Grundfragen bestehen. Allerdings werden diese durch Chisholm nicht wie bei Leibniz und Whitehead universal über alle Agentenklassen adressiert, sondern zeigen sich immer speziell auf die Kognition und mentalen Aspekte bzw. Psyche speziell *menschlicher* Agenten bezogen. Nehmen wir das Gettier-Problem, so stellt es sich für alle Agentenklassen teils in gleicher Weise, teils allerdings auch äußerst heterogen dar. Denn bei maschinellen Agenten sind zahlreiche Agentenarten denkbar; auch solche, deren *Belief System* gar nicht autonom bzw. lokal verankert ist, sondern fern- bzw. gleichgeschaltet ist und über Referenzontologien *ad hoc* gelöscht und ontologisch aktualisiert wird. Genauso lässt sich bei maschinellen Agenten das *Belief System* prinzipiell in Echtzeit um eine ontologische Reflexion über universal zugängliche *Repositories*, also Wissensspeicher abgleichen, es lässt auf Basis identischer Sensorik sowie Perzeptions- und Kognitionsvorgangen zudem methodologisch die Induktion in Echtzeit mit der Deduktion verbinden usf. Mit anderen Worten lässt sich die Kontroverse um das JTB-Paradigma nicht einseitig in Bezug auf menschliche Agenten beantworten; vielmehr ist zwischen Agentenklassen zu differenzieren, bei maschinellen Agenten ist die ganze Bandbreite höchst divergenter Agententypen einzubeziehen, und darüber hinaus sind die methodologischen Aspekte der Echtzeit-Verifikation und -Falsifikation in Bezug auf Multiagentensysteme (MAS) zu berücksichtigen. Dann zeigt sich, dass der Unterschied zwischen *Knowledge and Belief* in den Wahrmachern verankert ist, und Wissen immer im Popperschen Sinne methodologisch raffiniert ist. Insofern ist gezeigt, dass Chisholms Position zum JTB-Paradigma nicht nur relativ, sondern letztlich falsch ist. Denn für Chisholms (1982b) Neo-Aristotelismus ist wie bei Bunge *Wissen* als Unterklasse von Überzeugungen (*beliefs*) *immer an ein Subjekt gebunden*, und das ist es, was seine Position bzgl. des JTB-Paradigmas bestimmt. In etwas anderer Akzentuierung als bei Bunge ist mit Pkt. 3.5 auch hier auf Minsky (1997: 25) zurückzukommen, mit dem gilt: »Computer Science [...] will help us learn what Knowledge is«. Das aber ist nur möglich, wenn die Informatik auf Basis ihrer universalen Metaphysik, der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik entwickelt wird, indem sie etwa auf Basis des Ontologieverständnisses Grubers (1993, 1995) in dieser Sache auch nicht weiter wüsste bzw. Fehleinschätzungen vornehmen würde. Das Problem der Metaphysik Chisholms besteht gerade darin, dass sie nicht universal ist und insofern auch nicht die erforderliche tiefere Diskussion über alle Agentenklassen eröffnen kann. Es macht einen Unterschied, ob man das JTB-Paradigma mit dem Fall des *Robinson Crusoe* assoziiert oder mit dem *IoX-Hyperspace intelligenter CPS/MAS-Agenten*, die in Echtzeit miteinander verschaltet sind. Dabei sind diese bei hybrider Agentenarchitektur unmittelbar

³⁷⁶⁹ Vgl. Chisholm (1982b: 43 ff.).

³⁷⁷⁰ Vgl. Chisholm (1970b: 116 ff.; 1977: 103 ff.).

in eine integrierte Ontologiearchitektur wie CYPO FOX eingebunden, die in ihrer TLO-Referenz einen einheitlichen "general world view" gewährleisten kann und somit die Exploration und Exploitation objektiven Wissens Popperscher Provenienz in Echtzeit ermöglicht. Dann rückt vor dem Hintergrund des *Real-Time Enterprise* (RTE) das im zweiten Teil erörterte stetige Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz ins Spiel. Insofern wird deutlich, dass nicht nur die Informatik, sondern genauso die Philosophie die Metaphysik als tatsächlich *universale* Metaphysik benötigt, wie sie in Leibnizens Tradition allein in der Whiteheadschen revisionären techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* gegeben ist.

Chisholm setzt zwar für Alltagsgegenstände wie für Körper voraus, dass sie fortwährend Teile gewinnen und verlieren. Mit Blick auf die kategoriale Bestimmung der menschlichen Person gelte dies jedoch nicht; diese kann damit nicht mit ihrem Körper identisch sein bzw. sich auf diesen reduzieren lassen, was offensichtlich in einer Verbindung zum Rationalismus des Cartesischen Dualismus steht. Vielmehr seien menschliche Personen *einfache Substanzen* bzw. – in Anlehnung an Leibniz – *Monaden*,³⁷⁷¹ die keine körperlichen Teile aufweisen und damit auch keine verlieren oder gewinnen können. In diesem Sinne sucht Chisholm das Problem von Selbstidentität und Wandel zu lösen und steht dabei deutlich in der Tradition der Substanzmetaphysik.³⁷⁷² D.h. er schafft im Gegensatz zu Bunge nicht die Emanzipation von dieser, während letzterer nicht wie auch immer geartete Substanzen, sondern unter streng wissenschaftlichen Gesichtspunkten materielle Dinge (Things) als elementare Kategorie identifiziert. Der Unterschied besteht im Moment der Fallibilität. Die Bungesche Klasse-3-Metaphysik muss es als allgemeinste Theorie über ihren Ratio-Empirismus immer mit dem Stand der Erfahrungswissenschaften aufnehmen; indirekt ist sie damit falsifizierbar, wenn sich ihre meta-ontologischen Dispositionen bzw. Kategorien als inkompatibel mit jenen der allgemeinen Wissenschaftspraxis erweisen. Chisholms Metaphysik zeigt sich dagegen im Zeichen der deskriptiven Metaphysik bzw. als Klasse-2-Metaphysik immunisiert. Darin besteht ein wesentliches Moment, um gute von schlechter Metaphysik zu unterscheiden. Indem Chisholm mögliche Welten zulässt, stellt sich damit auch die Frage nach Identität in den möglichen Welten.³⁷⁷³ Ein zweiter, ebenso wichtiger Aspekt ist der Agent als Handlungsverursacher,³⁷⁷⁴ womit die Frage von *Handlungsfreiheit und Determinismus* durch Chisholm aufgeworfen wird.³⁷⁷⁵ Insofern, und nicht etwa im AI-Sinne, stehen bei Chisholm *Agenten* im Fokus. Bei dieser Frage um *Handlungsfreiheit vs. Determinismus* geht es bei Chisholm eigentlich um *Verantwortlichkeit vs. Determinismus*, indem ein Agent die Verantwortung für eine Handlung nach Chisholm (1967a, 1976b) nur dann zuzuschreiben sei, wenn dieser hätte anders handeln kön-

³⁷⁷¹ Vgl. Chisholm (1996: 100).

³⁷⁷² Vgl. hierzu Chisholm (1976a: 89 ff.).

³⁷⁷³ Vgl. Chisholm (1979).

³⁷⁷⁴ Vgl. hierzu Chisholm (1976b).

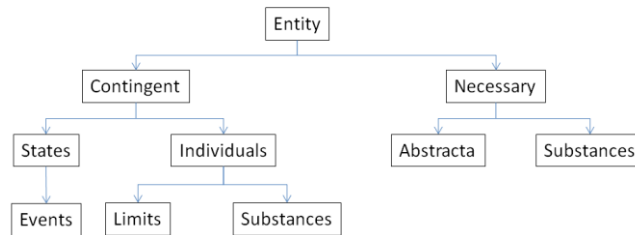
³⁷⁷⁵ Vgl. Chisholm (1967a).

nen; in diesem Sinne ist also der Gegensatz von *Indeterminismus vs. Determinismus* ausschlaggebend. Natürlich stellen sich solche Fragen genauso für AI-Agenten, etwa bei humanoiden Robotern. Allerdings entwickelt die Chisholmsche Metaphysik alle diesbezüglichen Aspekte nie universal über alle Agentenklassen, sondern engt sie von vornherein auf menschliche Individuen ein. Insofern lässt sich mit der Informatik auch nicht unmittelbar, d.h. ohne umfassende Reflexion daran anknüpfen, wie es indessen bei Milton et al. in unkritischer Weise geschieht.

Ad (2) Ohne die unter (1) gemachten Ausführungen vorzuschicken, erscheint eine Auseinandersetzung mit Chisholms Kategorien wenig sinnvoll. Denn diese Kategorien zielen genau auf eine einseitig *rationalistische*, auf menschliche Agenten bezogene Metaphysik, die im Zeichen von Chisholms Handlungstheorie bzw. *theory of action and agency* steht. Es geht also nicht um eine ratio-empirische *wissenschaftliche* Metaphysik (Klasse-3-Metaphysik) bzw. um eine ratio-empirische, multiagentenbezogene *techno-wissenschaftliche* Metaphysik (Klasse-4-Metaphysik). Zwar zielt Chisholm gerade in metaphysisch-universaler Weise auf die »ultimate categories of reality«. ³⁷⁷⁶ Auch geht es dabei wie bei Bunge oder Whitehead um »an accurate portrayal of how the world is, independently of our thought«. ³⁷⁷⁷ Allerdings werden diese fundamentalen Grundstrukturen der Realität dabei nicht wie bei Whitehead oder Bunge im Sinne des *Ratio-Empirismus* im Zuge allgemeinsten Theorie in rationaler Reflexion einer *erfahrungswissenschaftlichen Synthese* gewonnen, wie es für Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken charakteristisch ist. Vielmehr vollzieht sich das ganze Unterfangen tatsächlich ausschließlich auf linguistischer Basis, nämlich auf Grundlage des erwähnten *Common Sense-Realismus*. Auf die grundsätzliche Problematik dieses Vorgehens kommen wir weiter unten zurück, wenn deutlich wird, dass sich die fundamentalen Strukturen der Realität nicht nur nicht sachgerecht auf Basis einer solchen linguistischen Analyse bestimmen lassen, sondern vielmehr grundsätzliche Defekte im Kategoriensystem bedingen. Chisholm illustriert dies mit seiner 3D-Substanzmetaphysik ungewollt in anschaulicher Weise; denn sie ist mit der modernen Wissenschafts- und Technologiepraxis in jeder Hinsicht inkompatibel. Vielmehr zeigt sich das Kategoriensystem Chisholms durch grundsätzliche philosophische Erwägungen bestimmt, über die sich jedoch keine techno-wissenschaftlich adäquate Realitätsauffassung gewinnen lässt:

³⁷⁷⁶ Vgl. Chisholm (1996: 3).

³⁷⁷⁷ Vgl. Markie (1999: 305).

Abb. 31:³⁷⁷⁸ Kategorien in Chisholms Metaphysik

Die Kategorien der Wissensontologie benötigen im Sinne des IMKO *OCF* eine direkte metaphysische Korrespondenz; mit Gracia (1999: 156) gilt erneut: »Metaphysicians want to know [...] how knowledge fits within the most general categories and is related to them«. Insofern kann erst die Metaphysik *als ratio-empirisches Unterfangen* jenen Aspekt in das Kategorienschema bringen, das die »ultimate categories of reality« tatsächlich repräsentiert. Über das, was tatsächlich *Realität* ist, lässt sich allein auf Basis revisionärer Metaphysik, konkret mithilfe der techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* bestimmen. Denn nur mit ihr lässt sich auf dem aktuellen Stand der Forschung klären, was tatsächlich *physische* Realität, was *synthetische* Realität und was um virtuelle Aspekte *erweiterte* Realität ist. Mit anderen Worten lässt sich Chisholms »accurate portrayal of how the world is, independently of our thought« auf seiner Metaphysik sicher nicht realisieren, womit sie grundsätzlich abzulehnen ist. Wenn die Ontologie der Informatik mit Blick auf eine dauerhaft stabile Ontologiekonzeption für tatsächlich intelligente AI-Systeme mit Pkt. 6.1.3 nicht an obersten Kategorien und damit an der *Top-level Ontologie* vorbeikommt, wird entsprechend eine Frage für sie zentral: Wie werden die metaphysischen Kategorien jeweils gebildet? Diese Frage ist auf systematische Weise zu beantworten, nämlich auf Basis der in Pkt. 4.1 vollzogenen Klassifizierung der einzelnen Metaphysikvarianten. In der Tat gestaltet sich eine Kategorisierung auf Basis einer Klasse-2-Metaphysik prozedural wie inhaltlich vollkommen anders als auf Basis einer Klasse-3- oder Klasse-4-Metaphysik. Bei einer Klasse-2-Metaphysik wie jener Chisholms werden die Kategorien einseitig durch eine rationale Analyse, die mehr oder minder – teils im OLP-Sinne – mit einer sprachlichen Analyse einhergeht, gewonnen. Nicht umsonst steht Chisholm wesentlich in der Tradition von G.E. Moore, zu dem bereits in Pkt. 3.3.2 festgestellt wurde, dass mit ihm wie mit Strawson die *linguistischen Wende* (linguistic turn) der Analytischen Philosophie beginnt, die nicht zuletzt über Chisholm in der im folgenden Pkt. 5.5 behandelten analytischen Metaphysik mündet. Wie in Pkt. 3.3.2 erwähnt, ist für den OLP-Zweig der Analytischen Philosophie die Methode der Sprachanalyse kennzeichnend, die vor allem auf die logische Analyse sprachlicher Ausdrücke hinausläuft. Folgerichtig werden genau auf diese Weise bei Chisholm die Kategorien gewonnen. Allerdings handelt es sich bei den Kategorien nicht etwa um linguistische Kategorien, sondern um typisch metaphysische Kategorien, wie es Abb. 31 oben illustriert. Genauso werden auf diese Weise die mit den Katego-

³⁷⁷⁸ Quelle: eigene Darstellung nach Chisholm (1989: 162).

rien zusammenhängenden meta-ontologischen Kriterien bestimmt, wie es oben bereits mit der in Pkt. 6.2.5 aufgegriffenen Frage um die 3D- vs. 4D-Alternative deutlich wird. Wie weiter unten gezeigt, ist diese Methode für die Ontologie der Informatik von fataler Konsequenz. Denn das, was als Kategorien bzw. meta-ontologische Kriterien gewonnen wird, steht mitunter im diametralen Widerspruch zu dem, was sich durch eine kritische *ratio-empirische* Analyse als sachgerechte Kategorien bzw. meta-ontologische Kriterien herausstellt. Insofern gehen der *Ratio-Empirismus* und der in Pkt. 3.3.2 erörterte *realistische OE-Ansatzpunkt* Hand in Hand, indem sie sich in der *realistischen Top-level Ontologie* treffen.

Dass die Kategorien bei Chisholm auf rationalistischer wie sprachanalytischer Basis gebildet werden, zeigt sich sehr deutlich bereits auf seiner ersten Gliederungsebene. Hier differenziert Chisholm zwischen dem Kontingenten und dem Notwendigen, wobei im Sinne logisch durchdachter Kategorien gilt: »We define *contingent* things as things that are not necessary«. ³⁷⁷⁹ In der für Klasse-2-Metaphysiken typischen rein *logisch-rationalen* Hinsicht des *a priori* lässt sich gegen eine solche Differenzierung insofern nichts sagen, als eine kategoriale Zuordnung von Entitäten zweifellos stringent vollziehbar ist. Geht es jedoch um die technologische Referenz von Ontologien auf entsprechende *Top-level Kategorien* stellt sich die Sachlage vollkommen anders dar. Zwar besteht in einer solchen technologischen Anwendung kaum das Ziel der Chisholmschen Metaphysik. Doch mit Miltons (2004) TLO-Konzeption muss sie sich schließlich doch daran messen. Im Sinne des universalen Anspruchs, den die Metaphysik besitzt, ist das auch durchaus legitim. In der technologischen Anwendung ist eine solche erste Dichotomie jedoch bereits insofern vollkommen unzweckmäßig, als sich in vielen Fällen gar nicht *a priori* bestimmen lässt, inwiefern sich Entitäten als notwendig oder kontingent kategorisieren lassen. In technologischen Umgebungen, etwa bei technischen Automaten, kann es durchaus sinnvoll erscheinen, bestimmte *Ereignisse*, auf die Milton (2004) zielt, als *notwendige* Entität zu behandeln. Doch das ist auf Basis von Chisholms Kategoriensystem ausgeschlossen. ³⁷⁸⁰ Darüber hinaus sind *Ereignisse* in der Informatik nicht nur räumlich zu fassen, sondern benötigen einen "Zeitstempel"; zudem weisen sie prinzipiell eine zeitliche Dauer auf, die für AI-Inferenzzwecke ebenfalls von wesentlichem Stellenwert sein kann. Chisholm (1990) behauptet jedoch das genaue Gegenteil, indem er explizit eine Konzeption von Ereignissen *ohne* diese zeitliche Komponente propagiert. Natürlich hat er dabei nicht die Zwecke der Informatik bzw. einer Computer- bzw. Digitalmetaphysik im Blick, sondern vielmehr Dinge wie die kausale Handlungsverursachung etwa zum Zwecke ethisch-moralischer Bewertungen. Dabei handelt es sich jedoch um ein völlig anderes Feld. Dass durch Milton et al. nicht in die erforderliche Tiefe vorgestoßen wird, illustriert wiederum einen der vielfältigen Gründe für die große Konfusion in der Ontologiedebatte.

³⁷⁷⁹ Vgl. Chisholm (1996: 17).

³⁷⁸⁰ Vgl. Chisholm (1996: 4).

Offensichtlich wird durch Milton (2004) nicht bedacht, dass es in der Ontologie Chisholms nicht nur um den *Common Sense-Realismus* geht, sondern dass jede Ontologie *metaphysische* Ontologie ist, indem sie nicht nur notwendig eine Reihe metaphysischer Dispositionen voraussetzt, sondern mit Van Inwagen (2011) dabei letztlich *immer kategorial* ist. Jede Kategorie, auch eine vermeintlich *linguistische* Kategorie, ist *metaphysische* Kategorie,³⁷⁸¹ nicht allein mit ihrer jeweiligen relationalen Stellung im Kategoriensystem, sondern auch in ihrer Definition selbst. Hier ist etwa auf den maßgeblichen Unterschied zu verweisen, ob es sich mit Pkt. 6.2.5 um eine 3D- oder 4D-Entität handelt. Indem *Ereignisse* in Chisholms Metaphysik *abstrakte* Sachverhalte bilden, wird gerade in der linguistischen Ausrichtung Chisholms nicht nur deutlich, dass entgegen Varzi (2011) *Ontologie ohne Metaphysik* unmöglich ist, sondern auch, dass Chisholms Ereigniskategorie nicht CPSS-adäquat ist. Denn *Ereignisse* haben in Chisholms Metaphysik eine vollständig andere Bewandtnis als in *Event Streams* Cyber-physischer Systeme (CPS); sie stehen nämlich nicht zuletzt im Zeichen des oben erörterten menschlichen Agenten als Handlungsverursacher, wenn es bei Chisholm (1967b: 114) darum geht, »that the *person* makes certain events happen and hence that agents as well as events may be causes«. Selbst wenn zu erwarten ist, dass es in Zukunft um solche Fragen der Handlungsverursachung auch im AI-Kontext autonomer Robotik gehen wird, sind *Ereignisse* gewiss auch im *technisch-kausallem* Sinne logico-mathematischer Programme auszulegen und nicht in Chisholms metaphysischem OLP-Sinne, der mit Blick auf ethisch-moralische Bewertungsfragen konzipiert ist.

CPS- bzw. MAS-adäquate Ereignisse sind vielmehr im Sinne Whiteheads (1929a), Lemmons (1967) oder Quines (1985a) *raumzeitlich* als 4D-Entitäten zu fassen. Das ist mit Blick auf die 4D-TLO-Ansätze von Russell/Norvig (2010), Sowa (2000) oder Partridge (1996) von besonderer Relevanz. Dabei ist bemerkenswert, dass diese 4D-TLO-Ansätze im Gegensatz zu den meisten 3D-Ansätzen von ausgewiesenen AI-Experten stammen, für die grundsätzliche AI-Zusammenhänge entscheidend sind. Für sie stellen ontologische Traditionen, die sich unter *techno-wissenschaftlichen* Gesichtspunkten als antiquiert und unbegrundbar erweisen, keine geeignete Bezugsbasis dar. Indessen heißt das nicht, dass diese auf AI-Expertise stehenden 4D-TLO-Ansätze nichts mit philosophischer Ontologie zu tun haben. Vielmehr ist das genau Gegenteilige der Fall; sie sind explizit durch und durch metaphysisch geprägt, und zwar durch jene, die entweder direkt oder mindestens mittelbar auf die Whiteheadsche Ereignis- bzw. Prozessmetaphysik zurückgeht. Bei Chisholm (1996) geht es jedoch um ein vollständig anderes, nämlich *linguistisches* Ereignisverständnis.³⁷⁸² Damit wird auch mit diesem Fall der im ersten Teil erörterte gängige Fehlschluss, der in der Idee eines *TLO-Mappings* nochmals illustriert. Diese Idee ist mit Verweis auf die Disparität etwa der Metaphysiken Bunes, Chisholms oder Whiteheads abwegig und unhaltbar; gleichzeitig macht sie das Problem greifbar, dass Ontologie nicht als *integrierte meta-*

³⁷⁸¹ Nicht umsonst ordnen sich *linguistische* Ontologieansätze selbst der deskriptiven *Metaphysik* zu.

³⁷⁸² Vgl. hierzu ergänzend Lombard (1978).

physische Wissensontologie im Zeichen des IMKO OCF praktiziert wird. Was TLO-Kategorien verschiedener TLO-Systeme auszeichnet ist der Umstand, dass ihre Kategorien *fundamental* heterogen sind. Wäre das anders, würde das ontologische Kernproblem nicht in der TLO-Inkommensurabilität bestehen und die Problematik konkurrierender TLO-Ansätze ließe sich ohne weiteres auflösen, was indessen nicht der Fall ist. Es macht einen grundsätzlichen Unterschied, ob *Ereignisse* in einem 3D- oder 4D-Zusammenhang stehen, ob sie sich auf *konkrete* oder *abstrakte* Sachverhalte beziehen, ob sie Entitäten aktueller oder möglicher Welten abbilden, oder schließlich, ob es sich überhaupt um ontische oder vielmehr um epistemische Kategorien handelt. Darüber hinaus geht es um grundsätzlichere Fragen, die etwa mit C.F. von Weizsäcker bzw. Wheeler bis zum oben erörterten Streit um den "Urstoff" des Universums oder mit Wiener zum Streit um die Information als eigenständiger physikalischer Größe reichen.

Quine (1977) erkennt, dass sich ontologische Fragen allein im Kontext wissenschaftlicher Ontologie bzw. Theorien erörtern lassen. Dabei ist diese Feststellung, die letztlich die gesamte analytische Metaphysik in ihrem fehlenden Empirismus bzw. Ratio-Empirismus konterkariert, im Kontext der Informatik noch weitaus bedeutender als in jenem der Philosophie bzw. der Wissenschaftstheorie. Denn in der Informatik muss mit Verweis auf die Systemintegration bei kombinierten Informations- und Wissenssystemen eine zwingende ontologische Konsistenz gegeben sein. Mit anderen Worten können wissenschaftliche, technologische und praktische Ontologien nicht in einem semantischen Widerspruch stehen. Dabei ist klar, dass sich diese ontologische Konsistenz nicht vom falschen Ende her aufschließen lässt, wie es jedoch mit Miltons (2004) *Common Sense-Realismus* der Fall wäre. Vielmehr ist mit Quine (1977) am anderen Ende anzusetzen, wobei entgegen diesem außer Frage steht, dass sich eine solche tatsächliche Konsistenz für alle Domänen allein auf Basis eines metaphysischen Gesamtentwurfs realisieren lässt. Der Weg führt also nicht über den Empirismus als solchen, sondern über den metaphysischen *Ratio-Empirismus*, der mit Verweis auf Pkt. 4.3 auf einer adäquaten empiristischen Universalsynthese aufsetzt. Dass Quines (1977) Position der Fixierung auf den wissenschaftlichen Zusammenhang richtig ist, der mit der zentralen *semantischen Mittlerstellung der Technologie* allerdings sachgerechter als *techno-wissenschaftlicher* Kontext aufgefasst werden muss, zeigt sich im Vergleich zu Chisholm. Dabei resultiert die Abwegigkeit von Chisholms Position nicht nur daraus, dass sie letztlich in keiner Weise dem universalen Anspruch der Metaphysik genügen kann, sondern vor allem dadurch, dass Milton (2004) sie auf den technologischen Zusammenhang projiziert. Dann aber erweist es sich bei automatisierten AI-Systemen als problematisch, wenn Chisholm (1996) zu dem oben erwähnten "Zeitstempel" von Ereignissen feststellt:

»What philosophers call *times* will be shown to be dispensable. There are good reasons for rejecting the view that events are constructs out of attributes and times. Statements such as 'He has done that

seven times' are reducible to tensed statements that do not ostensibly refer to times but only to temporal relations.«³⁷⁸³

Chisholms (1970a) *Theory of Events* setzt an der *Wiederholung* von Ereignissen an, womit Ereignisse bei ihm keine *konkreten*, sondern *abstrakte* Sachverhalte (states of affairs) bilden. Für Chisholm gilt: »events and propositions are species of states of affairs«;³⁷⁸⁴ dabei bilden solche Sachverhalte »those things which are capable of being the objects of propositional attitudes«.³⁷⁸⁵ Geht es jedoch um *Ereignisse* in techno-wissenschaftlichen Zusammenhängen, sind sie zuvorderst auf konkrete Systeme zu beziehen, wie es auch bei Whitehead, Bunge oder Quine geschieht. – Im Kontext der Ontologie der Informatik wird damit entsprechend deutlich, dass es insgesamt ein Trugschluss ist, Kategorien *sprachanalytisch* herleiten zu wollen, womit sich der linguistische OE-Ansatzpunkt erledigt. Die Probleme beginnen bereits damit, dass man auf Basis der neo-aristotelischen Substanz schnell versucht ist, die *Weltauffassung* in ein endurantistisches 3D-Schema zu pressen. Wie in Pkt. 5.3 erwähnt, lässt sich jedoch die Existenz solcher Substanzen wissenschaftlich nicht belegen, und ihre Voraussetzung ist gerade auch im technologischen Zusammenhang dysfunktional bzw. kontraproduktiv. Indem jede *universale* Ontologie auch dem techno-wissenschaftlichen Anspruch genügen können muss, läuft eine solche Substanzposition letztlich auf eine *Pseudoscience* hinaus, denn anders ist sie nicht begründbar.

In Fundamentalkritik solcher infalliblen Klasse-2-Metaphysiken ist zu fordern, dass jede Metaphysik mindestens in allen Grundsatzfragen den Austausch mit den Wissenschaften suchen muss, und zwar gerade dann, wenn sie wie Chisholm explizit den Anspruch von »ultimate categories of reality« artikuliert.³⁷⁸⁶ Jeder Metaphysikansatz, der davon abstrahiert, kann nicht ernsthaft zur Grundlegung anderer Disziplinen, allen voran nicht der Ontologie der Informatik herangezogen werden. Wenn Computer als "*Reality Machines*" aufzufassen sind, ist zu berücksichtigen, dass sie als interaktive Automaten *technisch-kausal* in hochkomplexen technologischen Zusammenhängen von "*nontoy worlds*" stehen. Somit ist von allen naiven Naherungsweisen an die Realität abzusehen und die bestmögliche zu fordern. Zweifelsohne kann diese allein auf eine *techno-wissenschaftliche* Herangehensweise bzw. Fundierung solcher "*Reality Machines*" hinauslaufen, womit eine *techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik* zu postulieren ist. Alle anderen Metaphysikkonzeptionen sind insofern inferior, als sie den universalen Anspruch der Metaphysik grundsätzlich konterkarieren.

Vor diesem Hintergrund ist Teilen der Praxis der Informatik vorzuwerfen, dass sie auf die verschiedensten philosophischen Ontologien und Kategoriensysteme rekurrieren, ohne diese hinreichend zu reflektieren. Das wird im Fall von Miltons (2004) Chisholm-TLO besonders deutlich, gilt aber für andere TLO-Ansätze gleichermaßen. Im Ergebnis kommt

³⁷⁸³ Chisholm (1996: 4), Hvh. im Orig.

³⁷⁸⁴ Vgl. Chisholm (1970a: 20); vgl. hierzu auch Chisholm (1976a: 114 ff.).

³⁷⁸⁵ Vgl. Chisholm (1970a: 19 f.); vgl. ergänzend Chisholm (1971, 1985).

³⁷⁸⁶ Vgl. Chisholm (1996: 3).

es zur Koexistenz des breiten Spektrums konkurrierender TLO-Theorieanwärter, die der Praxis der Informatik mehr schadet als nützt. Es ist richtig, dass die Informatik nicht um den Rekurs auf die philosophische Ontologie und entsprechende Kategoriensysteme umhin kommt. Doch ist darauf zu achten, in welcher Metaphysikklasse diese Systeme gebildet werden. Indem für die *Top-level Ontologie* der Informatik das Moment der *universalen* Anwendung konstituierend ist, muss sich ein solcher Rekurs auf Klasse-4-Metaphysiken beschränken, also auf Metaphysiken, die techno-wissenschaftlicher Natur sind, was entsprechende Kategoriensysteme nach sich zieht. Chisholms Kategorien zielen nicht auf Cyber-physische Systeme (CPS) und zeigen sich auch als kategoriale Basis für Multiagentensysteme (MAS) völlig ungeeignet:

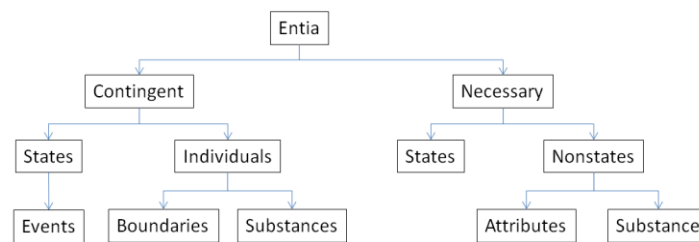


Abb. 32:³⁷⁸⁷ Kategorien in Chisholms kategorialer Theorie

Chisholms Kategorien zielen vielmehr auf typisch *philosophische* Fragestellungen, nicht auf die Repräsentation *wissenschaftlicher* Zusammenhänge oder die Klärung der fundamentalen Strukturen der Realität für *technologische* Anwendungszwecke. Wenn Chisholm zwei Arten von Substanzen, nämlich die *kontingente Substanz* und die *notwendige Substanz* ins Feld führt, hat das wenig mit Wissenschaft oder Technologie zu tun. Vielmehr geht es um zwei typisch philosophische Aspekte, nämlich zum einen um die Frage, wie menschliche Personen kategorial zu bestimmen sind, indem sie für Chisholm zwar *kontingente Substanzen* repräsentieren, aber nicht auf *materiale Substanzen* reduziert werden können:

»There are *substances* and there are *events*. Neither can be defined in terms of the other. Substances are individuals that are not boundaries. Events are contingent states. Material things are substances and persons are substances. But it is problematic whether persons are material things.«³⁷⁸⁸

Deshalb werden sie als gesonderte *einfache Substanzen* bzw. – in Anlehnung an Leibniz – als *Monaden* behandelt, wobei weiter unten gezeigt wird, was damit gemeint ist, indem es dabei um "*mental substances*" bzw. "*mind stuff*" geht, auf deren Wesen Chisholm allerdings nicht weiter eingeht. Zum anderen bildet die Kategorie der *notwendigen Substanz* demgegenüber nach philosophischer Manier die Gottheit ab. Mit solchen Argumenten muss es *Substanzen* geben, an deren Stelle bei Whitehead und Russell "*systems of events*" treten, die wiederum für Whiteheads (1929a) Klasse-4-Metaphysik konstituierend sind. Darüber hinaus werden bei Chisholm (1994) *abstrakte Entitäten* – der partiell platonistischen Natur seiner Metaphysik entsprechend – nochmals gesondert herausgestellt:

³⁷⁸⁷ Quelle: eigene Darstellung nach Chisholm (1996: 3).

³⁷⁸⁸ Chisholm (1996: 4).

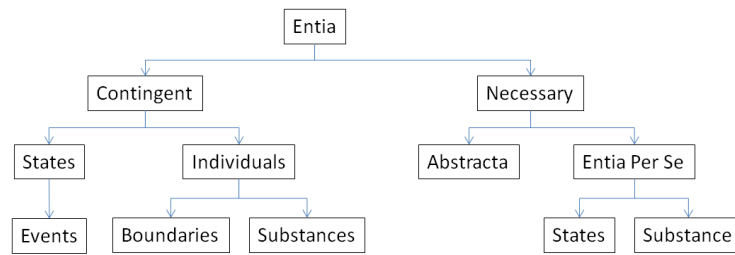


Abb. 33:³⁷⁸⁹ Abstracta (eternal objects) in Chisholms kategorialer Theorie

Während bei Chisholm *Kontingenz* und *Notwendigkeit* im Zuge der ersten ontologischen Dichotomie obersten kategorialen Status besitzen, kommen sie in keinem andern der in Pkt. 6.1.3 behandelten Kategoriensysteme überhaupt vor. Dieser Umstand lässt sich einfach erklären: es handelt sich bei Chisholm – anders als bei Bunge oder Whitehead – um ein Kategoriensystem, das in erster Linie für die Zwecke der *Metaphysik* und einer allein darauf bezogenen *Epistemologie* als solche gedacht ist. Zwar ist die Differenzierung zwischen dem Kontingenten und dem Notwendigen auch für Wissenschaft wie Technologie von Relevanz. Doch muss es fragwürdig erscheinen, mit genau dieser ontologischen Dichotomie die kategoriale Ordnung zu beginnen. Für die Zwecke der Informatik, sowohl was die Realitatsmodellierung als auch die Wissensrepräsentation anbetrifft, kann dies genauso wenig überzeugend erscheinen.

Ad (3) Für das Dilemma, dass Chisholms Kategoriensystem nicht als Grundlage einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption herangezogen werden kann, sind eine Reihe von Aspekten ausschlaggebend. Zuvorderst ist darauf zu verweisen, dass Chisholms Metaphysik die für CPS relevanten fundamentalen Strukturen der Realität schon deshalb nicht sachgerecht "abbilden" kann, weil es sich nicht um eine 4D-Konzeption handelt. Zudem ist diese Metaphysik nicht ratio-empirisch veranlagt, so dass insgesamt keine allgemeinste Theorie der Realität auf dieser Grundlage möglich ist. Die Probleme setzen sich insbesondere in technologischer Hinsicht fort. Zwar sind für Chisholms Metaphysik *Ereignisse* zentral, doch verlangt eine CEP- bzw. CPSS-adäquate Ereigniskategorie eine Orientierung an *konkreten* Ereignissen, während Ereignisse für Chisholm *abstrakte* Sachverhalte bilden. Eine CPSS-adäquate Ereigniskategorie fordert eine entsprechende Individuierung; es liegt nahe, die Identität von Ereignissen im Sinne Whiteheads (1929a), Lemmons (1967) oder Quines (1985a) raumzeitlich zu begründen, was gerade auch in CPS-Kontexten nicht anders darstellbar ist.

Ad (4) Milton sieht die Stärke der Chisholmschen Metaphysik gerade in ihrem *Common Sense-Realismus*; Chisholm bezeichnet seinen Ansatz als "*critical commonsensism*", der auf einem Vertrauen in die eigene *Rationalität* basiert.³⁷⁹⁰ Das ist in dem Sinne gemeint, als die eigene Rationalität helfe, nicht nur die Prämissen, sondern auch die eigenen Schluss-

³⁷⁸⁹ Quelle: eigene Darstellung nach Chisholm (1994: 499).

³⁷⁹⁰ Vgl. Chisholm (1996: 4).

folgerungen zu korrigieren.³⁷⁹¹ Insofern könnte man Chisholms Metaphysik auf den ersten Blick durchaus als metaphysische Grundlegung für eine agentenbezogene AI-Ontologie in Erwägung ziehen. Ob darin die tatsächlich richtige Orientierung für eine universale Ontologiekonzeption bestehen kann, lässt sich indes einfach beantworten: Der *Common Sense-Realismus* stellt einen *linguistischen* OE-Ansatzpunkt dar, keinen realistischen. Entsprechend zieht dieser auch eine *linguistische* Top-level Ontologie nach sich. Was Chisholm als *realistische* Kategorien bzw. als »ultimate categories of reality« bezeichnet,³⁷⁹² bezieht sich auf ein sprachlich konzipiertes Schema der fundamentalen Grundstrukturen der Welt. D.h. es handelt sich um die Grundstrukturen der Sprache mitsamt der begrifflichen Kategorien. Damit geht es nicht etwa um fundamentale Grundstrukturen, die im ratio-empirischen Sinne allgemeinsten Theorie aus den Erfahrungswissenschaften gewonnen werden. Diese besitzen nicht nur den unschätzbaren Vorteil, dass sie aktueller sind als ein aristotelischer *Common Sense* und dass sie als Theorien die Strukturen in ihrer ganzen Tiefe freilegen. Vielmehr ist dieser Vorteil auch darin zu sehen, dass revisionäre Kategorien mit dem hypothetisch-deduktiven Charakter von Theorien auch fallibler Natur sind. Das macht im Ganzen die revisionäre Metaphysik aus, während die Vertreter des *Common Sense-Realismus* die Ansicht vertreten, dass für die Sprache immer die Harmonie-These gelte. Das sprachliche *Common Sense-Schema* bleibt somit nicht nur im Allgemeinen unverändert, sondern es fehlt auch jedes Prüfkriterium. Im Grunde ist darin die ärgste Form eines *naiven Realismus* zu sehen, indem man meint, dass die Dinge im Wesentlichen so sind, wie sie durch jahrhundertealte sprachliche Konstrukte vermittelt werden. Entsprechend besteht ein maßgeblicher Unterschied zwischen deskriptiver und revisionärer Metaphysik.

Insofern handelt es sich bei Chisholm in typischem Vollzug analytischer Metaphysik um deskriptive Metaphysik. Demgegenüber bedarf die revisionäre Metaphysik des *Ratio-Empirismus*, weil es dieser ist, auf dessen Basis die Revision zu vollziehen ist. Damit beschränkt sich die revisionäre Metaphysik auf die Klasse-3- und Klasse-4-Metaphysik, die Chisholms Metaphysik gerade nicht ist. Somit zeigt sich nochmals die Problematik, statt einer Klasse-4-Metaphysik mit Chisholm eine Klasse-2-Metaphysik vorauszusetzen. Denn letztere impliziert ein völlig anderes Kategoriensystem, das wiederum disparate meta-ontologische Dispositionen, etwa bzgl. des Widerstreits *Endurantismus* vs. *Perdurantismus* impliziert. Vor allem aber sind die kategorialen Entwürfe bzw. meta-ontologischen Positionen, die auf Basis von Klasse-2-Metaphysiken gewonnen werden, nicht nur andere, sondern es sind vor allem die *falschen*.

Chisholm ist der prominenteste Verfechter des dem späten Brentano zugeschriebenen *Prinzips des mereologischen Essentialismus*,³⁷⁹³ wonach im Rahmen einer extensionalen Mereologie jeder Teil einen essentiellen Bestandteil des Ganzen bildet, dessen Teil er

³⁷⁹¹ Ibid.

³⁷⁹² Vgl. Chisholm (1996: 3).

³⁷⁹³ Vgl. hierzu Chisholm (1973b; 1976a: 148 ff.).

ist.³⁷⁹⁴ Auf Basis des strikten Gebrauchs des *Identitätsprädikats*, der für das Prinzip des mereologischen Essentialismus verpflichtend ist, manifestiert sich für Chisholm die 3D-Perspektive. D.h. diese leitet sich aus der sprachlichen Analyse ab, nicht etwa aus einer kritischen Auseinandersetzung mit Theorien wie Einsteins Relativitätstheorie, wie es ein sachgerecht verstandener *Ratio-Empirismus* bedingt. Chisholms *Common Sense-Realismus* gelangt aber auch in vielen anderen Hinsichten an seine Grenzen, wenn es darum geht, eine sachlich begründete metaphysische Basis für die Ontologie zu schaffen. Indem sich Chisholm nicht anders zu helfen weiß, greift er bei der Begründung der Selbstidentität menschlicher Personen auf *einfache Substanzen* bzw. – in Anlehnung an Leibniz – auf *Monaden* zurück.³⁷⁹⁵ Diese bilden für Chisholm insofern *nicht-materielle Substanzen*, als sie keine körperlichen Teile aufweisen und somit auch keine verlieren oder gewinnen können.³⁷⁹⁶ Chisholm vermeidet hier explizit und bewusst die Rede von *"mental substances"*,³⁷⁹⁷ vielmehr vertritt er die Ansicht, dass man bei der Frage nach der personalen Identität von einem *"mind stuff"* auszugehen habe, »that is both nonmaterial and nonspatial«. ³⁷⁹⁸ Materialisten wie Bunge würden zu Recht einwenden, dass es vollkommen unklar bleibt, was einen solchen *"mind stuff"* genau ausmacht. Chisholm meint der Debatte entgehen zu können indem er darauf verweist, dass die Klärung aller stofflichen Fragen in die Sphäre der Naturwissenschaften falle.³⁷⁹⁹ An diesem Beispiel wird deutlich, dass es für alle Wissenschaften, alle Technologien und letztlich auch für alle Praxis unmöglich ist, ein tatsächlich begründbares universales Kategoriensystem zu schaffen ohne mit Verweis auf Pkt. 4.1 über den *Ratio-Empirismus* eine Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysik zu vollziehen.

Ad (5) Mit den vorgenannten Punkten steht außer Frage, dass Chisholms Metaphysik scheitert, wenn es um die Frage der metaphysischen Fundierung der Informatik geht. In epistemologischer Hinsicht ist zwar hervorzuheben, dass analog zu den metaphysischen Kategorien der Realität eine *realistische* Erkenntnistheorie vorausgesetzt wird.³⁸⁰⁰ Tatsächlich sind die Positionen Chisholms für die epistemologische AI-Debatte zweifelsohne von Relevanz; allerdings nicht im Sinne eines positiven Urteils. Vielmehr erscheint gerade Chisholm (1977, 1982b) als geeigneter Hintergrund, um zu zeigen, dass es gerade im AI-Zusammenhang wenig sinnvoll ist, *Wissen* als Unterklasse von *Überzeugungen* (beliefs) zu behandeln. Also davon auszugehen, dass Wissen *immer an ein Subjekt gebunden* ist. Nach Lesart Chisholms wie der AI-Tradition ist damit impliziert, dass nicht nur *beliefs*, sondern

³⁷⁹⁴ Konkreter lässt sich dies mit Chisholm (1973b: 581 f.) wie folgt darlegen: »The principle may be formulated by saying that, for any whole x, if x has y as one of its parts then y is part of x in every possible world in which x exists. The principle may also be put by saying that every whole has the parts that it has necessarily, or by saying that if y is part of x then the property of having y as one of its parts is essential to x«.

³⁷⁹⁵ Vgl. Chisholm (1996: 100); vgl. hierzu auch Chisholm (1976a: 104 ff.).

³⁷⁹⁶ Vgl. Chisholm (1996: 94).

³⁷⁹⁷ Vgl. Chisholm (1996: 93).

³⁷⁹⁸ Vgl. Chisholm (1996: 94).

³⁷⁹⁹ Ibid.

³⁸⁰⁰ Vgl. Chisholm (1996: 5).

auch *Wissen* immer an *Agenten* gebunden ist. Würde man davon ausgehen, wäre damit ein Kardinalfehler verbunden wenn es gilt, die Ontologie und Epistemologie in einer Weise zu konzipieren, die der Realisierung von *Superintelligenz* nicht von vornherein im Wege steht. Vielmehr erscheint es mit Verweis auf Pkt. 3.2.3 sowie Pkt. 3.5 erforderlich, *Wissen* im Popperschen Sinne des Kritischen Rationalismus im Zeichen *objektiven Wissens* zu behandeln. Denn die Idee superintelligenter AI-Systeme, d.h. Systeme, die sicher und stabil sind, besteht in KR-Hinsicht gerade darin, die *subjektivistischen* W2-Agentenwelten im Kontext *objektivierter* W3-Ontologien resp. objektiver W1- bzw. W4-Ontologien zu spiegeln bzw. zu falsifizieren. Auf Basis einer transdisziplinären integrierten Ontologiekonzeption lässt sich entsprechend in KR-Hinsicht eine solche *Superintelligenz* realisieren, mit der AI-Systeme in "*nontoy worlds*", d.h. im *realweltlichen* Zusammenhang erst eine weitreichende Intelligenz besitzen können. Daran aber scheitert Chisholms Konzeption in mehrfacher Hinsicht; die Umsetzung dieser Konzeption erfordert vielmehr andere Architekturen, wie sie in Pkt. 3.5 mit der CYPO-Ontologiekonzeption umrissen ist.

Damit lässt sich schlussendlich im Sinne eines Fazits feststellen, dass Chisholms Metaphysik als Klasse-2-Metaphysik grundsätzlich inferior gegenüber den in Pkt. 4.1 abgegrenzten Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken ist. Insofern macht Miltons (2004) Ansinnen, der Buneschen Metaphysik Chisholms *Common Sense-Realismus* im Sinne der Chisholm-TLO entgegenzusetzen zu wollen, offenbar keinen Sinn. Denn damit wäre impliziert, dass eine Klasse-3-Metaphysik durch eine inferiore Klasse-2-Metaphysik ersetzt würde. Vielmehr schlägt sich auch Chisholm (1996) letztlich mit seinen eigenen Waffen, wenn er in diesem Zusammenhang konstatiert:

»If it is a *law of logic* that if A then B, then conceivably a rational being could know a priori, just by reflection, that it must be the case that if A occurs, then B occurs. But *laws of nature* can be ascertained only as a result of *empirical investigation* and not a priori.«³⁸⁰¹

Ungeachtet der Defekte, die in der Buneschen Metaphysik in naturwissenschaftlicher Hinsicht festzustellen sind, hat die Analyse in Pkt. 4.1 gezeigt, dass Bunes Konzeption der Metaphysik als im Zeichen des *Ratio-Empirismus* stehende *wissenschaftliche* Metaphysik an sich den richtigen Zugang zur Metaphysik bedeutet. Das gilt auch dann, wenn gerade im Kontext der Informatik deutlich wird, dass auch diese durch eine *techno-wissenschaftliche* Klasse-4-Metaphysik zu ersetzen ist. Mit den folgenden drei Punkten wird abschließend stichpunktartig zusammengefasst, warum Chisholms Metaphysik keine metaphysische Referenzbasis für die Ontologie der Informatik darstellen kann:

1. Chisholms Ontologie basiert auf einer Substanzmetaphysik, die in der OLP-Tradition sprachphilosophisch verankert ist, woraus mit Quine (1977) fundamentale linguistische Defekte resultieren. Ihr fehlt als Klasse-2-Metaphysik das empirische Moment, d.h. der *Ratio-Empirismus* der Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysik. Chisholms Metaphysik stellt als solche in keiner Weise auf eine Computer-

³⁸⁰¹ Chisholm (1996: 80), Hvh. des Verf.

bzw. Digitalmetaphysik ab und eignet sich entsprechend grundsätzlich nicht für die Zwecke der Informatik.

2. Es handelt sich um eine Ontologie, die ihre für die Zwecke der Informatik verfehlte 3D-Perspektive sprachphilosophisch und nicht erfahrungswissenschaftlich bzw. technologisch begründet. Ereignisse werden im grundsätzlichen Unterschied zu Whitehead oder Quine weder als 4D-Entitäten noch als konkrete Entitäten verstanden. Damit ist eine solche Ereigniskonzeption für die Zwecke der Informatik unhaltbar und Miltons (2004) Rekurs auf Chisholm im Sinne der erforderlichen ontologischen Konsistenz in keiner Weise gerechtfertigt.
3. Der aristotelische *Common Sense-Realismus* eröffnet insofern eine verfehlte Konzeption der Ontologie, als sich über diesen keine *Scientific Ontologies* bzw. technologische Ontologien erschließen lassen. Das ist allein auf umgekehrtem Wege möglich, wobei technologischen Ontologien eine *semantische Mittlerfunktion* zwischen Wissenschaft und Technopraxis zukommt.

5.5 Zum TLO-Rekurs auf die Analytische 3D-Ontologie resp. Metaphysik

»In more recent times the focus of analytic philosophy has shifted from fundamental ontological questions regarding Being and Belonging to questions regarding language (the 'linguistic turn' [...]). This assumes that ontological confusion basically results from the way people talk about the world.«

— Robert L. Ashenhurst (1996: 320)

Für die AI-Ontologie sind die analytische Ontologie resp. die analytische Metaphysik und damit die Analytische Philosophie traditionell von großem Interesse. In Bezug auf die Metaphysik sollte dabei nicht unerwähnt bleiben, dass diese mit der Analytischen Philosophie gerade in jener Disziplin die umfassendste aller Ruckbesinnungen erlebt, die sie mit ihren Vorluferpositionen noch am heftigsten angegriffen hatte.³⁸⁰² Dabei wurde die Metaphysik innerhalb dieser Tradition selbst wiederbelebt; sie wurde ihr also nicht von außen angetragen.³⁸⁰³ Indem es sich bei der Analytischen Philosophie genauer um die *linguistische Philosophie* (linguistic philosophy) handelt, besteht in ihr das konstituierende Paradigma für den in Pkt. 3.3.2 kritisierten linguistischen OE-Ansatzpunkt, der im Widerstreit mit dem realistischen OE-Ansatzpunkt steht. Unter "*linguistic philosophy*" versteht Rorty (1967: 3) »the view that philosophical problems are problems which may be solved (or dissolved) either by reforming language, or by understanding more about the language we presently use«. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Ontologie bzw. Metaphysik in der Analytischen Philosophie, die im Wesentlichen sprachphilosophische Analyse ist, in zwei große Teile zerfällt, nämlich in einen *idealsprachlichen* Zweig (ILP) und einen *normalsprachlichen* (bzw. natürlichsprachlichen) Zweig (OLP). Der Unterschied zwischen diesen beiden Zweigen zeigt sich indessen weitaus größer als es die beiden Akronyme vermuten

³⁸⁰² Vgl. auch P.M. Simons (2009a: 6 f.).

³⁸⁰³ Vgl. auch P.M. Simons (2001: 307).

lassen. Auch die an sie zu richtenden Kritikpunkte sind andere, weil sie sich zum einen im OLP-Paradigma auf die schwerwiegende Verwechslung von Alltagssprache mit Ontologie beziehen, zum anderen im ILP-Paradigma auf dem fehlenden ratio-empirischen und damit metaphysisch-kategorialen Unterbau der mathematischen Logik gründen. OLP-Philosophen erachten die Alltagssprache als korrekte Sprache, während ILP-Philosophen dem kritisch gegenüberstehen. Dennoch gilt mit Rorty (1967: 8) »All linguistic philosophers talk about the world by means of talking about a suitable language. This is the linguistic turn, the fundamental gambit as to method, on which ordinary and ideal language philosophers (OLP, ILP) agree«.

Wenn außer Zweifel steht, dass die AI-Ontologie metaphysisch zu begründen ist, und dabei der in Pkt. 6.2.2 nochmals aufgegriffene Widerstreit zwischen revisionärer und deskriptiver Metaphysik im Kontext der in Pkt. 3.3.2 behandelten OE-Ansatzpunkte elementar ist, führt in der Ontologiedebatte kein Weg an der Diskussion der analytischen Ontologie resp. Metaphysik vorbei. Wie mit Pkt. 3.1 deutlich wurde, liegen die Anfänge der Ontologie der Informatik mit Mealys (1967) bzw. McCarthy/Hayes' (1969) Rekurs auf Quine (1948) nämlich genau hier. In der Tat ist es diese Disziplin, um die sich viele wichtige wie problematische Aspekte drehen. Das betrifft etwa die Frage der Existenzmodi. Das betrifft die Konzeption möglicher Welten wie die strikt empiristische Referenz. Das betrifft Hayes' (1979) "*toy problems*" und die mit "*nontoy worlds*" korrespondierenden cyberphysischen bzw. *realweltlichen* AI-Systeme. Oder sie ist ausschlaggebend, wenn die Rolle der normalen Sprache bzw. Alltagssprache zu klären ist. In diesem letzten Punkt geht es mit Pkt. 3.3.2 um die Frage, ob die normale Sprache bzw. das OLP-Paradigma *weltenkonstituierend* oder *weltenbeschreibend* ist, bzw. ob sie den primären oder lediglich einen – zum Zwecke der Vereinfachung – beschreibenden sekundären OE-Ansatzpunkt darstellt, wie es etwa im SBVR-Fall gegeben ist. In jedem der genannten Fälle ist die Analytische Philosophie gefordert, sowohl in positiver wie in negativer Hinsicht. Hierfür ausschlaggebend ist die Tatsache, dass jede formale Repräsentation entweder *idealsprachlich* oder *normalsprachlich* erfolgt, oder ggf. kombiniert. Gleichzeitig implizieren die zugrundezulegenden Axiome die Klärung von Sachverhalten, wie sie Gegenstand des OLP- bzw. ILP-Paradigmas sind – wenn sie sich natürlich auch nicht auf diese Paradigmen begrenzen.

Der OLP-Ausgangspunkt, auf den speziell Bunges (1963: 4 ff.) scharfe Kritik der Analytischen Philosophie zielt, wird zumeist in Wittgensteins (1953) Spätwerk gesehen. Demgegenüber ist die Bestimmung des ILP-Ausgangspunkts schwieriger, wenn man berücksichtigt, dass die ILP wesentlich auf der mathematischen Logik aufbaut. Insofern ist zunächst nach dem Ausgangspunkt der mathematischen Logik zu fragen, und dieser wird entweder bei Leibniz oder bei Boole gesehen. Tarski (1966: 32, Fn. 1) vertritt etwa die Auffassung, die *mathematische Logik* sei bereits durch Leibniz begründet worden, habe sich aber erst mit Boole stetig entwickelt. Dagegen sehen etwa Whitehead (1901: 140),³⁸⁰⁴

³⁸⁰⁴ Vgl. zur Whitehead-Rezeption auf Boole auch Quine (1941).

Russell (1917: 74), Hilbert/Ackermann (1928), Kneale (1948: 175) oder Feys (1955) in Boole (1847, 1848) den eigentlichen Begründer der mathematischen Logik. Tatsächlich ist es Boole, der die Leibnizsche *Characteristica universalis* weiterentwickelt,³⁸⁰⁵ indem er mit seinem algebraischen Logikkalkül die erste vollständige und entscheidbare Formalisierung für aussagenlogische Tautologien vorlegt. Hilbert/Ackermann (1928: 1) vertreten gar die Auffassung, dass auf Boole »die gesamte spätere Entwicklung« zurückgehe. Diese Position findet sich ferner etwa bei Weidner (1917: 9). Innerhalb der Analytischen Philosophie liegt ein weiterer wichtiger Ausgangspunkt indessen insofern bei Frege, als hier die Idee der *Logik als Universalsprache* entwickelt wird. Nach Dummett (1973) besteht in Frege der erste Sprachphilosoph, auf den die Analytische Philosophie ihre Ursprünge zurückführt. Auf dieser Basis sehen Quine (1985b: 767), Dummett (1959: 205; 1973: xiv; 1978: 66, 87) oder Boolos (1998: 3, 143 f., 237) in Frege (1879) gar den *eigentlichen* Begründer der mathematischen Logik, der auch für Tarski (1966: 32, Fn. 2) »ohne Zweifel der größte Logiker des 19. Jh.s gewesen« ist. Tatsächlich hat Frege den ersten aussagenlogischen Kalkül mit Schlussregeln entwickelt.³⁸⁰⁶ Vor diesem Hintergrund heißt es etwa bei Quine (1965: 14): »The first branch of mathematical logic to reach maturity was the so-called algebra of logic, which was founded by Boole (1847) and improved by Jevons, Peirce, and Schröder«; während Quine (1965: 71) dies an späterer Stelle um die Rolle Freges ergänzt: »Frege (1879) was the first to devise a general notation of quantification, using auxiliary variables in the modern fashion. So important was this step that we might indeed look upon Frege, rather than Boole, as the founder of modern logic«. Indem die in Pkt. 5.1 diskutierte Ontologie Quines, in der ein wichtiger Vorläufer der analytischen Ontologie besteht, für den ILP-Zweig maßgeblich ist, zeigt sich mit Blick auf seinen ontologischen Realismus, Empirismus und Naturalismus, dass innerhalb der Analytischen Philosophie mit dem ILP- und OLP-Paradigma letztlich größere Widersprüche bestehen.

Wenn es um die Frage der zentralen Unterschiede zwischen dem OLP- und ILP-Zweig *linguistischer Philosophie* geht, ist zum einen der Stellenwert der normalen Sprache, zum anderen damit zusammenhängend der Gebrauch der mathematischen Logik anzuführen:³⁸⁰⁷ OLP-Verfechter vertreten die Ansicht, dass die normale Sprache bzw. Alltagssprache *nicht defizitär* ist und somit die OLP-Sprachanalyse eine geeignete Grundlage für Erkenntnisprozesse darstellt.³⁸⁰⁸ Die ILP-Protagonisten bestreiten dies regelmäßig; für sie weist die normale Sprache bzw. Alltagssprache Defizite auf und ist daher nicht nur einer Revision zu unterziehen, sondern letztlich idealsprachlich, also durch formale Sprachen zu ersetzen.³⁸⁰⁹

³⁸⁰⁵ Das gilt auch dann, wenn Scholz (1961: 151) konstatiert, dass die Logik Booles und seiner unmittelbaren Nachfolger nicht das erreicht, was Leibniz eigentlich gewollt hat, und dabei auf Frege verweist. Andere, wie Ernst Schröder (1877: iii) konstatieren, dass »das von Leibniz aufgestellte Ideal eines Logikkalkuls [sic!] durch George Boole [...] eine Verwirklichung gefunden hat«, ohne Hvh. des Orig.

³⁸⁰⁶ Vgl. hierzu auch Scholz (1961: 151) sowie Marciszewski (1984: 523).

³⁸⁰⁷ Vgl. hierzu Rorty (1967: 3).

³⁸⁰⁸ Vgl. hierzu etwa Hanfling (2000).

³⁸⁰⁹ Vgl. hierzu etwa die Kritik Russells (1959: 178).

Auch von dritter Seite werden die OLP-Defizite unterstrichen, indem Bunge (1967a) zu Recht darauf hinweist, dass zwischen *wissenschaftlichem Wissen* und *Alltagswissen* größte Unterschiede bestehen, auf die wir oben bereits mit Popper abgestellt haben:

»As scientific knowledge deviates from common knowledge [...], so its languages deviate from ordinary language. Just as common knowledge is impotent to evaluate scientific knowledge, so ordinary language is much too coarse a tool for investigating the delicate special languages of science, such as the language of quantum mechanics. [...] The limitations and imperfections of ordinary language have called forth [...] the invention of the artificial languages of science. Likewise the imperfections of classical (Aristotelian) logic – associated with the European tongues – has prompted the creation of modern logic (symbolic logic and semantics), which most philosophers of science use nowadays as tools for their analyses of science.«³⁸¹⁰

Das wird durch Rescher (2009) in ganz ähnlicher Weise gesehen, wenn er feststellt:

»Ordinary language is indefinite and imprecise. Its sentences are equivocal and need to be disambiguated before the classifications of logic can be brought to bear.«³⁸¹¹

Indem sich Bunges wie Reschers Ausführungen unmittelbar auf die Wissensrepräsentation (KR) wissenschaftlichen Wissens übertragen lassen, ist festzustellen, dass eine *integrierte Ontologiekonzeption* bzw. ein universaler OE-Ansatzpunkt in keiner Weise auf dem OLP-Paradigma gründen kann. Vielmehr wird im Sinne einer AI-gerechten formalen Ontologie die mathematische Logik entscheidend, indem sich die Einteilung der Repräsentationssprachen am sinnvollsten anhand der *Logikkalküle* vornehmen lässt. Historisch allerdings ist für AI-Ontologien nicht nur der ILP-Ansatz maßgebend, sondern – wie im dritten Teil gezeigt – gerade auch die OLP-Doktrin. Auch wenn der OLP-Ansatz mit Verweis auf Bunge (1967a) nicht als generelles Paradigma herangezogen werden kann, ist ein rein sekundärer, ergänzender Einsatz im Sinne von Pkt. 8.2 nicht nur denkbar, sondern unter H2H-, M2H- bzw. H2M-Gesichtspunkten auch unabdingbar. Entsprechend sucht Hobbs (1995) »the ontology that is implicit in natural language« freizulegen, damit AI-Programme auf natürlicher Sprache operieren können. Für bestimmte einfache Anwendungen, etwa im Kontext von SBVR-Workflowdefinitionen, kann dies mit Blick auf die Integration menschlicher Agenten hinreichend sein; insgesamt, also im Sinne der Grundlegung einer integrierten Ontologiekonzeption mit den Defiziten bzw. Defekten der natürlichen Sprache selbstverständlich nicht.³⁸¹² Somit läuft auch McCarthys (2000) AI-Bezug auf Quine bewusst auf eine ILP-Basis hinaus, wenn Quine (1981: 9) die zu Hobbs (1995) konträre Ansicht vertritt, »that a fenced ontology is just not implicit in ordinary language.«³⁸¹³ In einer integrierten Ontologiekonzeption ist entsprechend darauf zu achten, dass OLP-Ansätze nicht im Widerspruch zu ILP-Ansätzen mitsamt ihrer spezifischen Logikkalküle stehen. Mit anderen Worten ist das idealsprachliche Paradigma bestimmend und in seinem Logikkalkül aus der zugrundegelegten metaphysischen Basis herzuleiten.³⁸¹⁴

Dass es sich bei dieser metaphysischen Basis zwingend um eine Klasse-4-Metaphysik, also um eine techno-wissenschaftliche Metaphysik handeln muss wird dann deutlich, wenn

³⁸¹⁰ Bunge (1967a: 54).

³⁸¹¹ Rescher (2009: 40).

³⁸¹² Hier sei nur auf die Definition der *Ereigniskategorie* etwa unter Pkt. 5.4 bei Chisholm verwiesen.

³⁸¹³ Vgl. hierzu ergänzend Quine/Ullian (1970: 24).

³⁸¹⁴ Eine *prozessmetaphysische* Grundlegung impliziert etwa eine passende Variante eines *Ereigniskalküls*.

sich der Blick auf jüngere Standards im Bereich der *Smart Enterprise Integration* (SEI) richtet. Wie bereits in Pkt. 3.3.2 erwähnt, gewinnt eine modifizierte OLP-Position sowohl im CM- als auch im AI-Kontext zunehmende Bedeutung. Dabei handelt es sich insofern um eine modifizierte bzw. gemäßigte OLP-Position, als sie entweder gewissermaßen zur Vereinfachung im Sinne von Benutzerschnittstellen auf ILP-Strukturen aufsetzt oder damit zusammenhängend keinen Ausschließlichkeits- bzw. Vollständigkeitsanspruch stellt. Für den CM-Kontext lässt sich bspw. die in Pkt. 3.2.2 erwähnte konzeptuelle Modellierungssprache ORM/NIAM als natürlichsprachliche Methode anführen; im AI-Kontext die SBVR-Spezifikation zur Prozessintelligenz. Die auf *Structured English* aufbauende SBVR-Spezifikation basiert dabei auf zwei Pfeilern, nämlich dem Vokabular sowie den logischen Regeln, wobei das Vokabular eine *natürlichsprachliche Ontologie* verkörpert. Dabei besteht der Hintergrund dieser Entwicklungen vor allem in der einfacheren Verständlichkeit, durch die sich diese Methoden bzw. Spezifikationen in praxi in dem notwendig werdenden breiteren Umfang einsetzen lassen. ORM/NIAM wie SBVR liegt dabei eine *Faktenbasiertheit* zugrunde; diese bezieht sich mit Pkt. 3.2.2 jedoch allein auf ein wie immer definiertes Diskursuniversum (UoD). Es handelt sich also im Sinne Wittgensteins (1921: § 1.13) um die »Tatsachen im logischen Raum«, die die Welt ausmachen. Insofern sind solche Methoden resp. Spezifikationen universal anwendbar, nämlich sowohl auf die W1-, die W2- als auch auf die W3- oder W4-Welt. Damit sind solche Fakten nicht zwingend *reale* Fakten der aktuellen Welt, sondern es kann sich auch um Fakten *möglicher Welten* handeln (z.B. W2P). Indem Wittgenstein (1921) über seinen Lehrer Russell der Leibnizschen Tradition partiell verbunden ist, entspricht der *logische Raum* bei Wittgenstein (1921) einer reinen wie unmittelbar erfolgenden ILP-basierten sprachphilosophischen resp. *epistemischen* Erfassung der *möglichen Welten* Leibnizens, die bei diesem indes primär *ontisch* sind. Die einfachsten Fakten bezeichnet Wittgenstein (1921) als *Sachverhalte*; diese werden entweder mit "*states of affairs*" (bei Pears/McGuinness) oder aber im Zeichen des Wittgensteinschen *Logischen Atomismus* mit "*atomic facts*" (bei Ogden) übersetzt.³⁸¹⁵

Wenn der OLP-Ausgangspunkt zumeist in Wittgensteins (1953) Spätwerk gesehen wird, steht der frühe Wittgenstein – wie später Quine – dem ILP-Paradigma und dem revisionär-realistischen Ansatzpunkt näher. Wittgensteins (1921) *Tractatus logico-philosophicus* verkörpert eine *Tatsachenontologie*, die allerdings nur in ihrem ersten Paragraphen im Sinne des *logischen Raums* das Bild einer *logico-mathematischen* Ontologie zeichnet. Der *Tractatus* verkörpert Wittgensteins sprachphilosophische Version des Logischen Atomismus, die als deskriptive Metaphysik eine Ontologie ohne ontologische Analyse im Sinne revisionärer Metaphysik manifestiert. Gleichzeitig besteht im *Tractatus* ein Bekenntnis zur ILP-Tradition, das die grundsätzlichen Schwächen der OLP-Tradition ausmerzt.³⁸¹⁶ Das ist

³⁸¹⁵ Vgl. dazu auch D. Miller (1977).

³⁸¹⁶ Vgl. etwa Wittgenstein (1921: §§ 3.143; 3.323; 3.324); vgl. ergänzend Copi (1958).

gemeint, wenn Wittgenstein feststellt, dass alle Philosophie "Sprachkritik" sei,³⁸¹⁷ wobei er allerdings übersieht, dass sich diese Feststellung allein auf die Ebene der Repräsentations-sprache, nicht auf jene der ontologischen Analyse bezieht. Richtig gewendet ist festzustel-len, dass alle Philosophie primär ratio-empirische Kategorialanalyse ist, die wiederum auch der Analyse der fundamentalen Strukturen aller Welten, insbesondere der Realität resul-tiert. Erst auf dieser Basis kommt dann die "*Sprachkritik*" in Bezug auf die formalsprachli-che Repräsentation ins Spiel. Richtig ist vor diesem Hintergrund, dass Wittgenstein nicht nur explizit eine Hinwendung zur symbolischen Logik fordert,³⁸¹⁸ sondern auf dieser Basis darüber hinaus auch eine adäquate Notation.³⁸¹⁹ Wittgenstein weist darauf hin, dass selbst alle Sätze der Umgangssprache logisch vollkommen geordnet sind; entscheidend ist also nicht die Sprachlogik als solche, sondern die Frage der Mächtigkeit der jeweiligen Vari-ante formaler Logik. Es geht also mit Pkt. 6.2.9 um die spezifischen Logiktypen und schließlich um die Logikkalküle. Damit läuft die "Sprachkritik" Wittgensteins letztlich auf eine Kritik der Logikkalküle hinaus, die wiederum vor dem Hintergrund des im ersten Teil erörterten *Frame Problem* metaphysisch disponiert sind. Das ist in dem Sinne zu verste-hen, dass eine ereigniszentrische emergentistisch-prozessuale Metaphysik im Zeichen des CEP-Ansatzes auf einen *Ereigniskalkül* (EC) hinausläuft, während die einfache Weltenbe-schreibung der *Commonsense Metaphysics* bei Hobbs et al. (1987) mit dem *Situationskal-kül* (SC) bei McCarthy/Hayes (1969) korrespondiert.

Im Verlauf des *Tractatus* wird deutlich, dass dieser nicht nur auf raumzeitliche Gegen-stände, sondern auf die »gesamte Wirklichkeit«, die die Welt ist, zielt.³⁸²⁰ Darunter ist je-doch nicht jene der aristotelischen Tradition zu sehen; es geht also nicht nur um *raumzeit-lich* gemeinte Fakten, von denen bei Bunge (1993) die Rede ist. Vielmehr ist die »gesamte Wirklichkeit« im kombinierten platonistisch-aristotelischen Sinne auszulegen; denn zu-nächst geht es um *Form* als Möglichkeit der Struktur,³⁸²¹ die somit mögliche Welten ge-nauso eröffnet wie die Bestimmung der aktuellen Welt. Die Gesamtheit der bestehenden Sachverhalte der aktuellen Welt ist bei Wittgenstein (1921) anhand der naturwissenschaftli-chen Sätze zu bestimmen; die der möglichen Welten anhand der logischen Sprachanalyse. Primär sind die naturwissenschaftlichen Sätze insofern, als jede gedachte Welt die *Form* mit der wirklichen gemein haben muss.³⁸²² Dennoch ist das aristotelische Universum in das platonistische eingebettet, nämlich als Gesamtheit der bestehenden Sachverhalte der ak-tuellen Welt, worüber auch bestimmbar ist, welche Sachverhalte nicht bestehen,³⁸²³ auch wenn sie logisch möglich sind.

³⁸¹⁷ Vgl. Wittgenstein (1921: § 4.0031).

³⁸¹⁸ Vgl. Wittgenstein (1921: § 3.325).

³⁸¹⁹ Vgl. Wittgenstein (1921: § 6.122).

³⁸²⁰ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.063).

³⁸²¹ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.033).

³⁸²² Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.022).

³⁸²³ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.04 f.).

Die *logico-philosophische* Tatsachenontologie Wittgensteins ist primär als *realfaktische Ontologie* zu interpretieren, die mit einer deskriptiven Totalanalyse der aktuellen Welt beginnt,³⁸²⁴ die indessen eine direkte Sprachanalyse naturwissenschaftlicher Sätze darstellt. Mit der prasupponierten externen Welt im kombinierten platonistisch-aristotelischen Sinne ist Wittgenstein (1921) eine *metaphysische* Position zu unterstellen, wie es bei D. Miller (1977) oder Diamond (1991) geschieht. Es ist die Metaphysik des *Logischen Atomismus* in der speziellen Wittgensteinschen Variante. Der faktische Vollzug von Metaphysik gilt später selbst für Quine; auch wenn sich Wittgenstein (1921: § 6.53) wie Quine (1953a: 446) offiziell fundamental gegen die *Erste Philosophie* wenden,³⁸²⁵ kommt auch ihre wissenschaftstheoretische Fixierung an einer formallogischen *Scientific Metaphysics* nicht vorbei. Kategorien und meta-ontologische Dispositionen sind letztlich bei jeder Ontologie vorauszusetzen und in der erforderlichen transdisziplinären Weise nur auf ratioempirischem Wege bestimmbar.

Wittgensteins *Tractatus* steckt voller metaphysischer Sätze, was mit der Behauptung, dass die Welt aus Tatsachen, nicht aus Dingen bestehe, beginnt. Damit nimmt der frühe Wittgenstein im Grunde eine Gegenposition zu jeder Form von "Furniture-Ontologie" ein. Indem die Tatsachen für ihn letztlich naturwissenschaftlich abzusichern sind, kann für diese im Zeichen des Logischen Atomismus seines Lehrers Russells die damit verbundene 4D-Perspektive unterstellt werden,³⁸²⁶ wie sie sich später in dieser Tradition genauso bei Carnap und Quine findet. Sie alle wollen ontologisch lediglich Sätze der Naturwissenschaft zulassen.³⁸²⁷ Der eigentliche Unterschied zwischen dem ILP- und OLP-Zweig der Analytischen Philosophie ist also gar nicht bloß sprachlicher Natur, wie man es gemeinhin im Sinne sprachphilosophischer Varianten annimmt. Denn es geht nicht nur um die Differenz zwischen der logico-mathematischen formalen Sprache einerseits und gewöhnlicher Alltagssprache andererseits. Vielmehr ist ihr Unterschied dezidiert metaphysischer Natur, indem es um gänzlich andere Realitätsauffassungen geht, um andere Kategorien und um andere Wahrmacher. Ein Naturalismus ist letztlich immer revisionär, indem für diesen der Stand der Naturwissenschaften ausschlaggebend ist; im Zuge einer solchen Revision kann die 4D-Perspektive der "*New Physics*", die unter Voraussetzung der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik mit der *Cyber-Physik* konform geht, an die Stelle der 3D-Perspektive der auf der Cartesischen Metaphysik stehenden klassischen Physik treten. Demgegenüber ist dies auf Basis der Grammatik der Alltagssprache nicht möglich; sie bleibt objektbezogen, oder es wäre im Zeichen einer neuen integrierten Situations- und Ereignissemantik eine entsprechend neue Grammatik für die Alltagssprache vorauszusetzen. Damit vertritt der frühe Wittgenstein, wie später Quine, eine *naturalistische* Position, die zur OLP-Re-

³⁸²⁴ Vgl. Wittgenstein (1921: § 1-2.063); vgl. ergänzend Stegmüller (1978: 526 ff.).

³⁸²⁵ Vgl. zu dieser antimetaphysischen Haltung insbes. Wittgenstein (1921: § 6.522-7). Mit seinen *Tractatus* hatte der frühe Wittgenstein einen sehr wesentlichen Einfluss auf zentrale Ideen des Wiener Kreises; währenddessen war aber der späte Wittgenstein ein führender Gegner des Logischen Empirismus.

³⁸²⁶ Vgl. dazu Frascolla (2004), insbes. p. 380, sowie R.M. White (2006: 46).

³⁸²⁷ Vgl. hierzu auch P.M.S. Hacker (1972).

zeption der *Common Sense Reality* der Alltagssprache konfliktär ist. Insofern der Naturalismus bei Quine nicht nur im Zeichen des Empirismus steht, sondern um einen *ontologischen Realismus* ergänzt wird,³⁸²⁸ kann auch Diamonds (1991) zweiter These, wonach Wittgenstein (1921) eine *realistische* Sichtweise einnimmt, zugestimmt werden. Hier stellt sich der Zusammenhang also ähnlich dar. Wittgenstein (1921) vertritt somit in seinem Frühwerk eine *realistische* Bedeutungstheorie; Sätze werden auf naturalistischer Basis wahr durch etwas ihnen als Welt Entsprechendes. Insofern besteht als ontologische Voraussetzung nicht nur eine positivistisch prüfbare Korrespondenz zwischen sprachlichen Konstrukten und der Realität, sondern auch ein erkenntnistheoretischer und damit ontologischer Realismus, als präsupponiert wird, dass die Philosophie *als Tätigkeit* ein wahres Bild der Realität vermitteln kann.³⁸²⁹ Der Sprache kommt im *Tractatus* eine objektive und neutrale Rolle zu und ist der Exaktheit verpflichtet. Philosophie *als Tätigkeit* ist in dieser Sache insofern wiederum *Sprachkritik*,³⁸³⁰ als gerade diejenigen Sätze auszuschließen sind, die diesem Ideal naturwissenschaftlicher Exaktheit nicht entsprechen.

Zwar werden in der Ontologie des *Tractatus*, wie später bei Quine zwei Perspektiven verbunden, nämlich die logische Sprachanalyse und die naturwissenschaftliche Analyse;³⁸³¹ indessen geschieht dies in je spezifischer Weise. Quine ist mit seiner Fokussierung der aktuellen Welt primär Empirist, strenger Naturalist und ontologischer Realist, der sich zu Repräsentationszwecken der formalen Sprache bedient; Wittgenstein ist Sprachphilosoph, der jenseits der ontologischen Analyse allein auf dieser sprachlichen Repräsentationsebene wirkt und die aktuelle Welt mit möglichen Welten auf dieser ILP-Ebene des logischen

³⁸²⁸ Vgl. hierzu Fn. 3338; es ist hier zwischen *ontologischem* und *metaphysischem* Realismus in der Weise zu unterscheiden, in der Quine *Ontologie* von *Metaphysik* separieren will. Die Differenz ist folgende: mit dem ontologischen Realismus ist letztlich der Positivismus bzw. *Empirismus* gemeint; mit letzterem besteht dann der Unterschied zum *Ratio-Empirismus* Whiteheads darin, dass alle hypothetischen Annahmen, die sich beim Empirismus lediglich auf *eine* einzelwissenschaftliche Theorie beziehen, in *transdisziplinärer* Weise für den Kosmos *im Ganzen* vorausgesetzt werden. Anders ist die erforderliche Transdisziplinarität nicht zu erzielen, d.h. *Transdisziplinarität im ontologischen Sinne kann allein über die Metaphysik führen*. Indem *Ontologie* im Sinne der *metaphysica generalis* aber immer auf dieses Ganze zielt, ist diese Differenzierung Quines nichts weiter als eine Täuschung. Das zeigen auch seine Kategorien: seinen *4D-Ereigniszentrismus*, der im Übrigen als solcher gerade aus der Whitehead-Russellschen Metaphysik stammt, setzt Quine in seinem Naturalismus für *alle* theoretische Näherung universal voraus; analoges gilt in Bezug auf Quines meta-ontologische Dispositionen, etwa seine Skepsis gegenüber möglichen Welten. Natürlich handelt es sich auch dabei um spezifische metaphysische Voraussetzungen, wie es die Restriktionen der wissenschaftlichen Metaphysik Bunes illustrieren. Metaphysik lässt sich nicht umgehen, wie Quine glauben machen will. Bunge (1967a: 92) liegt also gerade in Bezug auf Quine richtig, wenn er konstatiert: »[W]e have not the choice of making metaphysical commitments or of avoiding them, but of adopting a good or a bad metaphysics«. Vor diesem Hintergrund wird vielmehr deutlich, wie wesentlich die in Pkt. 4.1 vollzogene strikte Abgrenzung der vier Metaphysikklassen ist. Denn nur auf ihrer Basis lässt sich gute von schlechter Metaphysik sachgerecht trennen und somit die erforderliche Akzeptanz der Metaphysik wiederherstellen: Gute Metaphysik ist im Zeichen des IMKO *OCF* samt ihres wissensontologischen Anschlusses immer universal auf alle Disziplinen, speziell auf alle Struktur- und Erfahrungswissenschaften, auf alle Technologie und alle Praxis in transdisziplinärer Weise zu beziehen. Insofern kann gute, d.h. verteidigbare Metaphysik allein in der höchsten aller Metaphysikklassen, nämlich in der revisionären *Klasse-4-Metaphysik* bestehen.

³⁸²⁹ Wittgenstein (1921: § 4.112) sieht die Philosophie nicht als Lehre, sondern als *Tätigkeit*; ihr Zweck besteht in der logischen Klärung der Gedanken.

³⁸³⁰ Vgl. Wittgenstein (1921: § 4.0031).

³⁸³¹ Vgl. hierzu Newen (1991).

Raums epistemisch gleichsetzt. In der Diktion der CYPO-Welttypen ist Quine dem ontischen W1A-Modus verpflichtet, sein Schüler D.K. Lewis in gleicher physikalischer 4D-Zentrierung dem W1P-Modus, während Russells Schüler Wittgenstein gar nicht auf dieser W1-Ebene operiert, sondern seine Ontologie in ihrer Kantischen Orientierung auf der epistemischen W2-Ebene anzusiedeln ist. Dabei ist die Wittgensteinsche Ontologie dualistisch angelegt, indem sich auf Basis der formalen Logik der ILP-Tradition die oben erwähnte logische Sprachanalyse auf den W2P-Typus bezieht, während seine ILP-basierte naturwissenschaftliche Analyse dem W2A-Typus entspricht. Als solche ist sie bei Wittgenstein (1921) auf die aktuelle Welt der Natur bezogen; im W2P-Typus auf den möglichen logischen Raum, d.h. epistemisch fixiert auf jene möglichen Welten, die bei Leibniz primär ontisch konzipiert sind. Es handelt sich also um eine epistemische, auf Mittel der Sprachanalyse ausgelegte Variante platonistischer Metaphysik, die im Leibniz-Whiteheadschen Sinne um die aristotelische empirische Analyse in nachgeordneter Weise ergänzt ist. Bei Whitehead folgt daraus der metaphysische Ratio-Empirismus; bei Wittgenstein das sprachphilosophisch eingeschränkte Wechselspiel von logischer Sprachanalyse und naturwissenschaftlicher Analyse, wobei letztere wiederum im ILP-Sinne lediglich auf *naturwissenschaftliche Sätze* beschränkt ist. Es geht also nicht wie bei Whitehead um eine empiristische Universalsynthese im erfahrungswissenschaftlichen Vollzug. Dabei ist auch hier evident, dass sich die ILP-Kategorien gar nicht ohne den Unterbau der revisionären Metaphysik bestimmen lassen. Im Grunde lässt sich bzgl. Wittgensteins Metaphysik des Logischen Atomismus nichts disponieren ohne echte, d.h. revisionäre Metaphysik, die der *Tractatus* offiziell gerade nicht sein soll. Andererseits trägt er auf diese Weise gerade indirekt maßgeblich zur Diskreditierung der Whiteheadschen Metaphysik bei, indem er maßgeblich die Positionen des Wiener Kreises beeinflusst hat.

Was aktual und was möglich ist, wird also mit ILP-Mitteln auf epistemischer Ebene, nicht auf der ontischen bestimmt. Für Wittgenstein ist *die Wirklichkeit* die Welt; den Tatsachen wird dabei Priorität vor den *nicht* realisierten Sachverhalten eingeräumt. Entsprechend bilden für Wittgenstein (1921) allein *naturwissenschaftliche Sätze* nicht nur die richtige Methode der Philosophie,³⁸³² sondern für ihn besteht die Totalität der wahren Sätze in der Gesamtheit der Naturwissenschaften.³⁸³³ Im Unterschied zur Quineschen Ontologie, die in ihrem Naturalismus und Empirismus der Welt 1 (W1A) verpflichtet ist, zielt Wittgensteins *Tractatus* neben der Wirklichkeit gerade auch auf die Möglichkeit. Für ihn gibt es neben *wirklichen* Sachlagen auch *mögliche* Sachlagen.³⁸³⁴ Wittgenstein vollzieht somit selbst keinen naturalistischen Empirismus im Zeichen einer Theoriekritik wie bei Quine, sondern setzt die naturalistischen Theorien vielmehr als gegeben voraus. Ohne die wahren Sätze der Naturwissenschaften bliebe er rein in der logischen Sprachanalyse verharren, wie es weiter unten für die analytische Metaphysik bzw. Modalmetaphysik zu konstatieren ist.

³⁸³² Vgl. Wittgenstein (1921: § 6.53).

³⁸³³ Vgl. Wittgenstein (1921: § 4.11).

³⁸³⁴ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.0122).

Mit den Sätzen der Naturwissenschaften wird die dualistische Ontologie möglich, die sich zwischen dem W2A- und W2P-Modus bewegt, und damit im Kontext der vier CYPO-Welten die enge Begrenztheit der Wittgensteinschen Ontologie begreifbar macht. Die möglichen Welten bei Wittgenstein stehen teils in Verwandtschaft, teils im Gegensatz zu den möglichen Welten, um die es mit Pkt. 5.6 bei Husserl geht. Der Gegensatz besteht darin, dass Wittgenstein (1921) nicht auf phänomenologischer Basis operiert, d.h. bei ihm nicht bewusstseinsabhangige Aspekte der Kognition im Fokus stehen. Vielmehr geht es genau gegensätzlich dazu in direkter Weise um jene *Naturobjekte*, die für Husserl (1917b: 85) "bewutseinsjenseitige Objekte" sind, und damit kein eigentlicher Gegenstand der Phänomenologie sind. Bei Wittgenstein geht es um diese Naturobjekte aber nicht wie bei Quine im direkten empirischen Sinne, sondern um logico-mathematische "Bilder der Tatsachen", wobei das Bild ein "Modell der Wirklichkeit" verkörpert, während das Bild selbst wiederum als eine "Tatsache" aufgefasst wird.³⁸³⁵ Es handelt sich gewissermaßen um das strukturalistische Spiegelbild der Naturobjekte, womit gilt: »Daß sich die Elemente des Bildes in bestimmter Art und Weise zu einander verhalten stellt vor, daß sich die Sachen so zu einander verhalten«. ³⁸³⁶ Das impliziert wiederum eine formallogische strukturalistische Abbildungsthese: »Dieser Zusammenhang der Elemente des Bildes heiße seine Struktur und ihre Möglichkeit seine Form der Abbildung«. ³⁸³⁷ Mit anderen Worten sind auf den ersten Blick alle Voraussetzungen des *naiven Realismus* erfüllt, und darin kann nicht nur die maßgebliche Differenz zur Phänomenologie Husserls ausgemacht werden, die gerade auf das Problem der kognitiven Verzerrung abstellt, sondern auch zum späten Wittgenstein (1953), dessen *Sprachspiele* auf eine *konstruktivistische* Weltauffassung weisen. Es wäre allerdings verfehlt, Wittgenstein (1921) diesen *naiven Realismus* selbst unterstellen zu wollen, indem das Ganze allein vor dem Hintergrund der platonistischen Tradition wie im Kontext von Leibniz, Boole, Whitehead und Russell zu begreifen ist. Natürlich ist mit Kant und Husserl auch Wittgenstein (1921) klar, dass es bei *menschlichen* Agenten entscheidende Perzeptions- bzw. Kognitionsprobleme bestehen, die bis zu ihrem sprachlichen Reprasentationsapparat reichen – sonst würde er die OLP-Position nicht vehement ablehnen. Nur geht es bei ihm nicht um die *kognitive Problematik* dieser speziellen Agentenklasse, auch wenn die Tatsache des Bildermachens *menschlicher* Subjekte samt strukturalistischer Analyse für ihn außer Frage steht.³⁸³⁸ Geht es indessen um das Gesamtverständnis der Wittgensteinschen (1921) Ausführungen wäre es einfacher, diese im Zusammenhang mit einer anderen Agentenklasse zu sondieren. Es müsste dann um das Ideal superintelligenter *maschineller* Agenten gehen, die auf Basis formaler Logik in den Strukturen des platonistischen mathematischen Universums operieren. Denn in Frage steht allein das an sich mögliche *formallogische Abbildideal* des Kantischen (1800) Regeluniversums, die ILP-basierte

³⁸³⁵ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.1 ff.).

³⁸³⁶ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.15).

³⁸³⁷ Vgl. *ibid.*

³⁸³⁸ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.1 ff.).

Ratio maschineller Agenten beruht dann auf genau der gleichen Booleschen Logik wie die *Regulae des Leibniz-Kantischen Automaten-* bzw. *Regeluniversums*. Für die Ontologie der Informatik ist dies entscheidend, denn das *Deep Learning* maschineller Agenten funktioniert in genau dieser Weise wie sie den Abbildern bei Wittgenstein (1921) entspricht: es geht um die mathematischen Strukturen von Bildern bzw. raumzeitlich von Videosequenzen, die im Zeichen der Mustererkennung identifiziert werden. Das betrifft die *metaphysica generalis*; indessen ist nach Maßgabe des IMKO OCF für die Wissensontologie genau das gleiche zu fordern, nämlich jene Repräsentation der Fakten im Zeichen von *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz, wie sie Wittgenstein (1921) im ILP-Sinne indirekt fordert. In genau dieser Hinsicht besteht auch keinerlei Gegensatz zu Whitehead (1929a); eher eine sinnvolle Ergänzung, wie es ebenso für Husserl in Bezug auf die Whiteheadschen *Subjekt-Superjekte* zu konstatieren ist.

Vor dem Hintergrund dieser notwendigen Korrekturen in der Wittgenstein-Interpretation lässt sich entsprechend auch die bis dato fortbestehende Forschungslücke schließen, indem die Wittgenstein-Forschung im Allgemeinen keinen echten Bezug zwischen dem frühem und späten Wittgenstein ausmachen kann. Dieser ist auch nicht ganz einfach zu verstehen, wenn Wittgenstein (1953: 8) seinem *Tractatus* selbst "schwere Irrtümer" bescheinigt. Diese Kritik scheint auch an anderen Stellen durch, wird aber nicht näher konkretisiert; was er damit genau meint, ist in der Wittgenstein-Forschung bis heute umstritten. Indessen ist die Lösung dieses Rätsels einfach. Sie liegt gewiss nicht darin, dass das Universum für den späten Wittgenstein im kombinierten platonistisch-aristotelischen Sinne nun nicht mehr ein logico-mathematisches Universum ist oder dass naturwissenschaftliche Sätze nunmehr auf ILP-Basis unmöglich geworden wären. Darin besteht schon insofern nicht der Gegenstand seiner "schweren Irrtümer", als sich der späte Wittgenstein (1953) um ganz andere Aspekte dreht. Es geht hier insgesamt nicht um revisionäre metaphysische Ontologie als solche, auch nicht um die Repräsentationsfrage der fundamentalen logico-mathematischen bzw. physischen Strukturen der Realität, worauf Wittgenstein (1921) idealiter im Abbildsinne zielt. Dennoch besteht in der Realitätsfrage das richtige Stichwort, wenn es um die Auflösung des Rätsels geht, worin genau die "schweren Irrtümer" des frühem Wittgensteins bestehen sollen. Sie sind letztlich an dem festzumachen, worum es später aufbauend auf Wittgenstein (1921) im Wiener Kreis bzw. Logischen Empirismus geht. Sie lassen sich auch anhand des Unterschieds zwischen Poppers *Drei-Welten-Lehre* und der in Pkt. 3.5 umrissenen CYPO *Vier-Welten-Ontologie* ausmachen, die auf den ganzen CPST-Hyperspace zielt. Dieser Unterschied besteht in der separat abgegrenzten Welt 4 als *sozialer Realität*, die es bei Popper aus gutem Grund nicht gibt. Das hat wiederum mit dem Methodenstreit zu tun, wobei Popper bzw. Albert die Ansicht vertreten, dass in methodologischer Hinsicht nicht zwischen natürlicher und sozialer Welt zu differenzieren ist. Bei Wittgenstein geht es demgegenüber um andere Akzente, nämlich um die Philosophie als

"Sprachkritik"; das Problem ist indessen das gleiche, es ist das Differenzierungsproblem der natürlichen bzw. physischen Realität einerseits und der sozialen Realität andererseits.

Letztlich erreichen die "schweren Irrtümer", von denen Wittgenstein (1953) spricht, gar nicht bei ihm sondern bei Carnap (1931a) ihren Kulminationspunkt, wenn die physikalische Sprache zur Universalsprache der Wissenschaft erklärt wird, die dann gleichsam die Erfassung der *sozialen* Realität mit den Mitteln der *idealen* Sprache einschließt. Die "schweren Irrtümer" bestehen dabei nicht etwa darin, dass die ILP-Position mit den Sachverhalten in der physischen Welt konfligiert; auch nicht in der OLP-Kritik, wenn es um die Beschreibung der physischen Welt im streng *physikalischen* Sinne geht. Ebenso ist nicht plötzlich das durch Wittgenstein (1921) akzentuierte Problem der Mehrdeutigkeit bzw. Inexaktheit der Alltagssprache behoben.³⁸³⁹ Um all das geht es bei Wittgenstein (1953) tatsächlich nicht; während die Mehrdeutigkeit gerade als Charakteristikum der *Sprachspiele* akzeptiert wird. Korrigiert wird implizit etwas anderes, nämlich der Naturalismus in der Form ausschließlich naturwissenschaftlicher Sätze; Wittgenstein (1953) weicht maßgeblich vom Physikalismus Carnaps bzw. Naturalismus Quines ab, indem neben der *naturalistischen* Perspektive, die etwa für die Physik erforderlich bleibt, eine *kulturalistische* tritt, die speziell auf die Sachverhalte der *sozialen* Realität gerichtet ist. Die "schweren Irrtümer" haben also direkt etwas mit der Wittgenstein-Rezeption durch den Wiener Kreis zu tun, mit dem die naturalistische ILP-Position zur Universalsprache für sämtliche Diskursuniversen bzw. Domänen und damit Lebensbereiche erhoben wird; das ist es, was Wittgenstein nicht teilt. Entsprechend betreffen diese Irrtümer zum einen die nicht vollzogene Differenzierung zwischen physischer und sozialer Realität, zum anderen den Umstand, dass die ILP-Position dann nicht mehr länger Universalsprache sein kann, wie es Carnap propagiert. Vielmehr basieren die Sachverhalte der sozialen Realität, die als an *Ordinary Things* festmachende *Common Sense Reality* zu verstehen ist, auf ihrer eigenen Repräsentationssprache bzw. benötigen sie diese zum sozialen Vollzug. Die Abbildmetapher des frühen Wittgensteins ließe sich hier ebenfalls insofern bemühen, als das Abbild des alltagssprachlichen sozialen Vollzugs auch ebendiese normalsprachliche Repräsentation erfordert. Darauf zielt die OLP-Position bei Wittgenstein (1953), was als kulturalistische Sprachkritik zu verstehen ist, die sich ausschließlich auf die soziale Realität bzw. die Beschreibung physischer Dinge und sozialer Sachverhalte unter dem Regime der *Common Sense Reality* bezieht.

Indem der frühe Wittgenstein die Welt 1, der späte Wittgenstein die Welt 4 adressiert, ist sein Gesamtwerk als konsistent zu erachten. Wenn mit Minsky (1997: 25) wiederum gilt: »Computer Science [...] will help us understand brains. [...] It will help us learn what Knowledge is. It will teach us how we learn, think, and feel«, kann die Differenzierung zwischen *maschinellen* und *menschlichen* Agenten gerade auch eine universale Perspektive auf Wittgensteins "Sprachkritik" bieten, wenn es um qualitative Erwägungen von Repräsentationssprachen geht. Auf die Welt 1 bezogen besteht ihre Differenz zwischen dem bei

³⁸³⁹ Vgl. dazu etwa Wittgenstein (1921: §§ 3.143; 3.323; 3.324).

begrenzter Rationalität für alle Agentenklassen nur näherungsweise zu erreichendem Ideal einer unmittelbaren epistemologischen Abbildung einerseits und der speziellen Epistemologie *menschlicher* Agenten auf Basis von OLP-Alltagssprache andererseits: Während sich das Kantische (1800) Regeluniversum bei Wittgenstein (1921) prinzipiell mit Mitteln formaler Logik im Popperschen Sinne objektiv richtig beschreiben lässt, ist bei Wittgenstein (1953) die Epistemologie menschlicher Agenten beschränkt durch die konstruktivistischen Momente, die die Sprachspiele der jeweiligen Alltagssprache in sich bergen. Insofern weist bereits Wittgensteins (1921) Feststellung, wonach die Grenzen der Sprache die Grenzen der Welt bestimmen, implizit auf Wittgenstein (1953), wenngleich es hier allein um die Welt 4 als soziale Realität geht. Dabei erweisen sich die Aspekte gerade für das in Pkt. 1.2 behandelte Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem aufschlussreich.

Diese Differenz wird bei Quines (1960a) *Word and Object* ähnlich erschlossen; allerdings besteht sie dann nicht auf epistemischer Ebene, sondern im Zeichen von Quines Naturalismus und Empirismus zwischen epistemischer und ontischer Ebene. Die Differenz bezieht sich also hier auf die 3D-basierte objektzentrische Alltagssprache einerseits und die physischen Objekte, mit denen es der ontologische Realismus zu tun hat. Dabei sind physische Objekte für Quine in Whiteheadscher Manier *ontisch* als *4D-Ereignisse* zu behandeln und werden bei ihm im Unterschied zu Whitehead und Davidson mit Pkt. 5.7 noch nicht einmal kategorial gesondert abgegrenzt. Wittgenstein kann zwar nicht die Metaphysik der Informatik stellen, was bereits bei seiner deskriptiven Metaphysikposition beginnt. Ergänzt um die o.g. Position Minskys (1997: 25) vermag Wittgenstein dennoch für die Disziplin interessante Einsichten zu bieten, wenn es um M2M-, H2H-, oder um M2H- bzw. H2M-Interaktionen geht. Bei maschinellen IoA-Agenten ist auf Basis der ILP-Position auch die soziale Realität erschließbar, während im IoP-Subsystem die H2H-Interaktion im Sinne von Wittgenstein (1953) auf der OLP-Position basiert. Dies hat wiederum Rückwirkung auf die M2H- bzw. H2M-Interaktionen, indem etwa Sowas (1991g) *Semantic Interpreter* nicht nur auf *Common Sense* bzw. "*ordinary English*" basiert, sondern dabei auch explizit auf Wittgensteins (1953) *Sprachspielen* aufbaut.³⁸⁴⁰ Aufgrund der M2H- bzw. H2M-Interaktionen lässt sich die ILP-Position also faktisch nicht durchgängig für maschinelle Agenten voraussetzen; sie benötigen die OLP-Position zum Menschverstehen. Umgekehrt wird die OLP-Position mit der durch Hayes (1979, 1985a, 1985b) entwickelten *Naive Physics* auch auf die physische Realität bezogen, was wiederum nicht nur Wittgenstein (1921) konterkariert, sondern vor dem Hintergrund der *Cyber-Physik* als "*New Physics*" in Leibnizscher Tradition mit der Position Whiteheads konfligiert. Sie macht klar, dass es genauso wenig eine OLP-basierte Universalsprache geben kann wie mit Carnap die ILP-Variante. Mit Pkt. 8.2 kommen wir abschließend auf diese elementare AI-Problematik zurück.

Indem Husserls Phänomenologie die *Naturobjekte* als solche nicht adressiert, überrascht es nicht, wenn Husserl demgegenüber bei 3D-Substanzen steckenbleibt, indem er ihre Kor-

³⁸⁴⁰ Vgl. Sowa (1991e; 1991f; 1991j: 75 f.).

rektur über eine naturwissenschaftliche Reflexion selbst nicht zu bewerkstelligen versteht. Das ist bei der Metaphysik Heideggers grundsätzlich nicht anders, selbst wenn es sich um eine perdurantistische Metaphysikvariante handelt. Insofern ist die Bestimmung der Strukturidentität zwischen der metaphysischen und der semantischen Struktur auf phänomenologischer Basis Husserls bzw. Heideggers nicht vollziehbar. Demgegenüber ist sie charakteristisch für den Logischen Atomismus Wittgensteins, was mit seiner Abbildungstheorie unmittelbar zum Ausdruck gelangt. Quines Empirismus bzw. Naturalismus hat ein ganz ähnliches Ziel; allerdings sind weder Wittgenstein noch Quine tatsächlich transdisziplinär orientiert, indem es allein um naturwissenschaftliche Sätze, nicht um einen universalen Ratio-Empirismus geht. Artefakte (W3) wie die technologische Infrastruktur des IoX-Hyperspace sind indessen genauso nach strukturalistischen Prinzipien aufzuschließen wie die soziale Realität (W4). Beide Welttypen werden jedoch weder im sprachphilosophischen Naturalismus Wittgensteins noch im empirischen Naturalismus Quines adressiert; sie sind indessen naturalistisch irreduzibel, indem der IoX-Hyperspace wesentlich auf den Programmen und Routinen des Cyberspace und damit auf idealistischen Momenten basiert, während die soziale Realität maßgeblich durch soziale Regeln bzw. Institutionen bestimmt ist. An Stelle der Reduktion auf die physische Sphäre rückt damit das einigende transdisziplinäre Prinzip der *World Automata*; d.h. alle vier Welten sind nach Maßgabe der *Theorie zellulärer Automaten* im Whiteheadschen Sinne zu erschließen. Genauso geht es nicht um naturwissenschaftliche Sätze *per se* als vielmehr um eine in sich konsistente kosmologische Basis, wie sie mit der *"third revolution"* der Physik, also mit der *"New Physics"* auf Grundlage der Whiteheadschen Metaphysik zum Ausdruck kommt. Darüber hinaus steht nicht die klassische materiebezogene Physik, sondern die Cyber-Physik Whiteheads samt dem Prinzip kausaler Wirksamkeit im Vordergrund. Mit anderen Worten geht es um eine Physik, die auf spezifischen metaphysischen Voraussetzungen gründet, wie sie der Logische Atomismus Wittgensteins an sich mit sich bringt. Ohne echte revisionäre Metaphysik sind diese Voraussetzungen jedoch bei Wittgenstein und Quine in keiner Weise nachvollziehbar. Der *Tractatus* ist ohne den Bezug auf die Metaphysik Whiteheads, die ihrerseits die Positionen u.a. von Leibniz, Kant und Boole in sich inkorporiert, in keiner Weise sachgerecht interpretierbar. Wie in Pkt. 4.2 erwähnt, schreibt Russell (1924: 328) die Grundidee des Logischen Atomismus seinem akademischen Lehrer Whitehead zu. Insgesamt lassen sich weder Husserl oder Heidegger noch Wittgenstein oder Quine für die Grundfragen einer CPS/MAS-adäquaten AI-Ontologie heranziehen. Entscheidend ist vielmehr Whitehead (1929a); und auf diesen bezogen gilt mit P.M. Simons (2006b: 95) dann transdisziplinär: »metaphysics constrains semantics«. Die Husserlsche Phänomenologie unterliegt dem Trugschluss, dass sie sich selbst genügt. Gleiches gilt für Wittgensteins Sprachphilosophie; ordnet man beides systematisch in die einzig sachgerechte, nämlich *universale* Metaphysik der Leibniz-Whiteheadschen Tradition ein, erweisen sich beide als sinnvolle Ergänzungen bzgl. der Kognitionsproblematik (Husserl et al.) bzw. den Problemen

der sachgerechten formalen Repräsentationssprache (Wittgenstein et al.). Beide Traditionen gehen im Grunde von Leibniz aus, und vermögen letztlich allein in dieser unmittelbaren Bezogenheit auf das Leibniz-Whiteheadsche Automatenuniversum zu iberzeugen. Darin besteht mit Blick auf die *Metaphysik der Informatik* eine wesentliche Erkenntnis.

Für die Informatik ist diese Strukturinterdependenz wesentlich, die auf Basis des IMKO OCF in ihre *Top-level Ontologie* iberfuhrt wird, die das "*ontological backbone*" der erforderlichen integrierten Ontologiearchitektur bildet, wie sie mit CYPO FOX umrissen ist. Demgegenuber ist es ein schwerwiegender Trugschluss, *maschinelle* Agenten ontologisch auf die OLP-Sprachspiele *menschlicher* Agenten setzen zu wollen, wie es bei Sowa (1991e; 1991f; 1991j; 2006d), Gruber (1993, 1995), Mika (2007) usf. der Fall ist – und weite Teile des defekten linguistischen Ontologieverständnis der Informatik bis heute bestimmt. Dabei bezieht sich Sowa (1991c, 1991e) explizit auf die *semantischen Netze* der Computerlinguistik Mastermans (1961), die wiederum direkte Schülerin Wittgensteins ist. Für Gruber, Mika und die gesamte verfehlte linguistische Ontologieauslegung der Informatik gilt der Bezug auf diese *semantischen Netze* entsprechend implizit; ungeachtet dessen, dass Masterman (1984) die Korrektur zur Whiteheadschen revisionären Metaphysik selbst längst vollzogen hat. Für den frühen Wittgenstein ist die formale Ontologie genauso durch Leibniz geprägt, wie es bei Husserls formaler Ontologie der Fall ist, die unmittelbar an Leibnizens *Mathesis universalis* anknüpft. Husserl und Wittgenstein teilen auch den Zuschnitt möglicher Welten, die in eingeschränktem Bezug zu jenen bei Leibniz stehen: bei diesem sind sie ontisch, aber nicht aktual; beim Quine-Schüler D.K. Lewis sind sie ontisch und aktual bzw. genauso real. Bei Husserl und Wittgenstein sind sie hingegen epistemisch; bei Husserl in der phänomenologischen, bei Wittgenstein in der ILP-sprachphilosophischen Variante. In beiden Fällen wird dies jedoch ausschließlich im Sinne des CYPO-W2P-Modus streng nach Maßgabe der Modalität "*de re*" vollzogen, denn wie bei Husserl ist die Möglichkeit bei Wittgenstein auf die aktuelle Welt bezogen. Sie muss »auch eine von der wirklichen noch so verschieden gedachte Welt Etwas – eine Form – mit der wirklichen gemein haben«. ³⁸⁴¹ Diese *Form* besteht für ihn aus den Gegenständen, ³⁸⁴² bzw. aus der *Substanz*, die im strukturwissenschaftlichen bzw. platonistischen Sinne *Form* und *Inhalt* ist. ³⁸⁴³ Insofern handelt es sich um eine *aktualistische Konzeption möglicher Welten*, auf die wir in Pkt. 6.2.4 zurückkommen. Dabei bestehen auch *mögliche* Sachlagen (bzw. Welten) aus den *gleichen* Gegenständen als Substanz der Welt, da diese Substanz unabhängig von dem, was der Fall ist, gegeben ist. ³⁸⁴⁴ Die "einfachen Gegenstände" sind bei Wittgenstein logische Atome; mit anderen Worten bildet bei ihm die Substanz das logische Atom, wobei Wittgenstein (1921) die Verbindung zwischen dem logischen Atomismus (W2P) und dem physikalischen Aktualismus (W2A) auf Basis naturwissenschaftlicher

³⁸⁴¹ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.022).

³⁸⁴² Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.023).

³⁸⁴³ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.025).

³⁸⁴⁴ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.021, 2.024).

Sätze sucht.³⁸⁴⁵ Wittgensteins (1921) gedachte Welten sind also keine fiktiven Welten (W2F); damit unterscheiden sie sich von der späteren Modalmetaphysik, die auch mit der Modalität "de dicto" konform geht. Vielmehr haben Wittgensteins (1921) *mögliche Welten* mit der aktualen nicht nur im Grundsatz die platonistische Substanz gemein, sondern mit ihr auch die Form. Es geht also um aktuelle (W2A) und mögliche (W2P) Form, nicht aber um fiktive Form (W2F). Das unterstreicht nochmals die Richtigkeit von Diamonds (1991) These, wonach Wittgenstein (1921) eine *metaphysische* Position zu unterstellen ist.

Für Wittgenstein stellt sich die Sachlage im logischen Raum durch das Bestehen bzw. Nichtbestehen von Sachverhalten dar;³⁸⁴⁶ sie ist die Wirklichkeit, die aktuelle Welt, die sich aus den Tatsachen im logischen Raum konstituiert.³⁸⁴⁷ Im Gegensatz zu Quine tritt bei Wittgenstein (1921) mit dem besonderen Stellenwert des *logischen Raums* auch die W2-Ontologie insofern in den Vordergrund, als es gleichzeitig der *logische Raum möglicher Welten* ist, das »Gerüst der Welt«, das durch alle logisch-wahren Sätze beschrieben bzw. vielmehr dargestellt wird.³⁸⁴⁸ Insofern ist Wittgenstein der Leibniz-Russellschen Tradition verschrieben, während bei Carnap und später bei Quine diese möglichen Welten unter Eindruck der Positivismusdiskussion ganz bzw. weitestgehend ausgeklammert werden. Für die AI-Ontologie ist somit Wittgenstein (1921) im Grunde wesentlicher, indem *mögliche Welten* für den Cyberspace agentenbasierter Systeme elementar sind. Indessen macht Wittgenstein (1921) damit nicht mehr deutlich als den Umstand, wie die Leibniz-Whiteheadschen Automaten als Objekte bzw. Subjekte, d.h. als perzeptiv-kognitive Agenten ontologisch unter Aufhebung der Subjekt-Objekt-Dichotomie in integrierter Weise zu konzipieren sind: In der Weise, wie sie bei Leibniz und Whitehead im formallogischen Sinne entwickelt wird und es damit dem faktischen Ursprungsparadigma der Informatik entspricht. Das vollzieht sich ontologisch bereits in dem erforderlichen CPS- bzw. MAS/CAS-adäquaten Zuschnitt, von dem die Disziplin auf Basis ihrer verfehlten Rekurse auf die falschen philosophischen Grundlagen gegenwärtig weit entfernt ist. Denn sie ist ontologisch beim späten Wittgenstein, der indessen tatsächlich gerade als Konkretisierung der epistemischen Probleme, von denen bereits beim frühem Wittgenstein die Rede ist, zu verstehen ist. D.h. die Informatik bezieht sich nicht nur an sich auf eine ungeeignete ontologische Basis, sondern interpretiert diese mit der ausgelösten linguistischen Wende auch noch grundsätzlich falsch. Mit anderen Worten setzt die Informatik im Sinne von Heils (2003: 189) »the linguistic tail wagging the ontological dog« genau am falschen Ende an und stellt damit die Leibniz-Whiteheadsche Ontologieposition, in der gerade ihr eigentliches Ursprungsparadigma besteht, in grobem Unverständnis auf den Kopf. Dabei darf die Ursache in der positivistischen Metaphysikkritik sowie der damit verbundenen Diskreditierung der antimaterialistischen Metaphysik Whiteheads gesehen werden, deren Bewandtnis und Grundlegung

³⁸⁴⁵ Vgl. dazu auch Newen (1991), insbes. S. 40 ff.

³⁸⁴⁶ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.11).

³⁸⁴⁷ Vgl. Wittgenstein (1921: § 2.06, 1.13).

³⁸⁴⁸ Vgl. Wittgenstein (1921: § 6.124).

der Cyber-Physik im Allgemeinen erst mit den Cyber-physischen Systemen (CPS) im IoX-Hyperspace begreifbar wird. Umso mehr ist die *Metaphysik der Informatik* freizulegen.

Die Informatik muss sich am frühen Wittgenstein, nicht am späten, orientieren, allerdings kann auch erster lediglich in Bezug auf die formale Repräsentationssprache Aufschluss bieten. Im Ganzen muss die Disziplin wiederum vorrücken zum Leibniz-Whiteheadschen Paradigma der Metaphysik, das zwar elementar platonistisch ist, jedoch genauso wie im Zeichen der *Tatsachenontologie* Wittgensteins aristotelisch geprägt ist. Die platonistische Grundlegung stellt dabei das einigende Prinzip der CYPO *World Automata*, d.h. der generellen Voraussetzung Whiteheadscher zellulärer Automaten bzw. einer einheitlichen strukturalistischen Systemontologie aller vier CYPO-Welten, während die besondere Qualität der Welt 1 als Welt der physischen Objekte im strengen aristotelischen Sinne auszulegen ist. Im normalen W1A-Modus ist sie entsprechend strikt aktualistisch gehalten. Das ist für Wittgenstein genauso unabdingbar; denn für ihn hat die Logik »nichts mit der Frage zu schaffen [...], ob unsere Welt wirklich so ist oder nicht«. ³⁸⁴⁹ Insofern ist nach Maßgabe der in Pkt. 3.5 differenzierten vier Welten evident, dass die W2P-Ontologie bei Wittgenstein, also jene, die epistemisch, nämlich im Sinne *gedachter* Welten auf mögliche Welten zielt, im Husserlschen Sinne *de facto* auf die W2A-Ontologie rekurriert, die ihrerseits unmittelbar auf die W1A-Ontologie bezogen ist. Folglich wird der *logische Raum* durch die Substanz, d.h. die gedachten Gegenstände in dem Sinne begrenzt, dass sie nur bestimmte mögliche Welten zulassen. Dementsprechend sind letztlich alle *möglichen* W2P-Sachverhalte durch die ontischen W1A-Realfakten präsupponiert, ³⁸⁵⁰ wenngleich nur indirekt über die verfügbaren naturwissenschaftlichen Sätze.

Wittgensteins *Tractatus* stellt lediglich eine epistemische W2-Ontologie dar, und ist damit für die Informatik als völlig unzureichend zu werten. Ihr *cyber-physisches "Reality Computing"* erfordert vielmehr den ganzen CPST-Hyperspace und damit eine Ontologiearchitektur, die im Sinne von CYPO *FOX* die einzelnen relevanten Welttypen in einer ausdifferenzierten Welttypologie eint. Selbst für den Cyberspace reicht Wittgensteins W2A/W2P-Dualismus nicht aus, indem sie keine Engineering-Artefakte bei radikaler Innovation repräsentieren kann. Denn der W2F-Typus ist nicht auf den W2A-Typus bezogen und muss auch nicht notwendig den naturwissenschaftlichen Sätzen entsprechen. Genauso wenig handelt es sich bei der *Tractatus-Ontologie* um eine W3- bzw. W4-Ontologie. Damit kann sie nicht die philosophische Bezugsbasis einer integrierten Ontologiekonzeption bilden. In gleicher Weise, in der Wittgensteins (1921) *Tractatus* als seinem Frühwerk neben Frege und Russell einen wichtigen ILP-Ausgangspunkt markiert, besteht in Wittgensteins (1953) *Philosophischen Untersuchungen* als seinem Spätwerk neben den Arbeiten G.E. Moores ein weiterer wichtiger OLP-Ausgangspunkt. Für Wittgenstein (1953: § 120) gilt: »Wenn ich über Sprache [...] rede, muß ich die Sprache des Alltags reden«; demnach

³⁸⁴⁹ Vgl. Wittgenstein (1921: § 6.1233).

³⁸⁵⁰ Vgl. hierzu Wittgenstein (1921: § 2.0124).

müsse das Ziel darin bestehen, die Wortner von ihrer "metaphysischen" wieder auf ihre alltägliche Verwendung zurückzuführen.³⁸⁵¹ Wittgensteins Transformation von der ILP- zur OLP-Position, die als Wittgenstein I resp. Wittgenstein II differenziert wird,^{3852, 3853} geht mit einem radikalen Wandel in der Erkenntnisperspektive einher.³⁸⁵⁴ Während Wittgenstein I mit dem *Tractatus* im Zeichen des logischen Abbildideals steht,³⁸⁵⁵ darf die Position Wittgensteins (1921) deshalb nicht als *naiver Realismus* ausgelegt werden, als es um nichts weiter als um die prinzipielle Strukturentsprechung von ILP-basierter Ratio von Agenten und der ontologischen Regulae des Automaten- bzw. Regeluniversums geht. Wittgenstein II ist ähnlich differenziert zu betrachten: Zwar geht es hier ausgehend vom *Abriichten auf Sprache* und entsprechenden *Sprachspielen* um *konstruktivistische* Auffassungen;³⁸⁵⁶ doch sollte man diese Wittgenstein (1953) selbst nicht unterstellen. Denn Wittgenstein II ist im Sinne der Philosophie als "*Sprachkritik*" als Ergänzung, nicht als Widerlegung von Wittgenstein I zu verstehen.

Das Gesamtwerk Wittgensteins steht unter dem einigendem Band der Philosophie als "*Sprachkritik*"; demgemäß sind seine Teile auszulegen: Die ILP-Position weist mit der ontischen wie epistemischen Doppelnatur der Booleschen Logik im mathematischen Universum Platons auf eine prinzipielle Korrespondenz im Sinne der in Pkt. 3.2.2 dargelegten *passivistischen Abbildungsthese*, während die OLP-Position mit der Inkommensurabilität der Alltagssprache im Kuhnschen paradigmatischen Sinne auf die *aktivistische Konstruktivonsthese* hinausläuft. Entsprechend gelten die in Pkt. 6.2.6 behandelten Gegenpositionen von Realismus und Konstruktivismus nicht nur in Bezug auf die semantischen Modelle bzw. für die AI-Ontologie, sondern genauso für die konzeptuellen Modelle, d.h. für die CM-Ontologie, was das Erfordernis einer integrierten Ontologiekonzeption erneut unterstreicht. Dennoch hat Wittgenstein den methodischen Konstruktivismus ungewollt stark beeinflusst, wenn nicht gar verursacht, indem man Wittgenstein (1921) einen *naiven Realismus* unterstellte, während man die Position des späten Wittgensteins (1953) für richtig befand und ihm seinerseits eine konstruktivistische Sicht zuschrieb. Das durch Wittgenstein in neutraler Weise herausgearbeitete OLP-Problem wurde damit nicht überwunden, sondern es fing vielmehr mit dem "*linguistic turn*" erst richtig an. In gleicher Weise wie Strawsons (1959) deskriptive Metaphysik die Kantische Position komplett fehlinterpretiert, trifft dies mit dem "*linguistic turn*" auf Wittgenstein (1921, 1953) zu, der selbst in der Kantischen Tradition steht und diese richtig versteht. Demgegenüber geht die allgemeine Fehlinterpretation ursächlich auf die Isolierung der epistemischen Ebene zurück; sie ist durch die ausschließliche Fixierung auf die Agentenebene verursacht, wie es nicht zuletzt

³⁸⁵¹ Vgl. Wittgenstein (1953: § 116).

³⁸⁵² Vgl. etwa Newen (2008).

³⁸⁵³ Damit hängt eine weitere Gegenposition zusammen: Während Wittgenstein I der *analytischen Philosophie* zugerechnet wird, ist es bei Wittgenstein II die *Kontinentalphilosophie*, vgl. Biletzki (2001: 293).

³⁸⁵⁴ Vgl. hierzu auch P.M.S. Hacker (1972).

³⁸⁵⁵ Für Wittgenstein (1921: § 4.021) ist der Satz ein "Bild" der Wirklichkeit.

³⁸⁵⁶ Vgl. hierzu Wittgenstein (1953: § 6 f.).

der nachfolgend in Pkt. 5.6 behandelten phänomenologischen Tradition entspricht. Diese Sichtweise wirkt dabei bis heute auf die *Belief Systems* der AI-Disziplin; denn diese werden in diesem rein epistemischen Sinne fehlkonzipiert. Ausgeklammert wird der Umstand, dass jeder Agent ontisch als *Subjekt-Superjekt* selbst Gegenstand des cyber-physischen Universums ist, das demnach im einheitlichen platonistischen Sinne von Leibniz, Boole, Whitehead, Russell, Wittgenstein oder Poppers zu adressieren ist. Mit dem obigen Verweis auf den eigentlichen Ursprung des Logischen Atomismus Wittgensteins ist dieser genauso unter Maßgabe des Regimes der Whiteheadschen Cyber-Physik zu interpretieren.

In der Tat geht der durch E. von Glasersfeld entwickelte *radikale Konstruktivismus* nicht zuletzt auf die Auseinandersetzung mit dem späten Wittgenstein (1953) zurück. Wittgenstein II stellt den *Tractatus* quasi auf den Kopf, was bereits oben im Zuge der herausgearbeiteten *metaphysischen* Differenz zwischen der ILP- und OLP-Position deutlich wurde. Denn nun heißt es, dass die Welt bzw. die Realität nie ohne weiteres gegeben ist, sondern immer erst im Zuge der Konstruktion in einer Sprache (bei Quine später: im Zuge von Theorien) aktiv erschaffen wird. Das unter Pkt. 1.2 erörterte paradigmatische Inkommensurabilitätsproblem ist hier insofern in grundsätzlicher Weise gegeben, als so viele Welten wie unterschiedliche Sprachen existieren. Insofern wird nachvollziehbar, dass Wittgenstein (1953) die in seinem Frühwerk vertretene realistische Bedeutungstheorie insofern aufgibt, als sie speziell für *menschliche* Agenten *de facto* unzutreffend ist. Ergänzt sei hier wiederum: direkt realisierbar ist sie nur für *maschinelle* Agenten, die einerseits unmittelbar in die Cyber-Physik eingebunden sind, andererseits selbst auf einem ereigniszentrischen Logikkalkül formaler Logik operieren. Doch Wittgenstein (1953) geht es um die Alltagssprache, die für menschliche Agenten mitsamt der *Common Sense Reality* ontologisch konstituierend ist. Dabei ist evident: »Die Bedeutung eines Wortes ist sein Gebrauch in der Sprache«, ³⁸⁵⁷ womit für Wittgenstein II eine *relativistische* Bedeutungstheorie in den Vordergrund tritt. Hier kann der Sprache keine objektive bzw. neutrale Rolle mehr zukommen. Offenbar lässt sich auf einer solchen semantischen bzw. ontologischen Basis das Inkommensurabilitätsproblem nicht aufheben. Was allgemein übersehen wird ist dabei der Umstand, dass im Konstruktivismus in Bezug auf die Realitatsinterpretation im "*general world view*" der Agenten bei allen Agentenklassen, insbesondere jener menschlicher, d.h. psychisch-neurobiologisch veranlagter kognitiver Agenten allein das Problem besteht, nicht aber die Lösung. Im Zeichen der Cyber-Physik ist offenbar, dass die Lösung keine konstruktivistische, sondern nur eine realistische sein kann. Denn die Cyber-Physik ist allein als transdisziplinäre Cyber-Metaphysik adressierbar, indem es universal um das informatorische Moment im Leibniz-Whiteheadschen Sinne geht. Maschinelle Agenten zeigen auf Basis der integrierten CYPO-Ontologiearchitektur, worin die Lösung besteht, nämlich im Erfordernis der *Belief Revision*, die auf Grundlage objektivierten bzw. objektiven Wissens zu vollziehen ist. Als solche setzt sie für alle Agentenklassen regionale und vor allem

³⁸⁵⁷ Vgl. Wittgenstein (1953: § 43).

globale Intelligenz voraus, wie sie für maschinelle Agenten im zweiten Teil umrissen worden ist. Für menschliche Agenten gilt im Whitehead-Popperschen Sinne nichts anderes.

Konnten in Ergänzung zu der in Pkt. 5.1 diskutierten Quineschen Ontologie anhand der ILP- und OLP-Positionen des frühen und späten Wittgensteins wesentliche Aspekte der *analytischen Ontologie* aufgezeigt werden, kommen wir schließlich noch auf die *analytische Metaphysik* zu sprechen, die von ebenso großem Einfluss auf die AI-Ontologie ist.³⁸⁵⁸ Das gilt nicht zuletzt mit Blick auf den in Pkt. 6.2.4 behandelten Gegensatz von *Aktualismus vs. Possibilismus*. Da die analytische Metaphysik auf Basis der modalen Logik operiert, wird sie auch als *Modale Metaphysik (modal metaphysics)* bzw. gelegentlich auch als *Metaphysik der Modalität (metaphysics of modality)* bezeichnet,³⁸⁵⁹ die sich im Kern um die *metaphysische Modalität (metaphysical modality)* in möglichen Welten dreht. Im Unterschied zu Wittgensteins Tatsachenontologie oder Husserls formaler Ontologie basieren mögliche Welten in der analytischen Metaphysik auf der *rein logischen Möglichkeit*; es handelt sich damit um ein vollkommen anderes Moglichkeitsverstandnis als jenes, das auf der aktuellen Welt aufsetzt und diese variiert. Diese systematische und rigorose Kopplung mit der aktuellen Welt fehlt in *possibilistischen* Ontologien; sie sind in ihrer modalen Analyse gedanklich völlig frei, können also gewissermaßen der Imagination freien Lauf lassen, solange ihre Sätze logisch-wahr sind. Insofern wird die analytische Metaphysik zuweilen auch als *Lehnstuhl-Metaphysik (armchair metaphysics)* betitelt bzw. in ihrem Kontext die Analytische Philosophie als *Lehnstuhl-Philosophie (armchair philosophy)* bezeichnet.³⁸⁶⁰ Als solche ist sie von der *wissenschaftlichen Metaphysik*, die im engen Zusammenspiel mit den empirischen Wissenschaften steht, völlig befreit. Eine empirische Gesamtschau des Ratio-Empirismus und damit die Frage nach entsprechend universalen ratio-empirischen Kategorien gibt es hier nicht. Vielmehr geht es um *Gedankenexperimente (thought experiments)*, jenseits des *Modalen Realismus* Lewisscher Provenienz um rein *gedachte* Welten. Allerdings ist diese metaphysische Position in verschiedener Hinsicht unhaltbar; mit D.C. Williams (1953a) gilt:

»Metaphysics is the thoroughly empirical science. Every item of experience must be evidence for or against any hypothesis of speculative cosmology, and every experienced object must be an exemplar and test case for the categories of analytic ontology.«³⁸⁶¹

Es ist das fehlende Interesse an der realfaktischen Welt, das durch Mulligan/Simons/Smith (2006) scharf kritisiert wird; sie bemängeln, dass die Analytische Philosophie, die heute durch die analytische Metaphysik dominiert wird, dem Anspruch einer *wissenschaftlichen* Philosophie bewusst nicht nachkommt.³⁸⁶² Der Gedanke der *Scientific Ontologies*, wie er nicht nur bei Bunge oder Whitehead, sondern mit B. Smith im Zuge der BFO-TLO auch in der Informatik vertreten wird, ist im Sinne Quines oder Poppers von den empiri-

³⁸⁵⁸ Vgl. auch Guarino/Welty (2002).

³⁸⁵⁹ Vgl. hierzu bspw. W. Schwarz (2007).

³⁸⁶⁰ Vgl. hierzu bspw. F. Jackson (1994).

³⁸⁶¹ D.C. Williams (1953a: 3).

³⁸⁶² Vgl. Mulligan/Simons/Smith (2006: 63).

schen Wissenschaften inseparabel. Die analytische Metaphysik teilt dieses Interesse an den empirischen Gesichtspunkten nicht; es geht ihr vielmehr bewusst um eine Position, die rein *a priori* ist.³⁸⁶³ Entsprechend verwundert es nicht, dass es sich bei ihr im Allgemeinen wiederum allein um die *epistemische* Ontologie, um W2-Ontologie handelt, deren Gedankenexperimente sich wesentlich auf Basis des *kontrafaktischen Denkens* (*counterfactual thinking*) vollziehen.³⁸⁶⁴ Für die Zwecke der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist eine solch isolierte, reine W2-Ontologie offensichtlich genauso ungeeignet wie insgesamt für eine integrierte Ontologiekonzeption. Was zählt ist gerade die W2-W1- bzw. W2-W4-Interaktion im Sinne der *Neuen Ontologie*, die wesensnotwendig empirisch ist. Allerdings heißt das nicht, dass die analytische Metaphysik keine interessanten Gesichtspunkte eröffnet. Das gilt insbesondere mit Blick auf die für U-PLM-Systeme maßgeblichen Innovationsprozesse. Hier ist das *logische Durchdenken* vollkommen neuer, möglicher Welten und ihre ontologische Repräsentation elementar, die nichts oder nicht viel mit dem Status quo der jeweiligen Industrie zu tun hat.³⁸⁶⁵ Indessen verlangt das die Einbettung in eine integrierte Ontologiekonzeption, womit der W2-Modus in seiner TLO-Referenz auf dem gleichen "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*" aufsetzen muss wie die übrigen Ontologiemodi. Das aber ist mit der analytischen Metaphysik nicht zu machen.

Die Debatte um Wittgenstein I vs. Wittgenstein II ist für die Selektion der für die Informatik letztlich sachgerechten *Top-level Ontologie* insofern entscheidend, als die im KR-Kontext verbreitetesten TLO-Ansätze, nämlich BFO und DOLCE, wesentlich in ihr stehen. Wir kommen damit auf die in Pkt. 5 mit Guarino (1995) erörterten beiden philosophischen Strömungen zurück, nämlich zum einen auf die hier behandelte Analytische Philosophie, und zum anderen auf die "*School of Manchester*". Dabei steht DOLCE ganz im Zeichen der Analytischen Philosophie bzw. von Strawsons (1959) *descriptive metaphysics* und somit von Wittgenstein II, während BFO zwar nicht auf Wittgenstein I aufbaut, jedoch die Besonderheiten dieser Position gerade im Vergleich mit Wittgenstein I deutlich werden. Beide teilen letztlich die Idee der *Scientific Ontology*; doch ist die BFO-TLO phänomenologisch gehalten. Für sie gilt weder ein metaphysischer Realismus noch die Voraussetzung objektiven Wissens. Zudem ist die BFO neo-aristotelisch gehalten; Wittgenstein I hingegen ist platonistischer Natur; BFO adressiert entsprechend nur aktuelle Welten, Wittgenstein I indessen gerade auch mögliche Welten. Geht es um die Frage der Integrierbarkeit bzw. Kompatibilität von DOLCE und BFO, ist die Antwort darauf entsprechend in den philosophischen Grundlagen beider TLO-Ansätze zu suchen. Mit Simons (2010c) bestehen tatsächlich entscheidende Unterschiede zwischen BFO und DOLCE bzw. zwischen der maßgeblich durch Brentano und Husserl geprägten "*School of Manchester*" (BFO) und der

³⁸⁶³ Ibid., S. 64.

³⁸⁶⁴ Vgl. hierzu bspw. T. Williamson (2005).

³⁸⁶⁵ Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass der Fokus der *Analytischen Philosophie* weniger auf einer philosophischen Reflexion liegt, die im imaginativen Sinne vollkommen neue Perspektiven eröffnet. Ihr Schwerpunkt liegt vielmehr auf der *Begriffsanalyse*, vgl. auch Strawson (1992: 2). Dennoch kann sie bei komplexen neuen Szenarien im Zuge von W2-Ontologien von Nutzen sein.

Modalmetaphysik der Analytischen Philosophie (DOLCE). Diese maßgeblichen Unterschiede sind mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 schon darin gegeben, als es um zwei völlig andere Arten von Kategorien geht, nämlich einmal um aristotelische *ontische* Kategorien, und einmal um Kantische Hilfskategorien, die *epistemische* sind. Erste haben zwingend mit Entitäten der Realität zu korrespondieren, während dies für zweite nicht erforderlich ist. Entsprechend geht es mit Verweis auf Pkt. 6.2.8 auch um andere Wahrmacher (Truth-makers), indem ontische Kategorien im Allgemeinen auf die Korrespondenztheorie hinauslaufen, die jedoch mit Blick auf DOLCE inakzeptabel ist. Weitaus wesentlicher ist jedoch die Tatsache, dass sich beide Kategorienarten auf komplett andere Poppersche Welten beziehen, nämlich im ersten Fall auf die Welt 1, im zweiten auf die Welt 2. Damit geht es nicht nur um zwei vollkommen verschiedene Kategoriensysteme, sondern vor allem um zwei disparate Metaphysiktypen. Es handelt sich um zwei Varianten deskriptiver Metaphysik, nämlich um eine ontische (BFO) und eine epistemische (DOLCE) Variante. Letztere stellt dabei unter anderem mit ihren Anleihen bei D.K. Lewis eine moderne Klasse-2-Metaphysik dar, erste tendiert mit ihren *Scientific Ontologies* und ihrem immanenten Realismus hingegen deutlich in Richtung der Klasse-3-Metaphysik. Doch erreicht sie diese insofern nicht, als bei ihr – analog zu Quine – das klare Bekenntnis zum metaphysischen Realismus genauso fehlt wie der darauf gründende Ratio-Empirismus. Vor allem ist ihr objektives Wissen im Sinne wissenschaftlicher Metaphysik versagt. Vielmehr ist sie als *Klasse-2A-Metaphysik* zu verstehen, indem sie deskriptive Metaphysik ist, wenngleich sie sich strikt auf die aktuelle Welt bezieht.

Wenn Simons (2010c: 208) in kritischer Reflexion der Analytischen Philosophie die Frage aufwirft: »Do categories cut any ice outside the philosophy room?« ist dies im Fall von DOLCE mit "ja" und "nein" zugleich zu beantworten. Das "Ja" gilt in Bezug auf den maßgeblichen Einsatz der DOLCE-Kategorien in der Informatik, der sich in der DUL-Variante etwa im Zuge der SSN-Sensorontologie auch ganz pragmatisch darzustellen vermag. Das "Nein" ist hingegen mit Verweis auf den Modalen Realismus von D.K. Lewis anzubringen, wenn DOLCE explizit auf diesem aufbaut. Indem alle Lewisschen Welten gleichzeitig real sind, lassen sich auch die Kategorien nicht auf den aktualistischen Modus eingrenzen bzw. entsprechend im Sinne objektiven Wissens spezifizieren. Ferner werden die ontischen 4D-Kategorien bei D.K. Lewis mit den epistemischen 3D+T bei DOLCE unzulässig verknüpft. Dass es bei Lewis um ein hypothetisches Realitätsverständnis geht, ist im *Falsifikationismus* des Kritischen Rationalismus angelegt. Wenn vor seinem Hintergrund die aristotelische Position von Seiten Simons Zustimmung darin erfährt, »that our aim in knowledge is to discern the divisions in reality itself«,³⁸⁶⁶ wird deutlich, dass es nicht nur um disparate metaphysische Kategorien und Poppersche Welten, sondern damit verbunden auch um unterschiedliche Wissensarten geht. Tatsächlich ist für BFO – analog etwa zu BWW – das objektive, streng wissenschaftliche Wissen elementar, während für DOLCE

³⁸⁶⁶ Vgl. Simons (2010c: 197).

die Voraussetzung solchen objektiven Wissens nicht nur aufgrund des Modalen Realismus unmöglich ist, sondern vielmehr auch in epistemologischer Hinsicht, wenn hier maßgeblich die Sichtweise eines rigorosen Konstruktivismus vorausgesetzt wird:

»There are thus categories, fundamental concepts indispensable to our cognition, such as existence, identity and difference, the logical connectives and quantifiers, and modal concepts such as necessity, which do not correspond to anything in reality.«³⁸⁶⁷

Simons (2010c) ist zuzustimmen, dass das grundlegende Problem der analytischen Metaphysik darin besteht, dass für sie solche Kategorien im Mittelpunkt stehen, die wir in Pkt. 3.5 als W2F-Kategorien erörtert hatten. Wenn Simons (2010c) argumentiert, dass jede Art seriöser Metaphysik sich langfristig in ihrer *Anwendung* zu bewähren hat, und er diese Anwendbarkeit für die *Mögliche-Welten-Metaphysik* in Zweifel zieht, lässt sich auch dies wiederum mit einem Pro- und einem Contra-Argument untermauern: Offenbar gilt die sachgerechte Anwendbarkeit nicht mit Blick auf das, was B. Smith als *Scientific Ontologies* im Sinn hat. Für *rein* virtuelle Welten sind solche *Mögliche-Welten-Metaphysiken* indessen nicht nur anwendbar, sondern sie bilden hier seit langem eine Bezugsbasis, die etwa bei McCarthy/Hayes (1969) zum Einsatz kommt. Das gilt auch dann, wenn sie insgesamt im Widerspruch zur Position von McCarthy/Hayes (1969) steht. Offensichtlich sind beide TLO-Ansätze auf je einen Modus bzw. Welttypus zugeschnitten, nämlich BFO im Sinne aristotelischer Universalien auf die physische Realität und DOLCE im Sinne Lewischer Universalien auf virtuelle AI-Welten. Allerdings sind diese Welten nicht ohne weiteres kombinierbar. In der Tat gehen solche Monoweltenontologien an den Anforderungen einer CPSS-adäquaten Ontologie vorbei, womit bereits an dieser Stelle festgestellt sei, dass weder BFO noch DOLCE tatsächlich als CPSS-adäquat eingestuft werden können. Auch kann es sich mit ihrer je spezifischen Orientierung nicht um faktisch *universale* Ontologieansätze handeln, wie es der TLO-Gedanke jedoch einfordert.

Für die analytische Metaphysik ist die *Mögliche-Welten-Metaphysik* konstituierend, womit sie nicht systematisch im Sinne des unter Pkt. 4.1 erwähnten Ratio-Empirismus auf die aktuelle Welt bezogen sein kann. Daher handelt es sich um eine Klasse-2-Metaphysik, die sich insofern von einer Klasse-3-Metaphysik wie der Buneschen grundlegend unterscheidet, als letztere strikt dem Ratio-Empirismus verpflichtet ist. Dabei erweisen sich wissenschaftliche Metaphysiken (Klasse 3 und 4) insofern genauso heterogen wie analytische Metaphysiken (Klasse 2), als es bei beiden Metaphysikvarianten sowohl 3D- als auch 4D-Ansätze gibt. Mit Blick auf Pkt. 6.2.5 erscheint die Feststellung nicht unwesentlich, dass gerade der einflussreichste analytische Metaphysiker des letzten Viertels des zwanzigsten Jahrhunderts,³⁸⁶⁸ nämlich D.K. Lewis, genauso wie sein akademischer Lehrer Quine diese 4D-Sichtweise in Whitehead-Manier vertritt. Lewis (1986b) hat ihr in der Analytischen Philosophie endgültig zum Durchbruch verholfen; mit M. Heller (1990) oder Sider (2001) bestehen weitere analytische 4D-Ontologien, die man als analytische Prozessontologien

³⁸⁶⁷ Simons (2010c: 199).

³⁸⁶⁸ Vgl. etwa Williamson (2014: 8); vgl. hierzu ergänzend Soames (2015).

bezeichnen kann. Dieser Umstand sollte jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass der Grosteil der analytischen Philosophen immer noch dem 3D-Ansatz verhaftet ist. Das nicht zuletzt deshalb, weil sie die Auffassung vertreten, es wäre dieser, der dem *Common Sense* nahe stünde, was jedoch mit M. Heller (1990) selbst im eigenen Paradigma bezweifelt wird. Da es sich bei allen genannten analytische 4D-Ansätzen in erster Linie um *prozess-ontologische* Ansätze handelt, kommen wir auf diese in Form einer Kurzkritik in Pkt. 5.7 unter den *Prozessontologien* gesondert zurück. Dass die modernen Ansätze der Analytischen Philosophie mit Lewis, Heller oder Sider in die prozessontologische 4D-Richtung gehen, sollte als Indikator gewertet werden, dass mit der klassischen OLP-basierten Klasse-2-Metaphysik, die sich auf sprachphilosophische Überlegungen stützt, etwas grundlegend nicht stimmt.

Wie in Pkt. 3.1 ausgeführt, weist die analytische Ontologie resp. Metaphysik eine ganze Reihe an Verbindungen zur Ontologie der Informatik auf. Die *linguistische Philosophie* (linguistic philosophy) ist zentrale Inspiration für die in Pkt. 3.3.2 diskutierte *linguistische Ontologie* der Informatik. Diese hat sich nicht nur mit Quine und anderen auf formale Logik abstellende ILP-Ansätze für die AI-Ontologie als wegweisend erwiesen, sondern analoges gilt etwa mit DOLCE oder SUMO auch im TLO-Bereich mit OLP-Ansätzen. Hinter diesem Ontologietypus steht wiederum die in Pkt. 6.2.2 behandelte *deskriptive Metaphysik* Strawsons (1959), der selbst Verfechter der OLP-Position ist. Entsprechend steht auch die DOLCE-TLO explizit im Zeichen von Strawsons (1959) deskriptiver Metaphysik. Daneben gibt es Verbindungen zu der in Pkt. 5.4 diskutierten Metaphysik Chisholms. Was IS-Ontologien anbelangt, steht etwa der Eklektizismus von Ashenhurst (1996) im Zeichen der analytischen Ontologie; bei der AI-Ontologie sind dies McCarthy/Hayes (1969) sowie letztlich auch Gruber (1993, 1995). Mit Blick auf die oben erwähnte Kritik, die die Vertreter der *"School of Manchester"* bzgl. des fehlenden Realitätsbezugs der Analytischen Philosophie vorbringen, kann es nicht überraschen, wenn B. Smith (1987a) deren ontologischer Perspektive explizit die im nachfolgenden Pkt. 5.6 erörterte Husserlsche phänomenologische formale Ontologie entgegensetzt:

»[T]he ontology of language is concerned precisely with the relations between uses of language, both overt and covert, and other entities, whether in the world or in the mind of the subject. [...] It is remarkable how few analytic philosophers have attempted to describe any of these relations in more than merely metaphorical terms - as if language, narrowly conceived as a system of abstract types, would exist in splendid isolation from mental and other sorts of structure.«³⁸⁶⁹

Mit der großen Wertschätzung, die Quine in Teilen der Ontologie der Informatik entgegengebracht wird, ist als letztes zu klären, inwiefern dieser tatsächlich als Vertreter des ILP-Zweigs der Analytischen Philosophie gewertet werden kann. Dieser wird durch Russell begründet, der selbst eine Metaphysik *a priori* vertritt, wodurch der ILP-Zweig maßgeblich geprägt ist. Quine, der oftmals direkt mit der ILP-Tradition in Verbindung gebracht wird, vertritt mit seinem Naturalismus bzw. Empirismus hier jedoch eine gänzlich andere Position. Mit dieser steht er an sich in der Linie Whiteheads – bis auf Quines Ablehnung

³⁸⁶⁹ B. Smith (1987a: 205 f.).

aller Metaphysik, die nicht zuletzt im Zeichen der positivistischen Epoche zu interpretieren ist. Wenn Quine diese ablehnt, beziehen sich seine Argumente allerdings primär auf Klasse-1- bzw. Klasse-2-Metaphysiken. Letztere umfasst auch den OLP-Zweig, den Quine fundamental kritisiert. Indessen richten sich Quines in Pkt. 5.1 behandelte metaphysikkritische Argumente keineswegs gegen eine *empiristische "Universalsynthese"*, wie sie in Pkt. 4.1 erörtert wurde. Anzumerken ist allein, dass er diese auf seinen Naturalismus beschränkt. – Zwar handelt es sich bei Quine um einen sprachlich orientierten Ansatz; als *deskriptive Metaphysik* ist seine Ontologie allerdings nur eingeschränkt verstehbar. Denn für diese ist im Allgemeinen der aristotelische *Common Sense-Realismus* kennzeichnend, mit dem sich jedoch zu Recht weder B. Smith noch Quine zufrieden geben.

Während es sich jedoch bei der BFO-TLO B. Smithens um eine deskriptive Metaphysik im Sinne einer Klasse-2A-Metaphysik handelt, tendiert die Ontologie Quines mit ihrem Empirismus und Naturalismus – ungeachtet von Quines offizieller Position – mit ihrer Meta-Ontologie und ihren Kategorien letztlich in Richtung der revisionären Metaphysik. Seine Meta-Ontologie ist insofern durch einen zeitgemäßen Physikalismus geprägt, als seine Ereignisse in der raumzeitlichen 4D-Perspektive der Relativitätstheorie verstanden werden. Für Quine besteht wie bei Whitehead dann ontologischer Handlungsbedarf, wenn die Kategorien bzw. meta-ontologischen Dispositionen mit neuen naturwissenschaftlichen Fundamentalerkenntnissen konfliktieren. Quine geht damit – ungeachtet der in Pkt. 5.3 herausgearbeiteten Unterschiede zu Bunge – im Gegensatz zur phänomenologischen Position B. Smithens in Richtung von Bunges *Scientific Realism* und seiner Klasse-3-Metaphysik als revisionärer Metaphysik. Indessen lässt sich Quine dieser nicht zurechnen, was weniger aufgrund seiner offiziellen Metaphysikablehnung als vielmehr aus dem Grunde der Fall ist, als sich bei Quine kein *Ratio-Empirismus* und damit auch keine *empiristische "Universalsynthese"* findet. Damit hat er – analog zu Smith – Probleme bei der Realisierung einer tatsächlichen *Einheit des Wissens*. Im Gegensatz zu Smith bestehen diese aufgrund von Quines Naturalismus zwar nicht in Bezug auf die regionalen Ontologien der Naturwissenschaften, als vielmehr vor dem Hintergrund der erforderlichen Transdisziplinarität insgesamt. Das gilt insbesondere mit Blick auf die W3- und W4-Ontologie wie in Bezug auf das W2-W3-Wechselspiel, wie es im Kritischen Rationalismus verankert ist. Dennoch ist Quines Ontologie eine *Scientific Ontology*, wobei diese von der veridikalen Variante B. Smithens teils maßgeblich verschieden ist:³⁸⁷⁰

»Our acceptance of an ontology is, I think, similar in principle to our acceptance of a scientific theory, say a system of physics: we adopt, at least insofar as we are reasonable, the simplest conceptual scheme into which the disordered fragments of raw experience can be fitted and arranged. Our ontology is determined once we have fixed upon the over-all conceptual scheme which is to accommodate science in the broadest sense [...].«³⁸⁷¹

Somit ist Quines empiristische Ontologie insgesamt der heterogenen Klasse-2A-Metaphysik zuzuordnen; es handelt sich wie bei B. Smith um eine aktualistische deskriptive

³⁸⁷⁰ Vgl. dazu auch Fn. 2190.

³⁸⁷¹ Quine (1948: 35 f.).

Metaphysik, allerdings im Unterschied zu diesem mit deutlich revisionärer Tendenz. Auch steht Quines Ontologie nicht in der OLP-, sondern in der ILP-Tradition. Von B. Smith unterscheidet sich Quine auch insofern, als bei letztem ein ausdifferenziertes ontologisches Kategoriensystem fehlt und die meta-ontologischen Kriterien unterspezifiziert sind. Von der Klasse-3-Metaphysik als revisionärer Metaphysik unterscheiden sich beide dadurch, dass sie weder systematisch eine empiristische Universalsynthese noch einen Ratio-Empirismus vollziehen. Vielmehr bedienen sie sich unmittelbar der OLP- (Smith) bzw. ILP-Semantik (Quine) um empirische Sachverhalte zu repräsentieren.

Zwar gilt für Quine (1953a: 446) die Maxime, »that [...] philosophy of science is philosophy enough«; allerdings stellen sich mit der Ontologie der Informatik im Grunde sämtliche wissenschaftstheoretische Fragen neu – und ganz anders, als sie Quine vorschweben. Denn bei einer *Wissensontologie* hängen nunmehr alle ontologischen und epistemologischen Fragen unmittelbar mit methodologischen zusammen: die Einheit des Wissens ist eine *wissensontologische Einheit*, die mit der Konsistenz aller Domänenontologien letztlich auch jene aller regionalen Ontologien voraussetzt. Die Relation zwischen *Top-level Ontologie* und *Domänenontologie* entspricht also in ihrer ontologischen Struktur jener zwischen *Universalontologie* und *regionalen Ontologien*. Muss es aus Sicht der Informatik zuvorderst um die ontologische Frage der *Einheit des Wissens* gehen, wird eine *ontologische Einheit der Wissenschaften* zur Voraussetzung. Indem diese Einheit allein über das Transdisziplinaritätsmoment und den Ratio-Empirismus führen kann, müssen sich Quine-Verfechter dieser neuen wissenschaftstheoretischen Herausforderung stellen. Es wäre zudem zu begründen, welche Argumente gegen die Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysik sprechen, wenn eine transdisziplinäre Universalontologie notwendig als Heavyweight-Ontologie zu konzipieren ist. Für diese reichen keine mathematischen Kategorien; vielmehr erfordert die Ontologie echte, metaphysische Kategorien mitsamt den relevanten meta-ontologischen Aspekten. Geht man von rein physischen Welten aus, kann sich ein "All-ist" wie Quine auf ein Dasein als Realist, Empirist und Naturalist beschränken. Setzt man jedoch im CPS-Kontext die Existenz cyber-physischer Welten voraus und fordert man in diesem Kontext eine Ontologie der Artefakte ein, ist dieses Selbstverständnis des "All-ist" zu ändern. Offensichtlich geht es dann nicht mehr allein um die Welt 1, auf die der Quinesche Naturalismus abzielt, sondern gleichermaßen um die Welt 3; bei agentenbasierten Systemen auch um die Welt 2, bei Einsatz von MAS-Technologien zudem um die Welt 4. Im Ergebnis bleibt festzuhalten, dass Quine weder als genuiner ILP-Verfechter aufzufassen ist, noch in grundsätzlicher Hinsicht den maßgeblich geänderten wissenschaftstheoretischen Anforderungen der Informatik mit seinem positivistischen Ontologieverständnis genügen kann. Somit kann in den gegenwärtigen ILP- und OLP-Paradigmen genauso wenig die Fundierung einer integrierten Ontologiekonzeption bestehen wie in ihren Vorläufern Wittgenstein, Carnap oder Quine. Abschließend wird in den folgenden zehn Punkten zusammengefasst, warum in der Analytischen Philosophie keine geeignete Aus-

gangsbasis zur Fundierung der Ontologie der Informatik bestehen kann, was sowohl für die OLP- als auch für die ILP-Richtung gilt:

1. In der OLP-Tradition ist die Analytische Philosophie als Fundament für die Ontologie der Informatik deshalb abzulehnen, weil diese Basis mit ihrer defizitären wie partiell defekten Normalsprache weder universal ist noch sich auf ihr stabile Ontologien realisieren lassen, die sicheres Schließen ermöglichen. Sie entspricht weder den Anforderungen von *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz noch bietet ein linguistischer Ansatz die richtige Ausgangsbasis für die Verhältnisbestimmung einzelner Kategorien wie Ereignis und Objekt oder für die Frage ihrer 3D- vs. 4D-Konzeption. Dass die OLP-Richtung entsprechend nicht den primären OE-Ansatzpunkt darstellen kann, wurde in Pkt. 3.3.2 festgestellt.
2. Bzgl. der ILP-Tradition ist herauszustellen, dass sich die mathematische Logik als "Idealsprache" gewiss nicht auf diese Tradition beschränkt. Dabei ist insbesondere auf die wissenschaftlichen Metaphysiken Whiteheads, Bunes und anderer zu verweisen, die gerade keine sprachphilosophischen Ansätze verkornern, sondern diese vielmehr ausdrücklich ablehnen. Allerdings sind sie vom Grundsatz her mindestens genauso als *formale Ontologie* zu werten. Das steht auch mit der auf Whitehead aufbauenden Sowa-TLO bzw. der auf Bunge rekurrierenden BWW-TLO außer Frage. Die Ablehnung der ILP-Tradition geht darauf zurück, dass sie eine deskriptive, keine revisionäre Metaphysik verkornert. Als solche vollzieht sie in naiver Weise Ontologie ohne ontologische Analyse, was für die disparaten ontologischen Zwecke der Informatik wie für ihr unmittelbares *cyber-physisches "Reality Computing"* einen grundsätzlich verfehlten Ansatz darstellt.
3. Die Analytische Philosophie verwechselt Semantik mit Ontologie bzw. setzt diese weitgehend gleich: »Substantive ontological issues are transmogrified into issues concerning language and its application.«³⁸⁷² Insbesondere Existenzfragen werden dabei sprachphilosophisch entschieden.³⁸⁷³ So basiert Kunnes (2007) Argument für die Existenz abstrakter Gegenstände darauf, dass es wahre "abstrakte Aussagen" gibt, die sich nicht auf andere Aussagen zurückführen lassen. Wie bereits in Pkt. 3.3.2 festgestellt, gilt dann indessen mit Heil (2003: 189): »the linguistic tail wagging the ontological dog«. Insofern reicht es keineswegs aus, mit Bergmann (1992) dem "*linguistic turn*" Einhalt zu gebieten, sondern vielmehr ist mit C.B. Martin/Heil (1999) ein erneuter "*ontological turn*" zu vollziehen, wenn gilt: »Ontology is with us, whether we like it or not.«³⁸⁷⁴ Bezogen auf die grundlegenden W1-Ontologien sind Kategorien als *ontische* Kategorien, nicht als linguistische Kategorien zu verstehen. Dabei lassen sich solche ontischen Kategorien sowohl in Auswahl als in Verhältnisbestimmung allein auf

³⁸⁷² Vgl. C.B. Martin/Heil (1999: 36).

³⁸⁷³ Vgl. exemplarisch Zalta (1983).

³⁸⁷⁴ Vgl. C.B. Martin/Heil (1999: 57).

Basis einer empiristischen Universalsynthese bestimmen, nicht auf Basis der Sprachanalyse. Mit anderen Worten lässt sich die Struktur der Welt nicht an der Struktur unseres Denkens über die Welt ablesen.³⁸⁷⁵ Entsprechend dürfen epistemische Kategorien nicht mit ontischen verwechselt werden. Im Sinne der W1/W2-Differenzierung sind vielmehr beide vorauszusetzen.

4. Die analytische Metaphysik versteht sich regelmäßig als *Modalmetaphysik*. Auch im Hinblick auf die damit zusammenhängenden *möglichen Welten* erweist sie sich insofern als problematisch, als sie keine geschlossene Schule repräsentiert: Chisholm oder Plantinga behandeln mögliche Welten als *abstrakte Objekte*, während Lewis sie im Sinne *konkreter Objekte* versteht. Insofern kann auch nicht etwa zwischen analytischen TLO-Ansätzen wie der Chisholm-TLO und der DOLCE-TLO Kompatibilität bestehen, wenn DOLCE auf dem *Modalen Realismus* von Lewis (1986b) aufbaut. Darüber hinaus operieren Ansätze der analytischen Metaphysik mit möglichen Welten, die keinen Bezug zur aktuellen Welt aufweisen. Es geht damit um andere mögliche Welten als in der nachfolgend behandelten Phänomenologie Husserls, weshalb mit Verweis auf Pkt. 3.5 strikt zwischen einem *possibilistischen* "P"- und einem *rein fiktiven* "F"-Submodus zu differenzieren ist.
5. Mit Verweis auf Pkt. 4.1 steht außer Frage, dass die ILP-Tradition als analytische Metaphysik nicht der wissenschaftlichen bzw. techno-wissenschaftlichen Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysik entspricht. Vielmehr ist für die analytische Tradition insgesamt die in Pkt. 6.2.2 näher behandelte *deskriptive Metaphysik* kennzeichnend, womit sie nicht über eine Klasse-2-Metaphysik hinauskommt. Wenn solche Metaphysiken überhaupt Kategorien zugrundelegen, sind es regelmäßig *linguistische* Kategorien; ggf. auch mathematische Kategorien. Es stehen also keine *ratio-empirischen* Kategorien im Fokus. Damit besitzt die Analytische Philosophie mit Verweis auf das oben mit D.C. Williams (1953a) dargelegte Wesen der Metaphysik zwei Fundamentalprobleme: mit Blick auf ihre linguistischen Kategorien ist mit Mauthner (1910: 340) festzustellen: »spräche die Natur, spräche sie nicht unsere Sprache«; damit sind die Grenzen des OLP-Zweigs im Sinne Wittgensteins und Quines offenkundig. In Bezug auf ihre Fokussierung mathematischer Kategorien wie der Modallogik gilt mit Bunge/Mahner (2004: 246) demgegenüber, dass sich »Realität nicht apriorisch erforschen lässt«, womit sich unter empiristischen Aspekten auch der ILP-Zweig erledigt.
6. Klasse-2-Metaphysiken können weder für *Scientific Ontologies* Popperscher Provenienz konstituierend sein noch sind sie mit Blick auf die Reflexion der physischen Realität als CPSS-adäquat zu werten. Somit können sie nicht die Grundlage für die Ontologie der Informatik bilden, wenn insbesondere mit der

³⁸⁷⁵ Vgl. auch Wachter (2004).

Top-level Ontologie vor dem Hintergrund einer integrierten Ontologiekonzeption ein universaler Transdisziplinaritätsanspruch gegeben ist. Die Defizite der analytischen Metaphysik als Klasse-2-Metaphysik werden auch daran offensichtlich, als im Verzicht auf eine erfahrungswissenschaftliche Prüfung und auf Grundlage eines reinen Rationalismus zumeist eine *Substanzmetaphysik* für sie kennzeichnend ist.³⁸⁷⁶ Das gilt im Hinblick auf die deskriptive Metaphysik auch für Strawson selbst.³⁸⁷⁷ Auch insofern disqualifiziert sie sich grundsätzlich als metaphysische Grundlegung der Ontologie der Informatik. Baut die Analytische Philosophie mit Pkt. 5.7 in den letzten Jahren verstärkt auf einer prozessontologischen Perspektive auf, ist festzustellen, dass sich diese letztlich alle von der Prozessmetaphysik Whiteheads ableiten. Diese setzt aber statt eines sprachphilosophischen Zugangs zur Ontologie den *Ratio-Empirismus* voraus, womit man es beim Original bewenden lassen sollte.

7. Die Ontologie des frühen Wittgenstein (1921) wie jene in Pkt. 5.1 behandelte Quines (1980) stehen als maßgebliche Vorläufer der analytischen Tradition letztlich insofern zwischen deskriptiver und revisionärer Metaphysik, als es sich bei ihnen um realistische bzw. empiristische Ansätze handelt, bei denen alle Sätze einer empiristischen, naturalistischen Prüfung standzuhalten haben. Selbstverständlich handelt es sich jedoch nicht um *ratio-empirische* Ansätze, indem sie keine metaphysischen Kategorien besitzen. Die fundamentalen Strukturen der Realität werden somit nicht *im Vorhinein* im Sinne einer transdisziplinären OE-Basis bestimmt, sondern kommen erst *im Nachhinein* im Sinne empirischer Prüfung zum Tragen. Mit Verweis auf die Ausführungen in Pkt. 5.1 sowie Pkt. 6.1.3 kann in einem solchen Procedere indes keine Basis einer transdisziplinären Wissensrepräsentation bestehen. Insbesondere alle meta-ontologischen Kriterien, also etwa die Frage der 3D- vs. 4D-Auslegung von Entitäten, sind selbstverständlich im Vorhinein zu klären, und zwar explizit. Dann wird deutlich, dass diese Schritte allein auf Basis einer wissenschaftlichen bzw. techno-wissenschaftlichen Metaphysik vollziehbar sind.
8. Indem Rorty (1967: 9) selbst einräumt: »The linguistic turn may [...] lead us back to rationalism and to idealism«, ist mit Van Fraassen (2002) evident, dass die deskriptive Metaphysik einen Rückfall in den Metaphysikstil des siebzehnten Jahrhunderts bedeutet. Darüber hinaus wird ersichtlich, dass eine differenziertere Analyse erforderlich ist: So gibt es eine Reihe von Ansätzen, die mit dem OLP-Zweig verwandt sind, aber im neo-aristotelischen Sinne strikt dem immanenten Realismus verpflichtet sind. Ansätze wie jener von Smithens BFO-TLO fallen zwar nicht unter die Analytische Philosophie, besitzen aber genauso

³⁸⁷⁶ Vgl. etwa Loux (1978, 2002) oder Van Inwagen (2001); vgl. hierzu ferner Kanzian/Wang (2008).

³⁸⁷⁷ Vgl. hierzu Textor (2008).

eine sprachphilosophische Basis. Auch der ILP-Zweig erweist sich als heterogen; für Rorty (1967: 9) selbst ist ausgemacht, »that the ideal language is not an empiricist language«. Das entspricht der Position Russells, der pro Metaphysik votiert, diese aber als reines *a priori* Unterfangen versteht. Es korrespondiert aber nicht mit der Position Quines, der jedoch genauso zur ILP-Tradition zu zählen ist. Denn Quine bezieht in beiden elementaren Punkten die genaue Kontraposition zu Russell: er lehnt Metaphysik ab und ist als strenger Empirist *a posteriori* orientiert. Unter den ILP-Zweig fallen also höchst widersprüchliche Ontologien, während sich ihre Synthese auf ILP-Basis selbst nicht vollziehen lässt. Sie ist nicht sprachlich, d.h. auf Ebene der Repräsentationssprache möglich, sondern allein metaphysisch, nämlich über den *Ratio-Empirismus* der Whiteheadschen *Klasse-4-Metaphysik*.

9. Rortys (1967: 3) Ansicht, man könne philosophische Probleme mit Mitteln der Sprache lösen, ist grundsätzlich verfehlt. Alle philosophischen Probleme sind im Sinne der *Ersten Philosophie* zuvorderst *metaphysische* Probleme, oder hängen unmittelbar bzw. mittelbar mit diesen zusammen. Metaphysische Probleme lassen sich indessen allein metaphysisch lösen. Die Überwindung des Cartesischen Dualismus oder der Subjekt-Objekt-Dichotomie stellen solche Probleme dar und sie sind im Leibniz-Whiteheadschen Sinne auch nur metaphysisch überwindbar, nicht mit den Mitteln der Sprache. Insofern ist auch Ontologie *metaphysische* Ontologie, nämlich *metaphysica generalis* und nicht über die Sprachanalyse bzw. Sprachkritik erschließbar.
10. Insgesamt betrachtet ist die Kritik Reschers (2001b: 23 ff.) an der Analytischen Philosophie berechtigt; dass sie sich in ihrer ursprünglichen Form nicht halten können,³⁸⁷⁸ ist bereits anhand ihrer aktuellen prozessontologischen Tendenzen erkennbar, auf die wir in Pkt. 5.7 zurückkommen. Was tritt an ihre Stelle? Kaum die Kontinentalphilosophie, die nach Rescher (2001b: 64) im Wettstreit der philosophischen Systeme der analytischen Philosophie in fundamentaler Hinsicht den Rang abgelaufen habe. Es sei denn, man fasst wie Philipse (2001) unter Kontinentalphilosophie auch die empiristische *Neue Ontologie* N. Hartmanns (1940), die er für den vielversprechendsten ontologischen Ansatz hält.³⁸⁷⁹ Jenseits der irreführenden Debatte um die Kontinentalphilosophie ist es allein diese,³⁸⁸⁰ die mit Whitehead, N. Hartmann und anderen in die richtige Richtung weist.

³⁸⁷⁸ Vgl. hierzu auch Bieri (2007).

³⁸⁷⁹ Vgl. Philipse (2001: 397).

³⁸⁸⁰ Der Term *Kontinentalphilosophie* ist aufgrund der großen Heterogenität der darunter gefassten Strömungen wenig aussagekräftig bis irreführend. Verschiedentlich wird das einigende Kriterium an der *nicht-empirischen* Ausrichtung der Ansätze festgemacht. Dann aber trifft diese Abgrenzung allein schon etwa mit Verweis auf G. Berkeley unter geographischem Gesichtspunkt nicht zu. Analoges gilt auch in Bezug auf moderne Ansätze. Auf Basis dieses Kriteriums lässt sich auch nicht die *Neue Ontologie*, also

5.6 Zum TLO-Rekurs auf Husserls und Heideggers Phänomenologie

»Wir stellen nun die Frage: ist die formale Logik danach als formale Ontologie anzusehen [...]?«

— Edmund Husserl (1929: 128)

Die *Phänomenologie* wird insbesondere seit dem Aufkommen der zweiten AI-Generation, mit Minsky oder B. Smith aber auch im KR-Bereich für die AI-Disziplin als derart elementar erachtet, dass Vernon/Furlong (2007) behaupten, dass die philosophischen AI-Grundlagen insgesamt mit der *phänomenologischen* Position gleichzusetzen seien. Indessen werden die weiteren Ausführungen zeigen, dass diese These nicht nur an sich unhaltbar ist. Vielmehr muss es nicht zuletzt mit Blick auf die Realisierung von Superintelligenz gelten, eine insgesamt kritische Sicht auf die Phänomenologie einzunehmen. Denn erste geht über menschliche Intelligenz gerade maßgeblich hinaus, während letzte den Kognitionsproblemen der in dieser Hinsicht ohnehin inferioren Agentenklasse verpflichtet ist. Damit aber verstellt sie den Zugang zu den eigentlichen Erfordernissen der in dieser Hinsicht superioren maschinellen Agentenklasse. Insofern kann sie in dieser Hinsicht für die AI-Problematik zwar erhellend sein; allerdings ist sie im Ganzen für die Informatik bzw. ihren AI-Kern völlig fehlleitend. Vorauszuschicken ist dabei der Umstand, dass eine solch kritische Sichtweise auf die phänomenologische Begründung der AI-Position bisher nicht zu finden ist. Das liegt wiederum daran, dass man die eigentliche Metaphysik der Informatik nicht versteht, indem sich die Problematik der Phänomenologie allein vor dem Hintergrund der Leibniz-Whitehead-Popperschen Trias richtig verstehen und sachgerecht beurteilen lässt. Mit dem großen Stellenwert der phänomenologischen Position in der AI-Disziplin ist eine kritische Reflexion gerade in diesem Fall als entscheidend zu werten, um die Weichen für eine qualifizierte Weiterentwicklung der Informatik richtig zu stellen. Wie im Folgenden deutlich wird, ist es tatsächlich grundsätzlich verfehlt, den Zuschnitt *maschineller* Agenten direkt an jenem *menschlicher* Agenten festmachen zu wollen, wenn nur für letzte psychische Bewusstseinsaspekte wie sensorische Wahrnehmungsdefekte in besonderer Form maßgeblich sind.³⁸⁸¹ Maschinelle Agenten besitzen demgegenüber eine Reihe von Vorteilen, die sie in Bezug auf Superintelligenz den superioren Status zuteilwerden lassen. Allerdings sind diese auf phänomenologischer Basis gar nicht sachgerecht zu erschließen.

Dabei wird auch deutlich werden, dass mit der Phänomenologie der subjektive wie lokale Standpunkt zu einseitig betont wird, wenngleich dieser wesentlich ist. Demgegenüber bleibt das entscheidende Moment *globaler Intelligenz* verwehrt, die elementare Bewandnis der *techno-wissenschaftlichen Perspektive* im CPS-Kontext verkannt sowie die zentrale Bedeutung *objektiven Wissens* genauso unberücksichtigt wie der Verschaltungsaspekt von

N. Hartmann et al., unter die Kontinentalphilosophie fassen. Denn für diese ist gerade das empiristische Moment im Sinne des *Ratio-Empirismus* ausschlaggebend.

³⁸⁸¹ Das AI-Verständnis ist dabei in Teilen *an sich* fehlgeleitet, vgl. exemplarisch Boden (1977: 5): »By ‘artificial intelligence’ I [...] mean the use of computer programs and programming techniques to cast light on the principles of intelligence in general and human thought in particular. In other words, I use the expression as a generic term to cover all machine research that is somehow relevant to human knowledge and psychology, irrespective of the declared motivation of the particular programmer concerned«.

MAS-Agenten. Insofern wird sich zeigen, dass die Phänomenologie für die Informatik insgesamt als irreführend zu werten ist und mit den cyber-physischen Erfordernissen der Disziplin als grundsätzlich inkompatibel erachtet werden muss. Hinzu kommt, dass das subjektivistische Moment, das für die Phänomenologie konstituierend ist, mit jenem des Whitehead-Popper-Konnexes an sich hinreichend abgedeckt ist. Die Phänomenologie lässt sich in Bezug auf die menschliche Agentenklasse zwar punktuell ergänzend heranziehen, mehr aber auch nicht. Insbesondere kann in ihr in keiner Weise die *Erste Philosophie* bzw. Metaphysik der Informatik bestehen. Vielmehr bildet sie in einer Reihe von Belangen das genaue Gegenteil davon, was wiederum nur dann nachvollziehbar wird, wenn sie vor dem Hintergrund der zweiten Kopernikanischen Wende Whiteheads (1929a) reflektiert wird. Anders gewendet muss die AI-Forschung die phänomenologische Position im Detail kennen, um eine Fehlkonzeption ihrer Programmatik zu verhindern. Das betrifft nicht zuletzt Husserls Rekurs auf Leibniz, der in dieser Tradition mit Whitehead besser zu verstehen ist.

Verschiedene TLO-Ansätze rekurrieren auf unterschiedliche Ansätze zur *Phänomenologie*; wesentlich sind indessen vor allem die Arbeiten Husserls einerseits und Heideggers andererseits. In zeitlicher Reihenfolge gehen wir zunächst auf Husserl, abschließend auf Heidegger ein. Husserls *formale Ontologie* wie auch seine damit zusammenhängende *Phänomenologie* sind in der philosophischen Grundsatzdebatte von elementarer Relevanz. Das geht darauf zurück, dass es sich dabei sowohl für die erste als auch für die zweite AI-Generation um Kernaspekte handelt. Mit Blick auf die erste AI-Generation geht es zum einen um die *formale Ontologie* für die AI-Ontologie als solche,³⁸⁸² zum anderen um die weiter unten aufgegriffene Auffassung, dass die Methode der Ontologie an sich *phänomenologisch* sei. Für die zweite AI-Generation ist mit H.L. Dreyfus (1982: 2) die Husserlsche Phänomenologie demgegenüber für den kognitiven Agentengedanken maßgeblich: »As the first thinker to put directedness of mental representations at the center of his philosophy, he is also beginning to emerge as the father of current research in cognitive psychology and artificial intelligence«. Vor diesem Hintergrund wird die Husserlsche Phänomenologie de facto auch als AI-Basisdisziplin erachtet.³⁸⁸³ Wir teilen diese Auffassung hingegen als solche nicht; vielmehr ist diese Tradition in Wirklichkeit nur sehr bedingt von Relevanz. AI-Basisdisziplin kann nur eine Metaphysik sein, die tatsächlich AI-universal ist und gleichzeitig die Cyber-Physik für die IoT-Sphäre eröffnet; beides ist die Phänomenologie aber nicht zu leisten imstande. Das ist allein der Leibniz-Whiteheadschen Tradition vorbehalten. Im Zentrum steht das Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt*, bei dem es sich bei höheren Agentenklassen um *kognitive* Agenten handelt, für die als solche dann die Husserlsche Phänomenologie *partiell* unter dem Aspekt der Kognition von Relevanz ist. Bereits epistemologisch und schließlich auch methodologisch sind jedoch andere Positionen wesentlicher, etwa Reschers prozessuale Epistemologie oder Poppers Kritischer Rationalismus,

³⁸⁸² Vgl. etwa Guarino/Giaretta (1995) sowie Poli/Simons (1996).

³⁸⁸³ Vgl. etwa H. Hall (1987) sowie Vernon/Furlong (2007).

wenn es in der KR-Tradition notwendigerweise auch um objektives Wissen gehen muss. Das aber ist alles ergänzend zu Whitehead, nicht zu Husserl zu erornern. Vielmehr verstellt Husserl gerade die Sicht auf eine sachgerechte Weiterentwicklung der AI-Disziplin, indem er den für sie notwendigen universalen Rahmen nicht aufspannen kann. Darauf ist diese Philosophie auch gar nicht angelegt. Insofern ist die gängige Auffassung, dass die Husserlsche Phänomenologie die AI-Basisdisziplin sei, gänzlich verfehlt. Mit Blick auf den IoX-Hyperspace gilt dies erst recht, indem sie in Bezug auf die fundamentalen Strukturen aller Welten bzw. Welttypen nicht die erforderliche universale Orientierung vorgeben kann. Analoges gilt mit Blick auf die Automatenklassen als solche.

Husserls Phänomenologie steht in der AI-Tradition vor allem deshalb im Zentrum des Interesses, als darin eine wesentliche Grundlage der Kognitionswissenschaften und damit der kognitiven AI-Aspekte gesehen wird.³⁸⁸⁴ Diese starten mit dem Moment der *Perzeption*, das nicht umsonst in den Metaphysiken von Leibniz und Whitehead zentrale Stellung besitzt. Wichtig erscheint der Hinweis, dass die *Phänomenologie* für die AI-Tradition bereits lange vor dem Aufkommen der *Top-level Ontologie* wesentlich ist; sie entfaltet also nicht erst mit B. Smithens BFO-TLO oder anderen TLO-Ansätzen ihre Bewandnis. Vielmehr wird ihre vermeintlich elementare AI-Bedeutung bereits durch H.L. Dreyfus (1972) aufgezeigt oder durch H. Hall (1987) zusammenfassend gewürdigt. So gilt auch Minskys (1974) KR-Framework als essentiell phänomenologisch; es wird gar behauptet, dass es speziell Husserlscher Prägung sei.³⁸⁸⁵ Offensichtlich ist wiederum die Position von Glymour/Ford/Hayes (2000), wonach *Künstliche Intelligenz (AI) Philosophie* ist, zu bestätigen. Das ist in sämtlichen fundamentalen Fragen nicht anders.

Neben Husserl ist die phänomenologische Tradition mit Arbeiten von Husserls Schülern von Relevanz; dabei geht es insbesondere um die Ontologie von R. Ingarden oder um jene A. Reinachs,³⁸⁸⁶ auf die vor allem die BFO-TLO B. Smithens rekurriert.³⁸⁸⁷ Legt man die Phänomenologie breiter aus, indem etwa die deskriptive Psychologie Brentanos mit einbezogen wird, lassen sich darüber hinaus auch Verbindungen zur Analytischen Philosophie feststellen.³⁸⁸⁸ Entsprechend überrascht es nicht, wenn sich neben der BFO-TLO auch Guarinos DOLCE-TLO – wenngleich in geringerem Maße – mit Husserlschen Ideen auseinandersetzt,³⁸⁸⁹ was der geteilten kognitionstheoretischen Perspektive auf die Ontologie geschuldet ist. Dass demgegenüber bei prozessontologischen Ansätzen wie der Sowa-TLO allenfalls am Rande auf Husserl rekurriert wird,³⁸⁹⁰ ist nachvollziehbar, indem Husserl selbst keine prozessontologischen Positionen bezieht. Dennoch ist Husserl aus der Ontolo-

³⁸⁸⁴ Vgl. H. Hall (1987).

³⁸⁸⁵ Vgl. H. Hall (1987: 732) sowie Dreyfus/Dreyfus (1988); allerdings rekurriert Minsky (1974) selbst nicht auf Husserl.

³⁸⁸⁶ Vgl. Ingarden (1964, 1965, 1974) sowie Reinach (1914).

³⁸⁸⁷ Vgl. B. Smith (1976, 1994, 1995d, 1995e, 1996b).

³⁸⁸⁸ Vgl. hierzu Thomasson (2002).

³⁸⁸⁹ Vgl. etwa Guarino (1992).

³⁸⁹⁰ Vgl. Sowa (2000: 62 f.).

giedebatte nicht wegzudenken. Das gilt nicht nur mit Blick auf die formale Ontologie, sondern mit Pkt. 3.1 auch insofern, als durch eine Reihe verwandter Philosophen wie Heidegger (1927) oder Bergmann (1992) die Ansicht vertreten wird, dass Ontologie *nur als Phänomenologie* möglich sei bzw. die Methode der Ontologie an sich *phänomenologisch* ist. Darin besteht allerdings eine gewagte These, die mit Verweis auf die unterschiedlichsten Zugänge zur Ontologie, nicht nur auf jenen des *Ratio-Empirismus*, nicht haltbar ist. Für eine integrierte Ontologieposition universaler Automaten kann sie höchstens eingeschränkt gelten, auch wenn sie eine Reihe interessanter Detailaspekte eröffnen mag. Denn im Ganzen des Leibnizschen Automatenuniversum ist *Ontologie* nicht als Phänomenologie, sondern als *metaphysica generalis* zu verstehen. Diese Fehlau ffassung ist insofern von großer Konsequenz, weil es gerade auf diesen Unterschied ankommt: Mit Verweis auf den zweiten Teil ist *Intelligenz* in der AI-Disziplin nicht allein als *lokale Intelligenz* des Agenten zu konzipieren, sondern genauso als *regionale Intelligenz* raumzeitlich interagierender Automaten, während die gerade für die Superintelligenz der dritten AI-Generation entscheidende dritte Stufe der Intelligenz in der *globalen Intelligenz* besteht. Wie im Folgenden deutlich wird, verlangt allerdings ein solches Intelligenzverständnis nicht nur nach der passenden Agenten- sondern damit verbunden ebenso nach der adäquaten Ontologiearchitektur. Dabei ist jene von CYPO FOX in keiner Weise phänomenologisch zu erschließen.

Wenn in der AI-Tradition bereits jenseits aller *Top-level Ontologie* auf die Phänomenologie und damit auf einer philosophischen Strömung aufgebaut wird, steht außer Frage, dass dies *sachgerecht* schließlich allein im Rahmen der TLO-Diskussion sowie der insgesamt Ontologiedebatte erfolgen kann. Das gilt nicht zuletzt insofern, als mit der Phänomenologie eine spezifische Metaphysik-Linie vertreten wird,³⁸⁹¹ während in der AI-Tradition auch zahlreiche andere, konfligierende Metaphysikvarianten favorisiert werden. Wenn die BFO-TLO maßgeblich auf der Phänomenologie aufbaut, andere TLO-Ansätze hingegen nicht, sind die Gründe für diese unterschiedlichen Positionen nachzuvollziehen. Maßstab einer solchen Analyse sollte dabei eine integrierte Ontologiekonzeption wie CYPO FOX sein. Tatsächlich gelangen die positiven wie negativen Aspekte der Husserlschen Ontologie dann am besten zum Vorschein, wenn man diese mit den Anforderungen aller vier CYPO-Welten und ihrem Wechselspiel konfrontiert. Denn darauf kommt es im CPST- bzw. IoX-Hyperspace an, und entsprechend hat sich jede Ontologiekonzeption der Informatik in ihrem universalen Anspruch an diesem Konnex oder seinem *U-PLM-Referenzszenario* zu bewähren. Dabei ist zu klären, inwiefern sie die W1-, W2-, W3- und W4-Ontologie im Sinne eines ontologischen Gesamtrahmens fundieren kann. Das gilt einschließlich der CYPO-Submodi, indem es auch bei Husserl um *mögliche Welten* geht, die jedoch mit der Einbettung des interaktiven Agenten in die Realität grundsätzlich anders konzipiert werden als im Zuge der sprachphilosophischen Analysen der Analytischen Philosophie.

³⁸⁹¹ Vgl. zum Verständnis der *Phänomenologie* als Metaphysik etwa Husserl (2014).

Zunächst sei festgestellt, dass die *formale Ontologie* bei Husserl ursprünglich nichts anderes ist als Leibnizens *Mathesis universalis*: »In der Tat können Leibnizens Andeutungen über seine Idee einer "mathesis universalis" in dem Sinn unserer formalen Ontologie verstanden werden«. ³⁸⁹² Nimmt man diesen Ursprung, wird deutlich, dass die formale Ontologie als *Mathesis universalis* entsprechend im Ganzen des Leibnizprogramms zu sehen ist. D.h. sie ist mit diesem Ursprung so zu konzipieren, wie sie im IMKO *OCF* verstanden wird, nämlich im strukturerhaltenden Sinne der im Zuge der Metaphysik identifizierten fundamentalen Strukturen der Realität. Indem diese Strukturen mit Whitehead im ratio-empirischen Vollzug freizulegen sind, ist mit Leibnizens metaphysischen Ursprung impliziert, dass die formale Ontologie selbst im objektiven Zusammenhang steht. Der Logikkalkül muss damit die ereigniszentrische Repräsentation von *Scientific Ontologies* im Popperschen Sinne zulassen. Das aber wird in der Phänomenologie Husserls konterkariert, indem die formale Ontologie schließlich bei Husserl (1929) grundsätzlich anders zu verstehen ist als die *Mathesis universalis* bei Leibniz, bei dem sie insgesamt einem *objektivistischen* Erkenntnisstreben verpflichtet ist. Demgegenüber ist sie nach ihrer Husserlschen Absorption in der Weise auszulegen, wie es das Husserlsche phänomenologische Gesamtprogramm zulässt. Nunmehr ist Husserls *formale Ontologie* zu verstehen als *Ontologie der Lebenswelt*, wie sie Husserl (1954) in seinem Spätwerk *Krisis* umreißt, und sie darin als Ontologie einer auf *Subjektivität* bezogenen Welt kennzeichnet. ³⁸⁹³ Diese Subjektivität steht damit im bewussten Gegensatz zur Objektivität, die das Ziel der Wissenschaften markiert. ³⁸⁹⁴ Bei Husserl (1973b) erfolgt Objektivierung durch *Intersubjektivität*; nicht durch methodologische Prinzipien. Indem die Phänomenologie wesentlich *subjektives Wissen* zum Gegenstand hat, verkörpert sie im Grunde das, was der Popperschen Welt 2 im Sinne des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* im wissenschaftlichen Modus entspricht – nicht weniger und nicht mehr. Sie selbst erreicht also keinesfalls die Poppersche Welt 3 als Welt des objektiven Wissens, womit sich erst der eigentliche metaphysische Kreis im Zeichen des Whiteheadschen Ratio-Empirismus schließt. Zweifelsohne sind die W2-Prozesse bei Popper entscheidend; noch entscheidender ist jedoch die Methodologie des Kritischen Rationalismus als solche sowie schließlich der Prozess einer *objektiven Einheit der Erkenntnis*, der den Whitehead-Popperschen *Kosmologiegedanken* konstituiert. All das fehlt bei Husserl; was bei Husserl zählt sind die Kognitionsmomente als solche und in wissenschaftlicher Hinsicht das, was die W2-Prozesse bei Popper ausmacht:

»Damit höhere, theoretische Erkenntnis überhaupt anfangen kann, müssen Gegenstände des jeweiligen Gebietes im Original angeschaut, z. B. Naturobjekte müssen vor aller Theorie erfahren sein. Erfahren ist ein anschauendes und als wirklich bewertendes Bewußtsein, das in sich selbst Bewußtsein ist von dem betreffenden Naturobjekt, und zwar von ihm als Original; als leibhaftig da seiend ist es bewußt.« ³⁸⁹⁵

³⁸⁹² Vgl. Husserl (1917c: 131).

³⁸⁹³ Vgl. hierzu Husserl (1954: 176 f.); vgl. hierzu im Einzelnen Pkt. 5.6.

³⁸⁹⁴ Vgl. Føllesdal (1995: 390).

³⁸⁹⁵ Husserl (1917a: 70).

Bei Husserl stehen im Sinne der deskriptiven Psychologie Brentanos kognitive Aspekte des unmittelbar wahrnehmenden Subjekts im Vordergrund, nicht Metaphysik als *Erste Philosophie* und auch nicht die auf das Automatenuniversum bezogene Kosmologie als *objektive Einheit der Erkenntnis*, wie es bei der Leibniz-Whitehead-Popperschen Trias geschlossen der Fall ist. Dabei geht es bei Husserl insbesondere um die Art und Weise, in der jedes Subjekt die Welt anders strukturiert bzw. konstituiert, nämlich auf Basis unterschiedlicher Erfahrungen, kultureller Prägung wie auch auf Basis der Adaption bzgl. anderer Subjekte in Form von Interaktion bzw. Kommunikation.³⁸⁹⁶ Insgesamt lässt sich ebenso wie bei der Analytischen Philosophie von einer spezifischen Art *deskriptiver Metaphysik* sprechen, da es sich um einen rein deskriptiven Ansatz handelt. Ihre Konzeption ist insofern lebensweltlich wie zwingend induktiv auf die *reale aktuelle Welt* bezogen, als sie im Zeichen von Sinneswahrnehmungen steht; Husserls *eidetische Ontologie der Welt* geht entsprechend von der Natur aus,³⁸⁹⁷ diese bildet den ontologischen Kern.³⁸⁹⁸ Insofern handelt es sich um eine "Erfahrungsentologie der Natur";³⁸⁹⁹ um eine »Ontologie als Welterkenntnis in infinitum des immerfort im Voraus und in ewiger Gleichförmigkeit in allen Empirien Geltenden«. ³⁹⁰⁰ Husserls Ontologieverständnis ist also rein auf die Erfahrungswelt bezogen; ihre invarianten Strukturen sind durch die Ontologie herauszuarbeiten.

Für Husserl (2008: 692), der in der Tradition Bolzanos steht,³⁹⁰¹ bezieht sich die *Ontologie* »auf die seiende Welt selbst, seiend als einstimmig erfahren für die betreffende Subjektivität«; das Ontologische bedeutet also für Husserl etwas Subjektives. Die *Wesenseinsichten*, auf die die *phänomenologische Reduktionsmethode* zielt, fundieren bei Husserl auf intentionalen Erlebnissen, die wiederum *auf Individuelles, Reales bezogene* Wahrnehmungen bzw. Vorstellungen und dergleichen mehr gründen.³⁹⁰² Die Fundierung erfolgt also in diesem *ontologischen Erfahrungssinn*.³⁹⁰³ Die für Husserls *formale Ontologie* maßgebliche *phänomenologische Reduktionsmethode* beschreibt Husserl (2012b) in direkter Abgrenzung zu Spinozas *Substanzmetaphysik* wie folgt:

»Aber die Methode ist noch nicht gesehen, die einer Ontologie allererst Sinn gibt: die Methode der aus exemplarischer Anschauung schöpfenden Induktion, die Methode der Variation und der Systematik im Bilden einzelner ontologischer Disziplinen und der Betrachtung ihrer Wesenszusammenhange durch Anschaulich-Machen und freies Variieren der Horizonte. Die Aufgabe einer universalen Ontologie und der Gründung in ihr beschlossener spezieller Ontologien und apriorischer Disziplinen, die sich auf unselbständige Wesensmomente der Spezialitäten wie Natur oder Geist beziehen (Geometrie, etc.), ist eine notwendige.«³⁹⁰⁴

Ungeachtet dessen steht indes auch Husserl in der Tradition der Substanzmetaphysik.³⁹⁰⁵

³⁸⁹⁶ Vgl. *ibid.*

³⁸⁹⁷ Vgl. Husserl (2012a: 323).

³⁸⁹⁸ Vgl. Husserl (2006: 357).

³⁸⁹⁹ Vgl. Husserl (2008: 273).

³⁹⁰⁰ *Ibid.*, S. 775.

³⁹⁰¹ Vgl. auch Mulligan (2004); vgl. hierzu ergänzend Simons (1992b).

³⁹⁰² Vgl. auch Stegmüller (1978: 70).

³⁹⁰³ Vgl. Husserl (2006: 357).

³⁹⁰⁴ Husserl (2012b: 239, Fn. 4).

³⁹⁰⁵ Bei der *formalen Ontologie* Husserls handelt es sich um eine *prozessuale Substanzontologie*, vgl. etwa Husserl (1909: 93; 2006: 1, 67; 2012a: 102; 2012b: 89, 250). Diese nimmt nicht zuletzt auf Leibnizens

5. Kritik des TLO-Theorieanwärter-Rekurses auf philosophische Ontologien

»[U]ns leitet [...] die Idee eines individuellen räumlich-zeitlichen Seins, und zwar die Idee, das Apriori. Jedes einzelne reale Sein ist entweder für sich seiendes Ding, Substanz, und bestimmt sich dann näher durch irgendwelche Gattungs- und Artbegriffe von Substanzen, zum Beispiel als Stein, als Mensch usw. Das Ding hat irgendwelche realen Eigenschaften und bestimmt sich durch solche Eigenschaftsbegriffe (seine Schwere, Durchsichtigkeit). Jedes Reale ist räumlich und zeitlich bestimmt; es treten also Räumlichkeit und Zeitlichkeit bestimmende Begriffe auf. Jedes Reale als solches steht im Zusammenhang des Wirkens oder Bewirkenseins; es treten also notwendig auch kausale Begriffe ein. Ferner, jedes Ding ist ruhend oder bewegt, es ist qualitativ verändert oder unverändert.«³⁹⁰⁶

Dabei ist der Bezug auf Aristoteles nicht nur ein impliziter, sondern es wird direkt an der aristotelischen Kategorienlehre und seiner Substanzmetaphysik angesetzt:

»Wenn wir überhaupt über Realitäten Aussagen machen sollen, müssen sich diese Aussagen in gewissen begrifflichen Typen bewegen; in allen Aussagen treten notwendig Substanzbegriffe, Akzidenzienbegriffe, Begriffe von räumlichen und zeitlichen Bestimmungen, Kausalbegriffe, Begriffe des Zustandes oder der Zustandsänderung auf usf. Damit ist also eine generelle und apriorische Struktur aller Realitatserkenntnis und Wissenschaft vorgezeichnet. Diese Begriffstypen sind es, die reale Kategorien heißen; und die 10 Kategorien des Aristoteles sind ein erster Versuch, sie herauszustellen, freilich ohne dass er sich auf den Boden des rein platonischen Apriori dabei gestellt hätte.«³⁹⁰⁷

Indem auch Ingardens Ansatz eine Substanzontologie verkörpert,³⁹⁰⁸ kann sie für die Phänomenologie insgesamt als konstituierendes Paradigma vorausgesetzt werden. Insofern ist B. Smithens BFO-TLO in ihrer kombinierten phänomenologischen und neo-aristotelischen Basis konsistent. Mit Husserls Subjektivismus stellt sich schließlich die Frage seiner Position zu *möglichen Welten*: Wie in den Grundlegungen unter Pkt. 3.1 dargelegt, impliziert Husserls formale Ontologie gerade nicht eine beliebige modale Logik, wie sie in der analytischen Metaphysik Anwendung findet. Fiktionsoperatoren in Bezug auf mögliche Welten gibt es bei ihm nicht; entsprechend sind mögliche Welten bei Husserl entschieden nicht im Sinne der *rein logischen Möglichkeit* zu sehen. Indessen vertritt Husserl über die Jahrzehnte gesehen im Detail wechselnde Positionen zu *möglichen Welten*; er steht ihnen mal mehr, mal weniger ablehnend gegenüber. So findet sich bei Husserl (1894) noch eine ablehnende Haltung:

»Die unklare Rede von verschiedenen Existenzgebieten, *universes of discourse*, von verschiedenen "Welten", die über Existenz und Nichtexistenz desselben Objektes verschieden disponieren, werden wir nicht billigen. Die "Welt" des Mythos, die Welt der Poesie, die Welt der Geometrie, die wirkliche Welt, das sind nicht gleichberechtigte "Welten". Es gibt nur Eine Wahrheit und Eine Welt, aber vielfache Vorstellungen, religiöse oder mythische Überzeugungen, Hypothesen, Fiktionen, und die ganze Unterscheidung läuft darauf hinaus, daß wir ofers, etwa aus Gründen praktischer Bequemlichkeit, so sprechen, als ob die Urteile, die wir fällen, unbedingte wären, daß wir die absoluten

Monaden als "transzendente Substanzen" Bezug, vgl. etwa Husserl (2006), speziell S. 176. Husserls *formale Ontologie* steht insgesamt in gewissen Teilen in der Tradition Leibnizens, etwa in Bezug auf den Gedanken einer *Mathesis universalis*, vgl. Husserl (2012b: 59), in *erkenntnistheoretischer Hinsicht*, vgl. Husserl (2012b: 233), oder in Bezug auf Leibnizens *neuen Substanzbegriff*, dem Husserl in klarer Abgrenzung und Kritik etwa zum Cartesischen Dualismus oder zu Berkeleys Monismus folgt, vgl. Husserl (2012b: 275, Fn. 1). Allerdings meint Husserl mit seinem phänomenologischen Ansatz methodisch deutlich auch über Leibniz hinauszugehen, vgl. Husserl (2012b: 314) sowie im Einzelnen hierzu Husserl (2012b: 435 ff.). Für Husserl ist »die Welt im Strom der Zeitmodalitaten [...] eine Welt identisch „verharrenden“ Seins, realer Substanzen, verharrend in den Veränderungen des Seienden«, vgl. Husserl (2006: 67).

³⁹⁰⁶ Husserl (2012b: 89).

³⁹⁰⁷ Ibid.

³⁹⁰⁸ Vgl. hierzu auch Wachter (2008).

5. Kritik des TLO-Theorieanwärter-Rekurses auf philosophische Ontologien

Existenzaussagen benutzen, während der richtige Ausdruck hypothetische Sätze mit diesen Existenzialaussagen als Nachsatzen verlangen würde.«³⁹⁰⁹

Später werden mögliche Welten durch Husserl gebilligt, jedoch gleichzeitig festgestellt, dass *mögliche Welten* immer nur *Abwandlungen der aktualen* bilden können:

»Es gibt unendlich viele mögliche Welten als anschauliche Abwandlungen der jeweilig uns geltenden. Aber diese ist notwendig – ins Unendliche für uns und jede erdenkliche Subjektivität – "Erscheinung", und die möglichen Welten (sind) erdachte Abwandlungen dieser Erscheinung. Letztlich aber zeigt sich, dass nur eine *einzig*e, die faktische Welt denkbar ist als Welt der Wahrheit – sowie nur ein Logos der Wahrheit [...].«³⁹¹⁰

Die aktuelle Welt macht Husserl (1939) an der *de facto Existenz* von Objekten fest, die sich über ihre raum-zeitliche Lokalität bestimmt: »Die Welt, *jede* mögliche Welt, ist das Universum der Realitäten, wobei wir zu diesen alle diejenigen Gegenstände rechnen, die in der Raum-Zeitlichkeit als Weltform durch raum-zeitliche Lokalität individualisiert sind«. ³⁹¹¹ Es gilt hier zwei Dinge zu beachten: (i) mit der raum-zeitlichen Lokalität ist hier nicht eine 4D-Position gemeint; vielmehr geht diese mit Husserls Substanzgedanken im Sinne einer akzidentiellen Bestimmung konform. Das gilt auch dann, wenn bei Husserl wie bei Boole eine *Kategorie konkreter Ereignisse* besteht. ³⁹¹² (ii) Daneben sind bei Husserl mögliche Welten insofern auf das "Universum der Realitäten" bezogen, als sie auf die aktuelle Welt referenzieren. Explizit nicht gemeint ist damit die Position von D.K. Lewis (1986b), wonach alle möglichen Welten *als solche* das "Universum der Realitäten" konstituieren. Vielmehr ist bei Husserl in dieser Sache eine deutliche Skepsis bzw. ablehnende Haltung gegenüber der *rein logischen Möglichkeit* gegeben, weil diese mit dem phänomenologischen Programm im Sinne unmittelbarer Wahrnehmung inkompatibel ist. Demgegenüber wird die *realfaktische Möglichkeit*, die unmittelbar auf die aktuelle Welt bezogen ist, durch Husserl im Sinne *möglicher Variationen der aktualen Welt* als wesentlich anerkannt. Mögliche Welten gehen in diesem Sinne bei Husserl einher mit einer *prinzipiell möglichen Erfahrbarkeit*. ³⁹¹³

Husserl (1917a) stellt die Phänomenologie strikt den objektiven Wissenschaften gegenüber. Für Husserl (1917a: 75) ist die "reine Phänomenologie" die "Wissenschaft vom reinen Bewußtsein". Naturwissenschaft wird dabei als Gegenpol zur Phänomenologie erachtet; für Husserl (1917a: 73) treten damit »zweierlei Wissenschaften in schärfsten Kontrast«, nämlich »die Wissenschaft vom Bewußtsein in sich selbst, die Phänomenologie« auf der einen, und »die Gesamtheit der "objektiven" Wissenschaften« auf der anderen Seite. Entsprechend bilden *Naturobjekte* für Husserl (1917b: 85) "bewutseinsjenseitige

³⁹⁰⁹ Husserl (1894: 159 f.).

³⁹¹⁰ Husserl (2014: 251).

³⁹¹¹ Vgl. Husserl (1939: 311), Hvh. im Orig.; dort gesperrt gedruckt.

³⁹¹² Vgl. Husserl (2012b: 322): »Im realen Zusammenhang ist jedes Ereignis kausal bestimmt, jede Veränderung steht unter festen Gesetzen«, sowie Husserl (2012b: 322, Fn. 1): »Wie in der bloß physischen Natur die Zusammenhänge unter Regeln stehen, wie jedes rein physische Ereignis mit Beziehung auf seine raum-zeitlichen Umstände nach festen Gesetzen auftritt, so ist ähnliches auch für die psychische und psychophysische Tatsachensphare zu erwarten und somit danach zu forschen«.

³⁹¹³ Vgl. hierzu Husserl (2006: 261).

Objekte" bzw. "bewutseinsfremde Gegenstände".³⁹¹⁴ Bei Husserl (1917b) wird die Phänomenologie konsequenterweise als Parallelwissenschaft zum System der objektiven Wissenschaften deklariert.³⁹¹⁵ Dabei erweisen sich Naturobjekte als »im Bewußtsein vorgestellte und als wirklich gesetzte Gegenstände«. ³⁹¹⁶ Husserl (2012b: 275, Fn. 1) folgt zwar Leibnizens *neuem Substanzbegriff*, und wendet sich damit unmittelbar gegen den Cartesischen Dualismus, allerdings kann sich Husserl letztlich doch nur bedingt von der Cartesischen Philosophie lösen. Der zentrale Unterschied zu Descartes besteht in der Substanzdefinition und damit verbunden in den Voraussetzungen des Leib-Seele Problems. Das Substanzverstandnis Husserls ist insofern diffizil, als es nicht ganz stimmig ist: Husserl bezieht sich bei diesem einerseits auf Leibniz, indem er meint, seine Substanz sei die Leibnizsche Monade;³⁹¹⁷ andererseits definiert er die Substanz in enger wie expliziter Anlehnung an Kant. Das Leibnizsche und Kantische Substanzverstandnis ist aber durchaus verschieden. In der Prozessualität entspricht das Husserlsche Substanzverstandnis tatsächlich jenem bei Leibniz;³⁹¹⁸ in der Materialität indessen jenem Kants. Dabei steht das personale Ich als Subjekt in einem raumzeitlichen Erlebnisstrom;³⁹¹⁹ dieser bilden zugleich den »Bewusstseinstrom, in dem sich alle Welt konstituiert«. ³⁹²⁰ Die Voraussetzung dessen ist jedoch immer materiell, nämlich in Form des "Leibkorpers" mit »entsprechend zugehörigem Leiblich-Psychischem«. ³⁹²¹ Der Husserlsche Substanzmonismus ist also kein formallogischer bzw. informatorischer wie bei Leibniz, sondern dieser entspricht insofern jenem Kants, als die Substanz rein materiell ist. Die Husserlsche Substanz ist also gerade nicht im platonistischen Sinne Form, sondern vielmehr im aristotelischen Sinne Materie. Wenn bei Husserl (2006: 439) von "organischen Individuen" die Rede ist, sind damit entsprechend nicht jene universal-strukturalistischen wie bei Whiteheads (1925) *zellulären Organismen* gemeint, sondern vielmehr animalische Organismen als "organische Substanzen", die wiederum im Zeichen ihres Körpers materiell sind. Die Husserlsche Substanz »bedeutet [...] nichts wei-

³⁹¹⁴ Vgl. Husserl (1917a: 73).

³⁹¹⁵ Vgl. Husserl (1917b: 97 ff.).

³⁹¹⁶ Vgl. Husserl (1917a: 73).

³⁹¹⁷ Vgl. Husserl (2006: 176): »Die Monaden sind transzendente Substanzen, bezogen auf ihre transzendente Zustandszeitlichkeit, auf ihr Leben«. Husserl (1973a: 7) stellt dabei fest, dass er Leibnizens *Monadentheorie* erneuert habe.

³⁹¹⁸ Tatsächlich greift Husserl (2006: 1) bereits auf Heraklit zurück: »Doch gehört auch dies in den Heraklitischen Fluss der Welthabe, dass diese in strömenden Erscheinungsweisen als die eine und selbe Welt erscheinende Welt in sich selbst strömend sei; Welt 'im Strom der Zeit' ihre invariante raumzeitliche Form erhaltend im unaufhörlichen Strömen der Zeitmodalitaten, als Welt der Realitäten (realer Substanzen) sich verändernd, aber in ihren Veränderungen sich in der Weise des Verharrens identisch erhaltend«. Allerdings kann dies nicht darüber hinwegtäuschen, dass die grundsätzliche Sicht Husserls die des in der Zeitlichkeit erfassten parmenideisch-aristotelischen Substanzparadigmas ist: »[D]ie Welt im Strom der Zeitmodalitaten ist eine Welt identisch 'verharrenden' Seins, realer Substanzen, verharrend in den Veränderungen des Seienden«, vgl. Husserl (2006: 67). Entsprechend gilt insgesamt: »Das mundan Seiende ist substanzuell seiend, d. i. verharrend in seinen Veränderungen«, vgl. Husserl (2006: 411).

³⁹¹⁹ Vgl. dazu etwa Husserl (1973a: 400, 28).

³⁹²⁰ Vgl. Husserl (1973a: 5).

³⁹²¹ Vgl. Husserl (1973a: 274 f.).

ter als materielles Ding als solches«. ³⁹²² Mit diesem Substanzzentrismus ist die Husserlsche Phänomenologie auch endurantistisch konzipiert; im Gegensatz zu Descartes wird das Zeitliche besonders betont, entsprechend handelt es sich um eine Ontologie, die dem 3D+T entspricht. Mit Raumzeit ist also bei Husserl kein Vierdimensionalismus impliziert, wie er später bei Heidegger adressiert wird.

Mit dem speziellen Substanzverstandnis unmittelbar verbunden ist Husserls Leib-Seele-Verständnis. Für Descartes ist die Seele geistige Substanz; das ist sie für Husserl nicht. Bei ihm gibt es nur eine Substanz, einen Substanzmonismus, und das ist die materielle Substanz. Dennoch gibt es bei ihm Seelisches bzw. Geistiges, womit deutlich wird, dass die Leib-Seele-Geist-Beziehung nicht nur eine gänzlich andere ist als bei Descartes, sondern dass sie sich in seinem Substanzmonismus allein in Gestalt einer spezifischen Schichten-theorie darstellen kann. ³⁹²³ Das Leib-Seele-Verständnis ist bei Husserl ein zusammenhängendes, indem das Leibliche die Unterschicht, das Seelische bzw. Geistige die unabtrennbare Oberschicht darstellt. ³⁹²⁴ Damit ist das Seelische bzw. Geistige bei Husserl im Unterschied zu Descartes völlig in der Sphäre des Naturalen, ³⁹²⁵ aber unterscheidet sich dennoch vom Materiellen: Indem es die Extension ausschließt, ist es immateriell, wenngleich auf dem Materiellen beruhend. ³⁹²⁶ Insofern besteht bei Husserl eine »konkrete Einheit von Leib und Seele«; ³⁹²⁷ diese begründet das menschliche Subjekt. Demgegenüber stellt sich die Seele-Geist-Differenzierung perspektivisch dar; die "psychologische Auffassung und Erfahrung" wird von der "geisteswissenschaftlichen (personalen) Auffassung bzw. Erfahrung" differenziert. Dabei gilt: »Das Ich als 'psychisch' aufgefates ist das seelische, das geisteswissenschaftlich aufgefate das personale Ich oder das geistige Individuum«. ³⁹²⁸ Dennoch verbleiben auch bei Husserl "zwei Pole": die »physische Natur und Geist und dazwischen Leib und Seele«. ³⁹²⁹ Für Husserl ist die Idee der Substanz das mathematische Ding, mit Dingbestimmung in logischer Form; physikalisch ist die Substanz immer an die Kausalität gebunden; allerdings sei bei der Seele von Kausalität gar nicht zu reden; ent-

³⁹²² Vgl. Husserl (1952: 44, Fn. 1).

³⁹²³ Vgl. dazu speziell Tatematsu (1983).

³⁹²⁴ Vgl. Husserl (1952: 29): »Die geistige Natur, als animalische Natur verstanden, ist ein Komplex, bestehend aus einer Unterschicht materieller Natur mit dem Wesensmerkmal der extensio und einer unabtrennbaren Oberschicht, die von grundverschiedenem Wesen ist und vor allem Extension ausschließt. Wenn also auch das umfassende Wesensmerkmal des materiellen Dinges die Materialität ist, läßt es sich gleichwohl verstehen, wenn die Extension als wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Materiellem und Seelischem oder Geistigem genommen wird«.

³⁹²⁵ Vgl. dazu Husserl (1925: 106): »[E]ines ist sicher: wenn die stets offene Möglichkeit des leiblichen Verfalles eintritt, wenn die Möglichkeit und die Gestalt eines einheitlichen Organismus übergeht in die Gestalt eines organisch uneinheitlichen Gemenges oder gar in bloß anorganische Materie, dann ist das psychische Leben vernichtet«.

³⁹²⁶ Bei Cyber-physischen Systemen (CPS) ist dieses Verhältnis kein anderes, wenngleich in der Informatik das Immaterielle im Sinne des Virtuellen auch unabhängig vom Materiellen zu sein vermag (womit es dann der Cartesischen Trennung entspricht).

³⁹²⁷ Vgl. Husserl (1952: 139), ohne Hvh. des Orig.

³⁹²⁸ Vgl. Husserl (1952: 143).

³⁹²⁹ Vgl. Husserl (1952: 284 f.).

sprechend gibt es für Husserl keine Seelensubstanz.³⁹³⁰ Substanz ist nur ein anderer Ausdruck für "realer Gegenstand" bzw. im aristotelischen Sinne "Träger realer Eigenschaften".³⁹³¹ Ungeachtet dieser teils subtilen Unterschiede zu Descartes sind die Gemeinsamkeiten jedoch genauso unverkennbar. Entscheidend ist, dass seine Phänomenologie unmittelbar an der Cartesianischen Zweifelsbetrachtung ansetzt;³⁹³² diese ist gar als konstituierend zu werten für Husserls "Wissenschaft vom reinen Bewußtsein". Zwar ist das Husserlsche Subjekt im Leibnizschen Sinne perzeptiv-erfahrend in der Welt; allerdings wird es im Unterschied zum Whiteheadschen *Subjekt-Superjekt* nicht als solches konzipiert: Denn im Zentrum der Husserlschen Phänomenologie steht das subjektive Bewusstsein, nicht die Erfahrungswelt wie bei Whitehead; diese ist bei Husserl vielmehr von nachgeordnetem Rang. Husserl wie Whitehead verbinden zwar Leibnizens Automatenuniversum mit dem Kantischen Agenten, doch steht nur Whitehead im kompletten Bruch mit Descartes tatsächlich in Leibnizscher Tradition, während Husserl ungeachtet der Unterschiede letztlich in entscheidender Weise der Cartesischen Gedankenwelt verhaftet bleibt.

Für die eigentlich Cartesische Grundpragung der Husserlschen lassen sich drei zentrale Argumente anführen: (i) Die strenge Differenzierung zwischen Naturwissenschaft und den Besonderheiten der Husserlschen (1917a: 72) Phänomenologie »als Wissenschaft vom Bewußtsein überhaupt und rein als solchem« weisen klar auf die Cartesischen Differenzierung zwischen *res extensa* und *res cogitans*, selbst wenn die Substanz bei Husserl einheitlich gedacht ist und den materiellen Dingen vorbehalten ist. Die Cartesischen Differenzierung zwischen *res extensa* und *res cogitans* bleibt also in Form der Differenzierung von Naturwissenschaft und Phänomenologie im Unterschied zu Whitehead als solche erhalten, nur ist der Substanzgedanke im Leibnizschen Sinne vereinheitlicht. Darin besteht zu Leibniz allerdings ein schwerwiegender Rückschritt. Anders gewendet ist die Philosophie Husserls multidisziplinär oder mit dem einheitlichen Substanzgedanken allenfalls interdisziplinär gehalten und keine Kosmologie; jene Whiteheads demgegenüber ist in Leibnizscher Tradition Kosmologie und als solche universal ausgerichtet. Entsprechend ist die Philosophie Whiteheads wie jene Leibnizens im Ganzen transdisziplinär gehalten. (ii) Indem die Husserlsche Phänomenologie unmittelbar an der Cartesianischen Zweifelsbetrachtung ansetzt, beginnt sie gedanklich bei Descartes' (1644a: I, 7) "ego cogito, ergo sum". Wenn Husserl im nächsten Schritt die Bedeutung der Bewutseinsanalysen für die erklärende Psychologie untersucht,³⁹³³ und die Notwendigkeit zur Abgrenzung der Phänomenologie von der Psychologie sieht,³⁹³⁴ ist evident, dass die ganze Phänomenologie dezidiert auf menschliche Subjekte und ihre besonderen Bewutseinsfragen zugeschnitten ist. Das gilt umso mehr, als Husserl (1925) selbst unmittelbar mit einer *phänomenologischen Psycho-*

³⁹³⁰ Vgl. Husserl (1952: 131 f.).

³⁹³¹ Vgl. Husserl (1952: 325 f.).

³⁹³² Vgl. Husserl (1917b: 100 ff.).

³⁹³³ Vgl. Husserl (1917b: 102 ff.).

³⁹³⁴ Vgl. Husserl (1917b: 104 ff.).

logie anschließt. Während Descartes die Metaphysik im Ganzen ausfüllt, ist das bei Husserl nicht der Fall, indem seine Phänomenologie auf die *res cogitans* fixiert bleibt. Entscheidend ist der Cartesische Begriff des *cogito*, der durch Husserl (1917b: 100) verstanden wird »als des durch Reflexion zu erfassenden "ich nehme wahr, ich stelle vor", "ich erinnere mich", "ich erwarte", "ich urteile, schließe", "ich fühle Freude oder Trauer", "ich begehre", "ich will" usw.«. Im Unterschied zu Descartes ist das Subjekt jedoch im Leibnizschen Sinne unmittelbar wahrnehmend bzw. perzeptiv und an die Stelle der Cartesischen *Mathesis universalis* als Mathematik bzw. Geometrie tritt die Leibnizsche *Mathesis universalis* als formale Logik.

(iii) Der Vergleich mit Whitehead ist für jede Husserlsche Kritik insofern entscheidend, weil beide auf genau den gleichen Vorläufern aufbauen, wengleich mit gänzlich anderer Akzentuierung: entscheidend für beide sind insbesondere Descartes, Leibniz und Kant. Während Husserls Ansatz in entscheidenden Teilen Cartesisch wie Kantisch ist, und Leibniz lediglich im Perzeptionsmoment wie in der *Mathesis universalis* gefolgt wird, ist bei Whitehead alles umgekehrt: er vollzieht gegenüber Kant die zweite Kopernikanische Wende, folgt konsequent Leibniz und vollzieht die komplette schöpferische Zerstoring der Cartesischen Substanzmetaphysik. Im Unterschied zu Husserl setzt Whitehead mit seinem Ratio-Empirismus unmittelbar an den Naturwissenschaften an und zeigt im Leibnizschen Sinne die völlige Fehlkonzeption des Cartesischen Materialismus mit seinem Leibnizschen formallogischen Antimaterialismus auf. Auf Basis der Physik findet sich bei Whitehead (1919, 1920, 1925) jener Ereigniszentrismus bzw. Vierdimensionalismus, der für die Kosmologie bestimmend ist und den tradierten Substanzgedanken vollstandig ersetzt. In diesem Sinne zeigt sich die Kosmologie prozessmetaphysisch veranlagt, womit auch das Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt* als solches prozessmetaphysisch konzipiert ist: die Epistemologie Whiteheads entspricht somit dem, was später bei Rescher (1996) gesondert als *prozessuale Epistemologie* herausgearbeitet wird; deren eigentliche Grundlagen sind jedoch die Whiteheadschen. Für Heideggers (1927) *Sein und Zeit* muss letztlich ähnliches gelten, indem der entscheidende Unterschied zur Phänomenologie Husserls neben der Ersetzung der psychologischen durch eine anthropologische Orientierung letztlich darin besteht, dass er das perzeptive Moment des prozessual eingebetteten Subjekts im Sinne des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* betont, wie Whitehead komplett mit der Cartesischen Metaphysik zu brechen sucht und mit der Betonung der herausragenden Bedeutung der Kybernetik gerade das betont, was auf Whiteheads Cyber-Physik zurückgeht. Dennoch bestehen grundlegendste Unterschiede zwischen Heideggers Phänomenologie und der Kosmologie Whiteheads als tatsächlich universaler Metaphysik. Darauf kommen wir weiter unten im Zuge der Kritik des Heideggerschen Werks zurück, dass dieser selbst als *Metaphysik* deklariert, wengleich sie einer *Ersten Philosophie* kaum gerecht wird.

Andererseits zeigen sich auch grundsätzliche Unterschiede zu allen in diesem fünften Teil behandelten Metaphysiken bzw. philosophischen Ontologien. Indem Husserl an der

Kognition und der unmittelbaren Erfahrbarkeit, nicht an der Sprache und sprachlichen Logik festmacht, stellen sich insbesondere auch grundsätzliche Unterschiede zu der im vorausgehenden Pkt. 5.5 behandelten analytische Ontologie resp. analytischen Metaphysik dar. Inwiefern dies als philosophische Referenzbasis für TLO-Theorieanwärter entscheidend ist, zeigt sich im grundlegenden Unterschied zwischen rein linguistischen Ontologien wie jener Grubers, die im Zeichen der modalmetaphysischen Möglichkeiten letzterer verhaftet ist und der BFO-TLO, die wesentlich im Zeichen Husserls und Schülern steht.³⁹³⁵ Demgegenüber gehört auch die DOLCE-TLO grundsätzlich in das Lager der Analytischen Philosophie, macht jedoch zumindest mit dem Moment kognitiver Verzerrung ebenfalls bei Husserl fest, während ihre möglichen Welten jene sind, die der analytischen Tradition und gerade nicht Husserl entsprechen. Im Unterschied dazu ist die BFO-TLO nicht nur in ihrer neo-aristotelischen Fixierung auf die aktuelle Welt nicht nur anti-analytisch, sondern sie legt die phänomenologische Tradition auch noch strikter aus als Husserl selbst. Denn in der BFO-TLO gibt es überhaupt keine möglichen Welten; vielmehr existiert in ihr im Sinne *strenger Wissenschaft* nur das, was erfahrbar – und letztlich im Zeichen ihres immanenten Realismus wissenschaftlich-empirisch belegbar ist. Die phänomenologische Orientierung der BFO-TLO ist also weder eine psychologische wie bei Husserl noch eine anthropologische wie bei Heidegger,³⁹³⁶ sondern vielmehr eine wissenschaftliche. Husserls Subjektivismus tritt dabei mit dem durch B. Smith bemuhnten kognitionswissenschaftlichen Prinzip der Veridikalität in den Hintergrund und ein neo-aristotelischer Objektivismus in den Vordergrund. Allerdings geht es auch hier nicht um methodologische raffiniertes objektives Wissen im Sinne Poppers. Damit werden Smith wie Husserl den Anforderungen der W1-Ontologie, wie sie Popper bzw. Bunge in Bezug auf *objektives Wissen* stellen, nicht gerecht. Insofern ist sie für W1-Zwecke defekt. Das gilt auch insofern, als außer Frage steht, dass es ein Irrtum ist, die Ontologie auf dem Substanzgedanken gründen zu lassen, wie es in beiden Fällen gegeben ist. Dennoch haben Husserl und Smith gemein, dass sich ihre Ontologie allein auf die W1A-Sphäre bezieht, d.h. auf wahrnehmbare Naturobjekte, nicht aber auf solche Artefakte, die diesem Kriterium nicht entsprechen. Indem bei Husserl im Gegensatz zu Smith das Moment der subjektivistischen Wahrnehmung herausgestrichen wird, bei letzterem mit dem immanenten Realismus jedoch das empirische Moment, handelt es sich bei BFO-Kategorien um aristotelische ontische Kategorien, während Husserlsche Kategorien epistemische Kategorien darstellen.

Wenn die Ontologie Informatik bzw. ihr AI-Kern wesentlich an der Phänomenologie Husserls festmacht, sei abzuschlieend zusammengefasst, warum dieser Rekurs unhaltbar ist. Dass in der Husserlschen Phänomenologie weder die *Metaphysik der Informatik* im

³⁹³⁵ Vgl. etwa B. Smith (1978, 1981, 1982, 1987a, 1989); vgl. hierzu auch bereits B. Smith (1976).

³⁹³⁶ Es wird hier nicht behauptet, dass die Phänomenologie Husserls psychologisch geprägt wäre und jene Heideggers anthropologisch. Das wäre auch falsch, indem sich Husserl streng von der Philosophie und Heidegger streng von der Anthropologie abgrenzen, vgl. dazu auch J.-C. Monod (2017). Wohl aber lässt sich sagen, dass Husserl relativ zur Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik eine deutliche psychologische Tendenz bzw. Nähe aufweist und Heidegger eine anthropologische Tendenz.

Allgemeinen noch die AI-Bezugsbasis im Besonderen bestehen kann, lässt sich mit folgenden fünf Punkten begründen:

1. Die Informatik benötigt eine Ontologie, die nicht nur auf die Erfahrung bezogen ist, sondern genauso den Zugang zu rein virtuellen Welten eröffnet. Husserls Phänomenologie kann insofern nicht das Fundament einer integrierten Ontologiekonzeption darstellen, als diese auf wahrnehmbare Entitäten fixiert ist. Insofern fehlt ihr insbesondere die Poppersche Welt 3.
2. Die Informatik bedarf heterogener Welttypen, insbesondere verschiedener Typen möglicher Welten. Sie bedarf einer techno-wissenschaftlichen Metaphysik, die den aktuellen Modus sachgerecht eröffnet und sie bedarf genauso einer Digitalmetaphysik als Modalmetaphysik, für die die Modalität "de dicto" wie "de re" zulässig ist. Während letzte im CPS-Sinne notwendig ist, stellt sich das Erfordernis von erster wiederum im Kontext rein virtueller Welten. Husserls mögliche Welten zielen jedoch immer nur auf *Abwandlungen der aktuellen*. Sie werden damit nicht den allgemeinen Anforderungen der Disziplin gerecht. Strenggenommen ist dann auch grundsätzlich Neues, wie es im Zuge von Basisinnovationen Ergebnis des rein Imaginativen ist, solange ontologisch nicht repräsentierbar, wie es noch nicht Gegenstand der aktuellen Welt ist. Insgesamt ist der Husserlsche Ansatz allein für die W2A- bzw. W2P-Submodi von Relevanz, während die analytische Metaphysik ihre Stärken im W2F-Modus entfaltet. Im Ganzen der in Pkt. 3.5 erörterten Welttypen läuft die phänomenologische Sicht auf die Ontologie entsprechend zu kurz.
3. Die Informatik benötigt mit Blick auf *Scientific Ontologies* bzw. den *Semantic E-Sciences* sowie interagierende CPS-Agenten (z.B. IoV-Szenario) objektives Wissen im Sinne Poppers. Demgegenüber will die Phänomenologie mit Husserl (2014) zwar Metaphysik sein, jedoch ist sie gerade keine revisionäre Metaphysik, als sie sich strikt zu den eigentlichen Erfahrungswissenschaften abgrenzt. Sie ist auf die *subjektivistische* Perspektive bzw. auf epistemische Kategorien fixiert, deren Bedeutung sich im Kontext einer deduktiven Methodologie insgesamt relativiert. Husserls Metaphysik ist zudem nicht universal, weder im kosmologischen Sinne noch in jenem einer *Mögliche-Welten-Metaphysik*. Vielmehr handelt es sich um eine spezifische Variante *deskriptiver Metaphysik*, die damit ebenfalls unter die Klasse-2-Metaphysiken fällt. Sie ist – analog zu Smithens BFO-TLO – als deskriptive Klasse-2A-Metaphysik einzustufen, indem sie sich im Unterschied zur allgemeinen Klasse-2-Metaphysik strikt auf die aktuelle Welt bezieht. Demgegenüber erreicht sie nicht den Stand einer Klasse-3-Metaphysik. Denn sie basiert weder im revisionären Sinne auf dem Ratio-Empirismus noch zielt sie als solche auf objektives Wissen im Popperschen Sinne. Mit dem Ratio-Empirismus fehlt die Einsicht, dass die empiristische Universalsynthese nicht in

einer 3D-Substanz, sondern in einem 4D-Ereigniszentrismus besteht. Für die Informatik ist die erste Position insgesamt im CPS-Kontext inakzeptabel. Im Grunde weist Husserl selbst insofern indirekt auf Poppers (1972a) *Objective Knowledge*, indem mit ihm deutlich wird, wie kognitiv verzerrt das einzelnes subjektives Wissen sich darstellen kann. Insofern überwindet sich die Phänomenologie selbst, indem kein Intersubjektivismus, sondern allein ein Objektivismus, d.h. ein deduktiver Ansatz und Fallibilismus dieses Problem im Sinne des *Kritischen Rationalismus* überwinden kann. Darin besteht auch der Grund, warum das Alltagswissen der Technopraxis in den *Science-Technology-Nexus* zu bringen ist; in einer integrierten Ontologiekonzeption kann nur *objektives Wissen* Vorrang haben, womit Poppers methodologische Position für die Wissensontologie elementar ist – ohne diese darauf einseitig zu fixieren. Damit ist die Phänomenologie methodologisch unhaltbar.

4. Die Informatik bzw. die Konzeption des AI-Kerns ist an den Eigenarten maschineller Agenten auszurichten. Davon handelt die Husserlsche Phänomenologie aber nicht; sie stellt lediglich die Konkretisierung einer ganz speziellen Leibnizschen Automatenklasse dar, nämlich jene menschlicher Agenten. Diese kann indessen nicht die für maschinelle Agenten erforderliche Orientierung bieten, sondern eignet sich allenfalls zum Vergleich von Agentenarchitekturen und ihrem Intelligenzvermögen. Demgegenüber bedeuten die durch Husserl thematisierten psychischen Bewusstseinsmomente menschlicher Agenten eine Fehlorientierung insofern, als das Problem kognitiver Verzerrung bei menschlichen Agenten in diesen psychischen Bewusstseinsmomenten bzw. in einer defekten Sensorik gründet, was sich beides bei maschinellen Agenten völlig anders darstellt. Das Problem auf den Punkt bringt Husserls (1952: 62 ff.) Beispiel des Zusammenhangs der Einnahme bzw. Wirkung von Santonin (Santoninsaureanhydrid) und farbigen Brillen, auf dessen Basis Husserl (1973b: 133, Fn. 2) Wahrnehmungsfunktionen und die Problematik von Sehstörungen erörtert. Husserl (1952: 73) legt dar, dass Santonin "wie eine gelbe Brille" wirkt, und sich bei dessen Einnahme für das Subjekt scheinbar die ganze Welt wandelt, indem sie ihre Farbe verändert.³⁹³⁷ In der Tat lässt sich konstatieren, dass diese Agentenklasse in dieser und ähnlichen Hinsichten in Bezug auf den Perzeptions-Kognitions-Konnex inferior ist. Insofern ist es auch vermessen, Minskys (1974) KR-Framework wie durch H.L. Dreyfus (1997: 161) nicht nur als essentiell phänomenologisch zu erachten, sondern explizit in eine Nähe zu Husserl zu bringen. Allerdings verkennt Dreyfus damit wiederum den Unterschied zwischen maschinellen und menschlichen Agenten. Denn Husserl hat nicht wie Minsky eine Datenstruktur im Sinn, die im Sinne von *Frames* situatives Wissen bereithält, sobald ein bestimmter

³⁹³⁷ Vgl. Husserl (1952: 62).

Situationstyp erkannt wird. Zwar ist die Aktivierung von Hintergrundwissen in beiden Fällen gegeben. Der Unterschied besteht dabei in den intentionalen Prozessen; diese sind bei Husserl im Gegensatz zu Minskys Frames bzw. Schemata indeterminiert. Auch sind die epistemischen Prozesse der Agenten insofern andere, als das Husserlsche Subjekt in physischen Ereignisströmen steht, während sich die Sensorik maschinelle Agenten sowohl als physische als auch als virtuelle Sensorik darstellen kann und sich im letzten Fall auch auf rein virtuelle Welten beziehen kann, die eine gänzlich andere Ontologie als jene der Phänomenologie implizieren. Die Parallelen der Agentenklassen gelten lediglich bedingt insofern, als alle Agenten im Sinne von Whiteheads *Subjekt-Superjekten* in Erfahrungs- bzw. Ereignisströmen stehen. In funktionalistischer Hinsicht kann letztlich im Sinne von Inferiorität und Superiorität nicht die menschliche Agentenklasse die Referenz für die maschinelle bilden, sondern es verhält sich im Allgemeinen genau umgekehrt. Es gilt also mit Minsky (1997: 25): »Computer Science [...] will help us understand brains. [...] It will help us learn what Knowledge is. It will teach us how we learn, think, and feel«.

5. Die elementaren Agentensachverhalte gestalten sich bei maschinellen Agenten tatsächlich völlig anders als bei menschlichen Agenten. Das beginnt damit, dass Agenten mit einer technisch absolut identischen Sensorik bzw. einer einheitlichen Messeinheit ausstattbar sind, woraus wiederum folgt, dass jenseits technischer Defekte die ihrerseits feststellbar wären, all diese maschinellen Agenten jenseits umweltbezogener Störeffekte in exakt einheitlicher Weise messen. Dabei messen sie alle im physikalisch-sensorischen wie digitalistischen Sinne in der Weise absolut exakt, dass bei Abweichungen unmittelbar auf andere Ursachen geschlossen werden kann, insbesondere auf solche der lokalen Agentenposition. Sie liegen also bei einheitlichen Voraussetzungen nicht bei den perzeptiv-kognitiven Verarbeitungsprozessen der maschinellen Agenten selbst, auch wenn diese überaus komplex sind, während sich solche Prozesse bei menschlichen Agenten schnell von heterogener Natur erweisen bzw. Abweichungen auftreten. Die Interpretation solcher Messungen und Auswertungen ist wesentlich durch das Hintergrundwissen bestimmt. Das sensorische SCEP-Paradigma zeigt, dass komplexe Musterkennungen bei maschinellen Agenten auf Basis standardisierter Ontologien erfolgen können, womit der Prozess der Mustererkennung im Ganzen standardisiert ist. Bei menschlichen Agenten ist eine solch einheitliche Interpretation schon allein deshalb unrealisierbar, weil das Hintergrundwissen nie dasselbe ist. Die Phänomenologie Husserls sorgt aber auch insofern für eine Fehlorientierung, als sie gerade nicht jene Scientific Ontologies im Popperschen Sinne eröffnet, die für solche exakten maschinellen Interpretationen erforderlich sind. Es geht dabei u.a. um jene Naturobjekte, auf die die Phänomenologie als

solche gar nicht fixiert ist. Vielmehr bedarf es dazu wiederum einer techno-wissenschaftlichen Metaphysik. Die Ausstattung aller maschinellen Agenten mit den identischen Ontologien bezieht sich dabei nicht zuletzt auf die fundamentale Weltsicht, die mit der *Top-level Ontologie* als oberster Referenzpunkt gesetzt wird. Selbst wenn das Domanewissen bei menschlichen Agenten relativ homogen wäre, weicht doch ihre fundamentale Weltsicht regelmäßig erheblich ab, was jede philosophische Grundlagendebatte, etwa jene zum Streit um die Metaphysik oder jene um den Realismus und Konstruktivismus offenbart. Darüber hinaus lassen sich bei maschinellen Agenten prinzipiell einheitliche Lernmechanismen verankern, die sich um die spezifische Eigenart ergänzen lassen, dass der gesamte Wissensspeicher im Sinne einer radikalen *Belief Revision* auf Knopfdruck gelöscht werden kann. Er kann genauso auf Knopfdruck für alle maschinellen Agenten universal aktualisiert werden. Ein muhnsames Erlernen entfällt in bestimmten Teilen genauso wie das regelmäßig schwierige Entlernen, was beides für menschliche Agenten charakteristisch ist. Zudem lassen sich die Gedankeninhalte menschlicher Agenten weder ad hoc transparent machen noch ihre Agentenwelten auslesen. Ihre Gehirne lassen sich auch nicht verschalten; die kognitiven Kapazitäten maschineller Agenten im Sinne von Multiagentensystemen und Schwarmintelligenz hingegen schon, und zwar in Echtzeit. Maschinelle Agenten sind im Gegensatz zu menschlichen Agenten auch nicht zwingend pfadabhangig in ihren Erlebnisstromen; sie besitzen keine Psyche, die historisch bestimmt ist und das Erlebte im Husserlschen Sinne nicht ohne weiteres vergessen kann. Bei maschinellen Agenten kann man demgegenüber alle bisherigen Erlebnisstrome, die auch nicht in vergleichbarer Weise psychisch verarbeitet werden, auf Knopfdruck vergessen machen. Sie lassen sich also in jeder Hinsicht ad hoc wieder auf "Null" setzen. – Was demgegenüber für maschinelle Agenten genauso gilt wie für menschliche sind die Besonderheiten der jeweilig *lokalen* Eingebundenheit. In genau dieser Hinsicht lassen sich tatsächlich phänomenologische Aufschlüsse für die AI-Disziplin gewinnen. Im Ganzen betrachtet sorgt die phänomenologische Disziplin aber für mehr Verwirrung als für eine tatsächlich sachgerechte Orientierung. Bspw. wird durch die Phänomenologie das Moment globaler Intelligenz sowie der zentrale Stellenwert des Wechselspiels von Induktion und Deduktion und damit die Möglichkeit objektiven Wissens und seiner Potentiale für die Superintelligenz der dritten AI-Generation vollständig verdeckt. Insofern ist speziell die Husserlsche Phänomenologie, die an den psychischen Bewusstseinsmomenten ansetzt, für die AI-Disziplin in grundlegender Weise irreführend. Das gilt insbesondere vor dem Hintergrund des IoX-Hyperspace, für den das Moment der Vernetzung entscheidend ist. Das Leibniz-Whitheadsche Automatenuniversum ist als CPST-Hyperspace jedoch genau in die-

sem relationalen Sinne gedacht, d.h., dass die Automaten bzw. Agenten im Sinne der *Theorie zellulärer Automaten* vernetzt sind. Husserl kommt aber nicht von Leibniz, sondern von Descartes, nämlich vom zweifelnden Individuum, über das alle Bewusstseinsmomente erschlossen werden. Werden demgegenüber Roboter streng autonom gedacht ohne jede Möglichkeit der Vernetzung, entfalten im Wesentlichen auch die hier genannten technischen Optionen der Vernetzung bzw. Verschaltung. Das erklärt auch den ursprünglichen Rückgriff der AI-Tradition auf die Phänomenologie, indem Roboter in der AI-Frühzeit autonom und nicht vernetzt konzipiert wurden. Die Potentiale der Informatik liegen jedoch in der Vernetzung, wie es für alle I40-Szenarien im Sinne der *Connected Industry* kennzeichnend ist. Und dann wird die Phänomenologie Husserls als "Wissenschaft vom reinen Bewußtsein" grob fehlerleitend. Dann zeigt sich, dass die *Metaphysik der Informatik* nur in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik bestehen kann, die auf das Systemische ausgelegt ist, auf Vernetzung, Interaktion und Komplexitätsentstehung.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Metaphysik Husserls bereits als solche gewiss eine Reihe von Schwächen aufweist, indem sie am materiellen Substanzgedanken festhält und ungeachtet ihrer Unterschiede noch stark auf die Cartesische Metaphysik fixiert ist. Im Grunde handelt es sich um eine korrigierte Cartesische Position, die um Leibnizsche und Kantische Aspekte weiterentwickelt ist: Mit Leibniz wird die Substanz wieder monistisch, prozessual und zeitlich; mit Kant wird die *res cogitans* der Natur einverleibt, womit der problematische Cartesische Metaphysikteil überwunden ist. Demgegenüber ist die Husserlsche Metaphysik keine Kosmologie; sie ist nicht auf das Automatenuniversum als solches bezogen, sondern akzentuiert speziell eine Automaten- bzw. Agentenklasse, was in universaler Hinsicht verfehlt ist. Sie ist keine Basis für die systemische Cyber-Physik. Vor allem aber schafft sie nicht die ratio-empirische Korrektur der Metaphysik, die Kant eigentlich gefordert hatte, indem die empirische Komponente nicht durch das erlebende Subjekt als solches erledigt ist, selbst wenn man mit dem Intersubjektivismus Husserls anzuschließen sucht. Vielmehr ist die Kantische Metaphysikkritik im Sinne Einsteins zu sehen: das empirische Moment muss auf den Erfahrungswissenschaften gründen und damit auf einer empiristischen Universalsynthese. Wenn mit Quine (1977) ontologische Fragestellungen allein auf Basis wissenschaftlicher Theorien bzw. der Wissenschaftssprache erörterbar sind, und umgekehrt Ontologie mit Leibniz immer *metaphysica generalis* ist, dann kann nur Whiteheads Ratio-Empirismus richtig sein. Im Ganzen sind die Defizite der Husserlschen Metaphysik auch nur im Vergleich zur Whiteheadschen herausarbeitbar, wobei speziell beim universalen *Subjekt-Superjekt* angesetzt werden kann, das seinerseits im relationalen Komplexitatsuniversum steht. Insgesamt wird deutlich, dass Husserl nicht nur mit der Metaphysik als solcher falsch ansetzt, nämlich regional statt universal, sondern auch in Sachen sachgerechter Metaphysik: diese kann gerade nicht jenseits der Wissen-

schaften stehen, sondern muss vielmehr das Eröffnen, was mit Whiteheads »interplay between science and metaphysics« gemeint ist. Diese Konzeption der Metaphysik als revisionäre Klasse-4-Metaphysik ist dabei gerade in ontologischer bzw. semantischer Hinsicht unabdingbar, indem sich für die Informatik anders in keiner Weise die erforderliche transdisziplinäre Perspektive eröffnen lässt. Dennoch ist das Husserlsche Werk als solches das geringste Problem. Das eigentliche Problem besteht vielmehr in H.L. Dreyfus, der die AI-Forschung im Zeichen der Kritik der ersten AI-Generation und seinem Votum für eine erneute zweite AI-Generation nicht in der angezeigten kritischen Interpretation eröffnet. Mit der fehlenden Reflexion ist es in der AI-Forschung zu grundsätzlichen Fehlentwicklungen gekommen, die es im Leibniz-Whiteheadschen Sinne der dritten AI-Generation grundsätzlich zu korrigieren gilt.

Indem H.L. Dreyfus (1972) anfänglich neben der Phänomenologie Husserls auch jene Heideggers bemuhrt gibt H.L. Dreyfus (2007) später der Metaphysik Heideggers den Vorzug. Dabei wird durch ihn und andere im Sinne der zweiten AI-Generation gar eine "Heideggerian AI" proklamiert.³⁹³⁸ Entsprechend ist abschließend auf diese jüngere phänomenologische Strömung einzugehen. Das umso mehr, als Heideggers Metaphysik auch von größerer Bedeutung im Rahmen der Debatten ist, die im Zuge des "*Philosophical Engineering*" von Berners-Lee im Umfeld des W3C vollzogen werden. Demgegenüber ist in der TLO-Diskussion allein die Phänomenologie Husserls mit B. Smithens BFO-TLO von Belang, während Heidegger hier indessen keine nennenswerte Rolle spielt. Denn Smithens BFO-TLO ist als neo-aristotelischer Ansatz genauso der Substanz und dem 3D+T verpflichtet wie Husserl selbst. Entsprechend erklärt sich auch, warum dieses Verhältnis in der zweiten AI-Generation diametral anders ist. Denn diese macht nicht am Substanzgedanken fest, sondern an der emergentistischen Evolution von AI-Welten, bei der mindestens implizit ein Vierdimensionalismus vorausgesetzt wird. Indem die phänomenologischen Grundprobleme indessen auch bei Heidegger bleiben, ist die Kritik von dessen ontologischer Position schnell abhandelbar. Das gilt auch insofern, als es letztlich nur vergleichsweise wenige Gründe sind, die für den Rekurs von Teilen der zweiten AI-Generation auf Heidegger ausschlaggebend sind. Dabei geht es insbesondere um folgende fünf Aspekte:

- (i.) Es wird eine Gegenposition zur Cartesischen Metaphysik bzw. zum Cartesischen Dualismus von *res extensa* und *res cogitans* bezogen; Ziel ist die bereits durch Husserl begonnene Reintegration des Humanum in die Natur. Demgegenüber wird in dieser Perspektive den GOFAI-Ansätzen der ersten AI-Generation vorgehalten, dass sie zwischen Natur und Intelligenz bzw. internen Modellen insofern strikt trennen, als der Agent hier nicht unmittelbar in die reale Welt eingebunden ist.

³⁹³⁸ Vgl. H.L. Dreyfus (2007) sowie Herrera/Sanz (2016); vgl. dazu ferner Lindblom (2015) sowie ergänzend Haugeland (2013).

- (ii.) Die kausale Einbettung des Subjekts vollzieht sich nicht mehr wie bei Husserl im Sinne der Substanz, als vielmehr in Form der situativ-kontextuellen Einbettung des interagierenden Subjekts in die Realität; das "*Being-in-the-World*" des Subjekts wird stärker als bei Husserl unterstrichen, indem es nicht nur als Substanz in Ereignisströmen steht, sondern als interagierendes Subjekt gemeinsam mit der Umwelt evolviert. Für das *cyber-physischen "Reality Computing"* ist diese Position insofern wesentlich, als sie mit der "*embodied-embedded*" Variante der Kognitionswissenschaft korrespondiert: Kognitive AI-Systeme sind *physisch* "in der Welt" bzw. kausaler "Teil" der Welt.³⁹³⁹
- (iii.) Entscheidend für die Realitätsauffassung ist nicht mehr die verharrende Substanz, sondern vielmehr die Koevolution des interagierenden Subjekts mit dem situativen Kontext. Es besteht also eine unmittelbare Interdependenz zwischen Subjekt und Umwelt.
- (iv.) Anders als bei der Substanzmetaphysik Husserls, die Substanzen im Sinne des 3D+T adressiert, steht die Phänomenologie Heideggers in einem Vierdimensionalismus. Mit diesem ist die Heideggersche Metaphysik eine prozessuale, die dabei auch das emergentistische Moment eröffnet.
- (v.) Heidegger bezieht eine kritische Position zur Philosophie; er sieht diese in die Wissenschaften übergehen und fasst die Kybernetik als Kulminationspunkt der wissenschaftlichen Entwicklung auf.³⁹⁴⁰

Alle genannten fünf Aspekte Heideggers erscheinen intuitiv richtig und als Grundlegung der AI-Disziplin im Zeichen der zweiten AI-Generation passend. Indessen wird dabei übersehen, dass es um die *Metaphysik der Informatik* im Ganzen gehen muss, die sämtliche fundamentale Fragen in einem konsistenten Ganzen abzudecken versteht. Legt man diesen Maßstab an wird deutlich, dass die Heidegger-Rezeption in unkritischer Weise erfolgt und ihre tatsächliche Eignung als Grundlegung des AI-Kerns der Informatik nicht näher untersucht wird. Wird eine solche Reflexion vollzogen, wird schnell deutlich, dass der Rekurs auf Heidegger als metaphysische AI-Basis nicht nur mehr Nachteile als Vorteile bringt, sondern dass seine Metaphysik gerade nicht die eigentliche *Metaphysik der Informatik* stellen kann. Auch das wird erst dann richtig begreifbar, wenn die Kritik vor dem Hintergrund der Whiteheadschen Metaphysik geführt wird. Das ist auch insofern berechtigt, als maßgebliche Einsichten, die Heidegger von Husserl unterscheiden, direkt auf das Whiteheadsche (1919, 1920, 1925) Werk zurückgeführt werden dürfen. Denn in diesem Verbund finden sie sich nirgends anders, sondern bilden genuin Whiteheadsche Überlegungen. Im Ganzen lassen sich die folgenden fünfzehn Argumente gegen die Heideggersche Metaphysikposition anführen, die gleichzeitig als Votum für die Leibniz-Whiteheadsche Kosmologie als eigentlicher *Metaphysik der Informatik* zu werten sind:

³⁹³⁹ Vgl. dazu auch H.L. Dreyfus (1991).

³⁹⁴⁰ Vgl. Heidegger (1966: 674; 1972: 58).

- (i.) Die *Phänomenologie* ist als solche kritisch zu hinterfragen, als der Fokus hier auf der unmittelbaren Wahrnehmung des Subjekts bzw. Agenten liegt, das kosmologische Ganze in der Einheit der Erkenntnis jedoch nicht im Wechselspiel mit den Erfahrungs- bzw. Strukturwissenschaften adressiert wird, wie es bei der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik der Fall ist. Mit anderen Worten bleibt das Grundproblem Husserls auch bei Heidegger erhalten, indem es der Idee der *Phänomenologie* als solcher geschuldet ist.
- (ii.) Heidegger zielt zwar nicht auf den Menschen, aber auf das *Dasein*, d.h. auf die Seinsweise des Menschen, insofern ist seine Metaphysik nicht explizit Anthropologie, besitzt aber dennoch eine Tendenz zu dieser.³⁹⁴¹ Als Metaphysik besitzt sie ein Primat vor der Anthropologie als Einzelwissenschaft. Whiteheads Metaphysik ist eine echte Metaphysik im aristotelischen Sinne insofern, als sie als Cyber-Physik tatsächlich *nach der Physik* kommt, indem sie den erfahrungs- und strukturwissenschaftlichen Zweig einer ratio-empirischen Synthese zuführt. Bei Heideggers Metaphysik könnte man dies jedoch kaum behaupten, indem sie nicht Kosmologie, sondern eine spezielle *Phänomenologie* ist. Müsste man die Heideggersche Metaphysik einordnen, wäre sie eher nach der Anthropologie einzuordnen, was als Indikator einer falschen Metaphysikkonzeption verstanden werden muss. Denn damit ist die Metaphysik nicht tatsächlich universal gehalten, sondern entwickelt diese im Kantischen Sinne ausgehend von einer speziellen Automaten- bzw. Agentenklasse.
- (iii.) Mit dem Zuschnitt auf eine spezielle Automaten- bzw. Agentenklasse besitzt die Metaphysik Heideggers letztlich wie die Husserlsche einen regionalen, keinen wirklich universalen Fokus. Die Problematik an diesem Zuschnitt wird erst mit der Relevanz der Metaphysik für die AI-Disziplin offensichtlich, als nunmehr jene artifizielle Automaten in Spiel kommen, die bereits im Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversum in konstituierender Weise wie dem antimaterialistischen Zuschnitt der Metaphysik oder dem metaphysischen Logizismus berücksichtigt sind, was demgegenüber in der Phänomenologie Husserls bzw. Heideggers nicht der Fall ist. Diese ist dezidiert auf den menschlichen Agenten zugeschnitten, und indem sie das ist, kann sie nicht mehr alle Automaten- bzw. Agentenklassen von einem universalen wie neutralen Standpunkt aus eröffnen. Was als Alternative bleibt ist die Möglichkeit, die fundamentalen Fragen der *maschinellen* Agentenklasse auf jene der *menschlichen* Agenten zu beziehen. Wie bereits bei Husserl gezeigt wurde, ist dieser Schritt jedoch alles andere als sinnvoll; er ist letztlich grob fehlleitend und kann den eigentlichen Potentialen der AI-Forschung gerade nicht gerecht

³⁹⁴¹ Vgl. dazu Fn. 3936.

werden. Es ist zu beruckichtigen, dass die Phänomenologie nie für die Zwecke der AI-Tradition bzw. Informatik entwickelt worden ist. Als solche wird sie jedoch durch ihre Verfechter wie H.L. Dreyfus ins Spiel gebracht bzw. dargestellt und darin besteht ein Fehlgriff, der schwerwiegende Entwicklungsprobleme der AI-Tradition zur Konsequenz hat. Im Sinne der komparativen Analyse der Agentenarchitekturen verschiedener Agentenklassen bei Sloman/Scheutz (2002) wird deutlich, wie die metaphysischen Fundierung auszugestalten ist: es muss eine hinreichende Abstufung perzeptiver vs. kognitiver Agentenklassen möglich sein, die nicht einseitig den Eigenarten bzw. der Psyche menschlicher Agenten verpflichtet ist. Diese hat ihrerseits auf einer Differenzierung der Automatenklassen im Sinne J. von Neumanns bzw. Leibnizens aufzusetzen und zwar zunächst in der Art, dass ihnen ein je spezifisches Intelligenzvermögen im Sinne der *Theorie der multiplen Intelligenzen* bei Thurstone (1938) bzw. H. Gardner (1983) zugeordnet wird. Das ist schon insofern erforderlich, als sich anders die Superintelligenz nicht sachgerecht definieren lässt, indem zu zeigen ist, inwiefern die Maschinenintelligenz tatsächlich über jene menschlicher Agenten hinausgeht. Denn dies ist in einigen Bereichen der Fall, in anderen nicht, in wieder anderen bedingt. Die Phänomenologie versperrt indessen diesen universalen Zugang zur komparativen Analyse, obschon er mit dem Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversum oder mit Whiteheads universalem Subjekt-Superjekt dezidiert angedacht ist. Auch insofern bildet die Phänomenologie für die Informatik bzw. ihren AI-Kern die falsche Basis; die Digitalmetaphysik hingegen die einzig richtige.

- (iv.) Das Problem, dass die Heideggersche Metaphysik nicht nach der Physik kommt, die Whiteheadsche Metaphysik hingegen schon, ist mit Blick auf die naturalistische Auslegung der Heideggerschen Metaphysik durch M. Wheeler (2012) von direkter Relevanz. In der Tat ist eine solche Auslegung unzulässig,³⁹⁴² indem die ganze Metaphysik bei Heidegger nicht in dieser Weise angelegt ist. H.L. Dreyfus (2007: 1145 f.) greift die Position Wheelers auch entsprechend scharf an und erklärt sie kurzerhand zur "Pseudo Heideggerian AI". Damit werden indessen gleichzeitig die Grenzen des Versuchs zur Universalisierung der Kognitionswissenschaften deutlich.³⁹⁴³ Wenngleich der Kritik bei H.L. Dreyfus (2007) zuzustimmen ist, übersieht dieser jedoch selbst das eigentliche Problem, das mit dem naturalistischen Auslegungsversuch M. Wheelers (2012) offen zu Tage tritt. Denn dieser Versucht erfolgt nicht ohne Grund, sondern vielmehr in der Bewandnis, dass die AI-Disziplin eine solche Metaphysik benötigt, aber in Form der Heideggerschen nicht be-

³⁹⁴² Vgl. Ratcliffe (2012), insbes. p. 152.

³⁹⁴³ Vgl. Ratcliffe (2012).

kommt. Natürlich benötigt das *cyber-physische "Reality Computing"*, auf das alle modernen AI-Ansätze im Kontext *Cyber-physischer Systeme* (CPS) bzw. im IoX-Hyperspace mit dem *Internet of Things* (IoT) hinauszulaufen haben, eine solche techno-wissenschaftliche Metaphysik, die sich indessen nicht bei Heidegger, sondern nur bei Whitehead findet. Insofern ist H.L. Dreyfus (2007) wie M. Wheeler (2012) vorzuhalten, dass sie nicht die kritische Auseinandersetzung mit der Whiteheadschen Metaphysik suchen bzw. nicht systematisch bei der eigentlichen AI-bezogenen Anforderungsspezifikation der Informatik beginnen. Die Funktion der Metaphysik als Cyber-Metaphysik bzw. Digitalmetaphysik für die Informatik ist ihnen offenbar genauso unklar wie der Umstand, dass sich diese bei Whitehead findet.

- (v.) Heidegger überwindet zwar die *Subjekt-Objekt-Dichotomie*, aber genau besehen nicht den durch ihn scharf kritisierten *Cartesischen Dualismus*. Denn dieser ist allein metaphysisch in der Weise zu überwinden, dass am Grundstoff der Information wie am metaphysischen Logizismus angesetzt wird. Der fehlende metaphysische Logizismus bei Heidegger lässt kein unmittelbares Wechselspiel zwischen symbolischer Repräsentation und Zuses *Computing Universe* zu; genauso wenig besteht ein Ansatzpunkt für die *Theorie zellulärer Automaten*, die für die Informatik nicht minder entscheidend ist, und die bei Whitehead in fundamentaler Hinsicht begründet wird. Zudem muss die Metaphysik die Struktur- und Erfahrungswissenschaften, allen voran die Informatik und Physik, direkt eröffnen können. Denn ansonsten ist die Cyber-Physik nicht begründbar, während sie gleichzeitig die Voraussetzung für die echte metaphysische Überwindung des Cartesischen Dualismus darstellt. Insofern ist die fehlende Cyber-Physik bei Heidegger wiederum symptomatisch für eine verfehlte Metaphysikauffassung. Denn sie kann den Zugang zu Cyber-physischen Systemen (CPS) nicht bewerkstelligen, womit sie weder praktisch konsequent anwendbar noch universal ist.
- (vi.) Wenn die Metaphysik auf die Analyse der fundamentalen Strukturen der Realität abzustellen hat, muss sie sich zunächst an der Realität als solcher bewähren. Die für AI-Zwecke relevante Realität ist jedoch nicht jene, um die es in der Phänomenologie geht. Vielmehr ist zu sehen, dass die Realität als solche mit Pkt. 4.6 richtig verstanden ist als *synthetische* und *erweiterte Realität* bzw. als *Mixed Reality*. D.h., die Realität als solche ist zu verstehen unter Gesichtspunkten wie jenen der programmierbaren bzw. intelligenten Materie, doch darum geht es bei Heidegger genauso wenig wie bei Husserl. Auch hier liegt das Problem weniger in den Philosophien als solchen, weil sie nicht darauf angelegt sind. Das ist zwar im Vergleich zur Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik ein schwerwiegender Defekt, jedoch besteht darin nicht das ei-

gentliche Problem. Dieses ist vielmehr darin gegeben, dass die Phänomenologie durch Dritte auf die fundamentalen Belange der Informatik projiziert wird, für die sie nie geschaffen wurde.

- (vii.) Bei Heidegger geht es zwar um Sein und Zeit, aber nicht um Raumzeit im Sinne von Einsteins Relativitätstheorie, mit der sich Whitehead (1922a, 1922b, 1922c) umfassend auseinandersetzt, nicht aber Heidegger. Für diesen gilt wiederum, dass er zwar die philosophische Zeitkontroverse nicht zuletzt im Kontext des Vierdimensionalismus bei Whitehead bzw. Russell absorbiert, nicht aber selbst zu den einzelwissenschaftlichen Aspekten, insbesondere jenen der Physik vordringt. Die mit Prigogine/Stengers (1984) oder Esfeld (2006b) zu fordernde Durchgängigkeit von Metaphysik und Physik findet sich bei Heidegger nicht. Das wird auch von dritter Seite bemängelt: »[S]pace and spatiality belong, as does the concept of world also, not so much to the domain of strict physical science nor even of a certain 'empiricist metaphysics', as to the domain of properly *philosophical*, and perhaps also *poetic*, critique and reflection«.³⁹⁴⁴
- (viii.) Demgegenüber wird an Heideggers Zeittheorie deutlich, dass die unmittelbare Subjektbezogenheit der Phänomenologie die falschen Fundamente für die AI-Disziplin impliziert. Denn seine subjektive Zeittheorie geht unmittelbar aus der anthropologischen Orientiertheit seiner Metaphysik hervor. Indessen erweist sich diese als universale Position mit der Cyber-Physik inkompatibel. Vielmehr ist ein objektives Zeitverständnis in techno-wissenschaftlicher Hinsicht erforderlich. Das subjektive Zeitverständnis ist zwar für die philosophische Auseinandersetzung mit menschlichen Agenten als wesentlich zu erachten, zeigt sich jedoch im AI-Zusammenhang von problematischer Konsequenz. Dies gilt insbesondere in Bezug auf die unmittelbare physikalische Interaktion von CPS-Agenten.
- (ix.) Bezeichnend für die Inferiorität der Heideggerschen Metaphysik ist der Umstand, dass sie entgegen der Whiteheadschen keine Cyber-Physik inkorporiert, Heidegger (1966, 1972) aber selbst die Ansicht vertritt, dass die Philosophie in die Kybernetik übergehe. Wenn die Philosophie also so gesehen am Ende ist, dann geht Heideggers Kapitulationserklarung unmittelbar auf falsche philosophische Positionen zurückzuführen. Denn der Whiteheadsche Ratio-Empirismus zeigt nicht nur, dass Metaphysik völlig anders praktikierbar ist, sondern vor allem, dass alle Disziplinen, allen voran die Informatik genau dieser Metaphysik bedürfen, indem sie weder selbst die Grundlagen der Cyber-Physik schaffen können noch das richtige Realitätsverständnis oder die erforderliche transdisziplinäre Position zur Wissensrepräsentation. Wie in

³⁹⁴⁴ Vgl. Malpas (2012: 333), Hvh. des Orig.

Bezug auf alle anderen AI-Aspekte, die sich vor allem in ontologischer, epistemologischer, methodologischer oder formallogischer Hinsicht stellen, ist insofern zu konstatieren, dass die *Metaphysik* als Erste Philosophie nie dringender benötigt wurde als heute. Das offenbart auch McCarthys (1995) Hilfeersuchen an die Philosophie. Diese ist dabei nicht nur mit den *Semantic E-Sciences* und den sensorischen IoT-Messpotentialen von direktem technowissenschaftlichen wie praktischen Belang; vielmehr treten mit der digitalen Revolution auch unzählige philosophische Probleme zutage, die mit zunehmender Intelligenz der Systeme ihrerseits zunehmen. Insofern Heidegger tatsächlich die Kybernetik Wieners Disziplin meint, liegt er ohnehin falsch. Denn diese kann als technologische gewiss nicht an die Stelle der Philosophie treten. Was an ihre Stelle treten kann ist eine neue Philosophie, nämlich eine tatsächlich sachgerechte Metaphysik, die Cyber-Physik ist. Darin ist die Kybernetik auch faktisch inkorporiert, und Wiener entwickelt sie auch im Zeichen der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysikrevolution. Dann aber ist das kybernetische Votum Heideggers richtigerweise als Votum für die Whiteheadsche Metaphysik zu sehen. Denn diese kann alle bisherige Philosophie, die ihrerseits für die neuen Realitäten ungeeignet sind, tatsächlich ersetzen. Sie ist auch als eine solche korrigierende Synthese angelegt. In der Tat besitzt diese eine unvergleichlich andere Perspektive als die in ihr inkorporierte Kybernetik; sie ist nämlich nicht allein im ratio-empirischen Sinne technowissenschaftlich, sondern sie ist kosmologisch. Nur dann machen Heideggers (1966, 1972) Aussagen Sinn.

- (x.) Heideggers Kapitulationserklarung der Philosophie ist treffender als Bankrotterklärung zu fassen. Denn die Wissenschaften haben weder die Intention auf das philosophische Gebiet vorzurücken noch die Absicht, diese sonst wie zu ersetzen. Richtig ist vielmehr etwas anderes: die Philosophie hat jenseits des Leibniz-Whitehead-Konnexes keine Antworten auf die komplexen technowissenschaftlichen Fragen, insbesondere nicht in der Hinsicht, dass sie die AI-Disziplin sachgerecht fundieren könnte. Dass dem so ist, zeigt der Umstand, dass McCarthys (1995) Hilfeersuchen an die Philosophie bis heute von dieser unbeantwortet ist. Die mangelnde Antwortmöglichkeit auf alle heute relevanten fundamentalen Fragen liegt wiederum darin begründet, dass alle anderen Strömungen nicht sachgerecht konzipiert sind. Ein philosophischer Ansatz ist nur dann dauerhaft verteidigbar, wenn die Erste Philosophie, also die Metaphysik in der Lage ist, die fundamentalen Strukturen der Realität bestimmen zu können. Diese ist als solche, etwa im Sinne der *Mixed Reality* zu hinterfragen. Entsprechend muss sie heute einerseits einen technowissenschaftlichen Zugang, und andererseits jenen zur Cyber-Physik vollziehen

können. Beides ist jedoch in der erforderlichen Weise im Sinne *komplexer Systeme* allein auf Basis des universalen Strukturalismus der *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads zu schaffen, während alle andere Philosophie daran scheitert. Mit anderen Worten scheitern alle anderen Philosophien an der Realitätsfrage. Dann aber lässt sich auf ihrer Basis keine einzige andere Frage sachgerecht behandeln, indem alles mit allem interdependent ist und alles letztlich auf die Realität weist. Die Bankrotterklärung der Philosophie, die Heidegger indirekt eingesteht, ist wie in allen anderen Fällen auch bei ihm selbstverschuldet, indem er die Frage der Metaphysik falsch stellt. Die Kunst der Metaphysik besteht darin, sei mit den richtigen Fragen bzw. Problem zu erfoffnen, und diese sind dann richtig gewählt, wenn sie in tatsächlich universalen Weise die Auseinandersetzung mit den fundamentalen Grundstrukturen aller Welten, insbesondere der Realität suchen, so dass ein transdisziplinärer Anschluss aller Disziplinen vollziehbar ist. In diesem Sinne ist evident, dass die zentrale Frage der Metaphysik jene der *metaphysica generalis*, also jene der Ontologie bzw. von McCarthys (1995) "*general world view*" ist. Womit aber erfoffnet Heidegger die Metaphysik? Mit der Frage: »Warum ist überhaupt Seiendes und nicht vielmehr Nichts?«.³⁹⁴⁵ Darin besteht jedoch die schlechteste aller ontologischen Grundsatzfragen, wenn es um die universale Eröffnung der Ontologie geht. In tiefgreifender Analyse gehört sie zudem eher in die *metaphysica specialis*. Denn die Ontologie beschäftigt sich mit dem Seienden *als solchem* und fragt: *was existiert?* Darin besteht nach allgemeiner Auffassung die Grundfrage der Ontologie, mithin der *metaphysica generalis*. Letztlich ist das Problem der Heideggerschen Metaphysik damit darin zu sehen, dass dieser von der falschen Tradition zur Metaphysik bzw. Ontologie vorrückt. Denn Heidegger erfoffnet die Metaphysik bzw. Ontologie gerade nicht über die Phänomenologie, sondern über den Nihilismus Nietzsches, worin keine adäquate Position für die Metaphysik besteht. Denn sie kann weder universal alle Disziplinen erfoffnen noch zu einer wirklichen *Einheit der Erkenntnis* gelangen, indem diese im kosmologischen Sinne gerade auf das objektive Wissen im Whitehead-Popperschen Sinne zielen muss. Die Tatsache, dass Heidegger selbst an der Cyber-Physik vorbeizieht, ist somit dem Umstand geschuldet, dass Heidegger nicht wie Whitehead in der metaphysischen Tradition Leibnizens steht, sondern in jener Nietzsches. Mit erstem hätte er das vermeintliche Ende der Philosophie erst gar nicht verkünden müssen. Denn mit dem Leibnizprogramm wird jene Disziplin erfoffnet, die in fundamentaler Hinsicht erst die neuen Realitäten schafft.

³⁹⁴⁵ Vgl. Heidegger (1929: 29), ohne Hvh. des Orig.

- (xi.) Echte Antworten auf fundamentale Fragen setzt die *Einheit der Erkenntnis*, und diese die Metaphysik als *Kosmologie* voraus. Diese ist im Sinne Bunes wie Whiteheads oder Poppers aber nur dann realisierbar, wenn das Wechselspiel von Metaphysik und Wissenschaften bzw. Technologien vollzogen wird und darüber hinaus die Einheit des Wissens und damit die Einheit aller Disziplinen gesucht wird. Denn nur dann ist eine Kosmologie im eigentlichen Sinne erreichbar. Mit dem Gesagten ist im Sinne Bunes, Whiteheads oder Poppers evident, dass ein Ratio-Empirismus zu vollziehen ist, der sich bei Heidegger nicht im Ansatz findet. Diese fehlende unmittelbare techno-wissenschaftliche Kopplung mit den Wissenschaften hat bei Heidegger seine Gründe; sie ist gerade von diesem beabsichtigt. Nach Sicht Heideggers ist die Metaphysik den Wissenschaften allein vorgeordnet: »Alles wissenschaftliche Denken ist nur eine abgeleitete und als solche dann verfestigte Form des philosophischen Denkens. Philosophie entsteht nie aus und nie durch Wissenschaft.«³⁹⁴⁶ Bei Bunge wie bei Whitehead, also bei den einzigen nennenswerten Systemen, die im Zeichen des *Ratio-Empirismus* überhaupt den Zugang zu den Wissenschaften suchen, verhält es sich jedoch genau umgekehrt. Die Metaphysik ist bei Bunge im Sinne einer allgemeinsten Theorie nachgeordnet; bei Whitehead ist sie das im Sinne einer empiristischen Universalsynthese auch; im Ganzen geht es jedoch um ein zirkuläres Wechselspiel von Wissenschaft und Metaphysik, womit der Kantischen Metaphysikkritik erst richtig Rechnung getragen wird. Selbst bei Aristoteles kommt die Metaphysik nach den Wissenschaften, nämlich nach der Physik, und alle großen, bestimmenden Metaphysiksysteme weisen diesen Verbund mit den Wissenschaften auf. Insofern wird das Cartesische System auch durch das Whiteheadsche abgelöst. Für Heidegger bilden demgegenüber Metaphysik und Philosophie überhaupt keine Wissenschaft.³⁹⁴⁷
- (xii.) Mit dem fehlenden Verbund zu den Wissenschaften erfährt nicht nur die Kantische Metaphysikkritik unmittelbare Relevanz für das Heideggersche System. Damit gilt der Vorwurf der Immunisierung, denn als Alternative zum Ratio-Empirismus bleibt bei Heidegger allein jener Rationalismus, der mit Kant (1781) bzw. Einstein (1934) grundsätzlich abzulehnen ist. Wenn für Heidegger gilt: »Philosophie kann nie am Maßstab der Idee der Wissenschaft gemessen werden«,³⁹⁴⁸ ist zunächst zu klären, was Philosophie überhaupt ist, also Doktrin oder im Sinne Wittgensteins: *Philosophie als Tätigkeit*. Dann aber kann sie natürlich keine reine Sprachkritik sein, sondern muss sich zuvorderst auf die Erste Philosophie, d.h. auf die Metaphysikkritik im Popper-

³⁹⁴⁶ Vgl. Heidegger (1953: 20).

³⁹⁴⁷ Vgl. Heidegger (1953: 33).

³⁹⁴⁸ Vgl. Heidegger (1929: 28).

schen Sinne erstrecken. Sachgerechte Metaphysikkritik ist jedoch entgegen Popper nicht allein ein rationales Unterfangen, sondern ein ratio-empirisches. So lassen sich letztlich alle metaphysischen Dispositionen techno-wissenschaftlich bestimmen bzw. im Zuge ihres Fortschritts korrigieren. Selbst der metaphysische Realismus lässt sich techno-wissenschaftlich im Sinne der synthetischen Realität bzw. des Fallibilismus begründen. Gleiches gilt für jeden Widerstreit, etwa jenen zwischen *Endurantismus* vs. *Perdurantismus*, der rein rational gar nicht zu entscheiden ist, sondern ganz konkret über die techno-wissenschaftlichen Belange und Einsichten. Wenn die Philosophie nicht an ihrem Maßstab gemessen werden kann, stellt sich die Frage: Woran dann? Heideggers Position entspricht gerade jenen Metaphysikern, die Kant kritisiert. Das Metaphysikverständnis Heideggers ist als solches grundsätzlich zu kritisieren, indem es nicht über eine Klasse-2-Metaphysik hinausgelangt. Metaphysische Aussagen lassen sich so allein rational begründen; rational begründen lässt sich in der Metaphysik jedoch alles, selbst ontologische Gottesbeweise. Es bedarf deshalb im Sinne Kants und Einsteins empirischer Momente, die in die Metaphysik eingebettet sind, wie es im Ratio-Empirismus der wissenschaftlichen bzw. techno-wissenschaftlichen Metaphysik der Fall ist. Das hier Gesagte gilt letztlich für die Heideggersche Metaphysik selbst: sie lässt sich als solche gar nicht widerlegen; vielmehr wird erst im kosmologischen bzw. techno-wissenschaftlichen Zusammenhang, insbesondere auch in Bezug auf ihre verfehlte Relevanz für die Informatik deutlich, dass sie den eigentlichen universalen Anforderungen der Metaphysik in keiner Weise gerecht wird. In der Tat wird bis heute jenseits von Ausnahmen wie Sloman (1978) oder Mainzer (1994b, 2003a) die unmittelbare philosophische Relevanz der Informatik für die Philosophie übersehen, obschon sie mit der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik direkt ersichtlich ist. Die Informatik ist techno-wissenschaftliche Schlüsseldisziplin, indem die Informations- und Wissenssysteme aller Disziplinen auf ihren Grundlagen aufbauen. Die Informatik kann auf keiner Metaphysik aufbauen, die nicht ratio-empirische Metaphysik ist. Denn sie benötigt eine wissenschaftskonforme Realitätsauffassung sowie kategoriale Wissensrepräsentation. Mit anderen Worten werden die eigentlichen Philosophieprobleme im Kontext der Digitalmetaphysik erst richtig an den immediaten Erfordernissen der Informatik deutlich.

- (xiii.) Weite Teile der Philosophie sind seit jeher durch den Substanzgedanken bestimmt; diese ist jedoch als solcher für die philosophische Grundlegung völlig verfehlt, indem er das Relationale, die Interaktion und schließlich die Komplexitätsentstehung genauso konterkariert wie den Zugang zum Zeitlichen, zum Prozessualen, zum Wandel. Dem Moment der Selbstidentität ist auch

anders, nämlich im Whiteheadschen Sinne beizukommen, und das in der richtigen, für alle Disziplinen adäquaten Weise. Insofern stellt die Heideggerische Metaphysik im Unterschied zur Husserlschen einen modernen Ansatz dar, der wie der Whiteheadsche auch Situationen und Kontexte mit berücksichtigt, die gerade auch für den AI-Zusammenhang entscheidend sind. Allerdings benötigt die AI-Disziplin diese wiederum im Whiteheadschen Sinne in universaler, strukturalistischer Gestalt. Demgegenüber sind die Heideggerischen Kontexte spezielle Kontexte sprachlicher Art. Denn Dasein impliziert für Heidegger immer eine Sprachsituation; für AI-Systeme ist diese Sichtweise nur auf den ersten Blick geeignet; im Ganzen der cyber-physischen Interaktionen von CPS-Agenten kommt es primär auf andere Aspekte an, und die Heideggerische Metaphysik gestaltet sich wiederum zu spezifisch. Denn Kontexte sind primär im informatorischen Sinne nach dem Prinzip *kausaler Wirksamkeit* zu begreifen, wobei es gilt, diese im Leibnizschen Sinne universal für alle Klassen von Agenten bzw. Automaten zu erschließen. Es muss demnach um einen *cyber-physisches* Kontextverständnis gehen, das sich wiederum nicht bei Heidegger, aber bei Whitehead findet. Natürlich stellt sich im MAS-Zusammenhang oder bei H2M- bzw. M2H-Interaktionen auch die kontextuelle Sprachsituation, allerdings ist diese nicht einfach gegeben, sondern im Zeichen des CPST- bzw. IoX-Hyperspace und seiner ontologischen Interdependenz zu sehen. Damit geht es weniger um die Sprache als solche, sondern um die Semantik und damit um die Ontologiearchitektur im Ganzen.

- (xiv.) Mit diesem Bezug von Semantik und Ontologie, der immer den *Scientific Ontologies* primäre Stellung einzuräumen hat, wird in konkretem Bezug auf die AI-Disziplin deutlich, dass die Heideggerische Metaphysik gar nicht die Fundamente hergibt, um die Synthese zwischen erster und zweiter AI-Generation tatsächlich vollziehen zu können. Sie eignet sich also weder für Zwecke der Wissensontologie noch für solche der metaphysischen Ontologie, was wiederum nicht zuletzt dem fehlenden Ratio-Empirismus und der Cyber-Physik geschuldet ist. Mit P.M. Simons, der selbst den großen Sprung von der Phänomenologie zur Metaphysik Whiteheads bereits vollzogen hat, gilt auch hier: »metaphysics constrains semantics«, und die für AI-Zwecke insgesamt erforderliche Semantik kann die Heideggerische Metaphysik nicht liefern.
- (xv.) Wie oben festgestellt, ist H.L. Dreyfus (2007) vorzuhalten, dass er nicht die kritische Auseinandersetzung mit der Whiteheadschen Metaphysik sucht. Darüber hinaus lässt sich in Bezug auf Dreyfus feststellen, dass er Whitehead nicht verstanden haben kann, wenn er diesen in der Tradition des Cartesischen Rationalismus verortet.³⁹⁴⁹ Nichts liegt ferner als das, indem Whitehead

³⁹⁴⁹ Vgl. Dreyfus/Dreyfus (1988: 16 f.).

Descartes gerade vehement bekämpft und praktisch ablöst. Auch betreibt Whitehead keinen Rationalismus, der letztlich vielmehr Heideggers Metaphysikposition zuzuschreiben ist, also gerade dem, was H.L. Dreyfus (2007) befürwortet. Demgegenüber ist für Whitehead allein der Ratio-Empirismus bestimmend, wobei es keinen Metaphysiker gibt, der mehr als Whitehead den Zuschnitt seiner Metaphysik systematisch über alle empirischen Wissenschaften bestimmt. Tatsächlich hat H.L. Dreyfus die Auseinandersetzung mit Whitehead nie gesucht. Seine grobe Fehleinschätzung basiert darauf, dass er seine GOFAI-Kritik an Newell/Simon einfach automatisch auf Whitehead projiziert, und zwar lediglich deshalb, indem sich diese auf die *Principia Mathematica* Whitehead/Russells (1910-13) beziehen.³⁹⁵⁰ Dabei steht schon diese explizit allein in der Tradition Leibnizens, und damit der fundamentalen Kritik an Descartes. Indem die Arbeiten von H.L. Dreyfus (1965, 1972, 2007) und seine Kritik verschiedener Ansätze als wesentlich für die Bestimmung der fundamentalen Fragen der AI-Disziplin zu werten sind, liegt abschließend eine Grundsatzkritik von H.L. Dreyfus selbst auf der Hand: ihm ist vorzuhalten nicht erkannt zu haben, dass die AI-Disziplin im Sinne McCarthys (1963a: 66) zum Kern der gesamten Informatik avanciert, womit die philosophische Fundierung für die gesamte Disziplin zu vollziehen ist. Dann jedoch hätte H.L. Dreyfus den Ursprung der Informatik bei Leibniz reflektieren müssen mitsamt des direkten Bezugs Husserls auf diesen. Ferner hätte H.L. Dreyfus die unmittelbare Whitehead-Relevanz im Sinne des aktualisierten Leibnizprogramms erkennen müssen. Vor diesem Hintergrund hätte H.L. Dreyfus die herausragende Bewandnis der Cyber-Physik sowie des Komplexitätsparadigmas für die Informatik und die AI-Disziplin im Speziellen erkennen müssen, insbesondere mit Blick auf die Funktion von Agenten, die diese im Sinne von Hollands (1962) adaptiven Systemen besitzen. Mit anderen Worten sind in philosophischer Hinsicht grobe Fehleinschätzungen zu konstatieren, auch wenn die GOFAI-Kritik als solche gerechtfertigt gewesen ist. Auf Seiten der Informatik sind ähnliche Fehleinschätzungen zu konstatieren, indem bereits auf den Grundlagen etwa von Wieners (1948) *Cybernetics* auf den ersten Blick erkennbar ist, dass es bei Cyber-physischen Systemen (CPS) um wesentlich andere Belange geht als um jene, die im Fokus der Phänomenologie stehen. Genauso steht außer Frage, dass die sachgerechte Konzeption maschineller Agenten nicht an den inferioren Eigenarten menschlicher Agenten festmachen kann. Zudem ist festzustellen, dass alles, was H.L. Dreyfus (2007) zu Recht in Kritik der GOFAI-Grundlegung an der Cartesischen Metaphysik kritisiert, sich genau bei Whitehead findet. Denn

³⁹⁵⁰ Vgl. Newell/Simon (1956).

hier geht es nicht nur um die Fundamentalkritik von Descartes, sondern es ist die Whiteheadsche Metaphysik, die die Cartesische als universales technowissenschaftliches Metaphysikparadigma ablöst. Insofern findet sich die gesamte, für Dreyfus wesentliche Weltauffassung im Original bei Whitehead (1920, 1929a), etwa in Bezug auf Perzeption, Kognition, Situation, Kontext, die Eingebettetheit von Agenten, Selbstorganisation, Komplexität und Emergenz usf. Schließlich hätte H.L. Dreyfus bereits auf Grundlage des perzeptiv-sensorischen, 4D-ereigniszentrischen Subjekt-Superjekts als universalem Automaten bzw. Agenten erkennen können, dass nicht die formale Repräsentation das Problem ist, sondern allein der nach Cartesischer Maßgabe entwickelte Situationskalkül. Auf der Grundlage der Whiteheadschen Metaphysik wäre direkt erkennbar gewesen, dass die Lösung im Ereigniskalkül besteht. Moderne AI-Systeme sind heute im CEP-Sinne in der Whiteheadschen Weise konzipiert. Schließlich wäre mit Leibniz bzw. Whitehead erkennbar gewesen, dass die ontologische Basis nicht im Common Sense bestehen kann, sondern dass der zentrale Zuschnitt der Semantik über eine AI-Kernsemantik zu erfolgen hat, die mit der ratio-empirischen Metaphysik im Sinne des IMKO *OCF* korrespondiert.

Abschließend lässt sich die Kritik zu Heidegger in der Weise zusammenfassen, dass auch seine Modifizierungen die Phänomenologie als solche nicht retten können. Ihr Grundproblem bleibt darin bestehen, dass sie in keiner Weise an das Leibnizprogramm heranreicht, sondern allein einen Detailaspekt von diesem ausleuchtet, nämlich die speziellen Eigenarten der menschlichen Agentenklasse. Aus heutiger Sicht würde man dieses Unterfangen mit Verweis auf anders angehen, nämlich mit Verweis auf Minsky (1997: 25) in einer komparativen Analyse der Agentenklassen bzw. Agentenarchitekturen im Sinne von Sloman/Scheutz (2002). Ihre universale Eröffnung ist allein auf Leibniz-Whiteheadscher Basis möglich. Speziell zu Heidegger ist festzustellen, dass hinsichtlich jedes der fünfzehn o.g. Kritikpunkte das Whiteheadsche Original die bessere Alternative darstellt. Im Ganzen reicht Heideggers Metaphysik natürlich nicht an die Whiteheadsche Digitalmetaphysik heran, in der mit Pkt. 4.2 nicht weniger besteht als die Synthese der ganzen Philosophie samt ihrer ratio-empirischen wie digitalistischen Neukonzeption. Anders gewendet bleibt festzuhalten, dass die Heideggersche Metaphysik nie als Digitalmetaphysik gedacht war; die Whiteheadsche im Sinne der artifiziiellen Automaten bei Leibniz bzw. der logischen Maschinen bei Peirce hingegen schon. Whitehead setzt damit das entgegen, was man dem Ende der Philosophie, wie es Heidegger (1972) als ihrer Vollendung mutmat, überhaupt entgegensetzen kann. Heidegger erwartet ihre Auflösung zu Unrecht, denn es ist verfehlt anzunehmen, dass sie sich mit der Emanzipation der Einzelwissenschaften erledigt hätte. Vielmehr zeigt gerade die Informatik als Cyber-Physik, dass allein die Philosophie das leisten kann, was keine Einzeldisziplin zu leisten imstande ist, nämlich die Cyber-Phy-

sik als solche zu denken, die Realität als solche in ihren fundamentalen Grundstrukturen zu erkennen, und im Zeichen des Ratio-Empirismus universale Kategorien für eine universale Realitätsauffassung wie für eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation zu begründen. Auf dieser Basis geht es dann um die Einheit der Erkenntnis und um Kosmologie, die erneut diese Disziplin und keine andere fordert. Heidegger (1972) geht also fehl in der Annahme, dass das Verhältnis der Metaphysik zu den Wissenschaften durch Auflösung bestimmt ist und dass dies das Ende wie die Vollendung der Philosophie bedeute. Als richtig erweist sich vielmehr das genaue Gegenteil davon, nämlich das zirkulär zu verstehende Whiteheadsche »interplay between science and metaphysics«.

Nicht nur für die Philosophie bzw. die Metaphysik sind damit wesentliche Einsichten gewonnen, sondern ebenso für die Informatik. Denn die hier vorgenommene Kritik der Phänomenologie zeigt das Erfordernis zum rigorosen Umdenken in der AI-Disziplin auf, das schließlich auf den bisher bestehenden Irrtümern impliziert, dass die erste und zweite AI-Generation in der Synthese einer dritten AI-Generation aufzugehen haben. Die Metaphysiken der ersten AI-Generation ist genauso in elementarer Weise falsch wie jene der zweiten AI-Generation. Bei allen bisher bemuhnten Metaphysiken handelt es sich gerade nicht um die *Metaphysik der Informatik*. Insofern wird auch deutlich, dass die ganze Informatik neu zu begründen ist, nämlich auf Basis ihres Ursprungsparadigmas. All das, was bisher phänomenologisch bzw. kognitionswissenschaftlich in der zweiten AI-Generation grundgelegt ist, bleibt einer Reinterpretation auf Basis des Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversums zu unterziehen, von dem aus die einzelnen Automaten- bzw. Agentenklassen universal zu eröffnen sind. Die ganze Informatik ist systematisch auf die Whiteheadsche Cyber-Physik zu stellen. Die meisten Informatiker vermuten, dass die eingangs dargelegte Position von Vernon/Furlong (2007), wonach die philosophischen AI-Grundlagen insgesamt mit der *phänomenologischen* Position gleichzusetzen seien, mehr oder weniger zutreffend ist. Indessen wurde diese These hier grundsätzlich widerlegt. Damit unmittelbar zusammenhängend vermuten die meisten Ontologen analog, dass die Position Heideggers (1927) bzw. Bergmanns (1992), wonach Ontologie *nur als Phänomenologie* möglich sei bzw. die Methode der Ontologie an sich *phänomenologisch* ist, richtig ist. Allerdings ist auch diese These zurückzuweisen. Auch hier findet sich die richtige Position bei Leibniz: Ontologie ist *metaphysica generalis*, und als solche besteht sie mit dem Leibniz-Whitehead-Popper-Konnex im objektiven Wissen, womit über die Phänomenologie in elementarer Weise hinauszugehen ist.

5.7 Zum TLO-Rekurs auf prozessontologische 4D-Ansätze

»All top-level ontologies assume a philosophical position in the form of commitments to certain categories of entities and relations. Such positions restrict the contexts in which the ontology may apply. Thus a top-level ontology which does not have room for the category of processes/occurrents will be inapplicable in a domain such as physics or biology that is marked by continuous change.«

— Simon K. Milton (2004: 87)

Mit Ausnahme der Ontologie Quines haben alle bisher erörterten philosophischen Ansätze in fundamentaler Hinsicht eines gemein, nämlich dass es sich im Kern um *Substanzmetaphysiken* handelt. Diese Feststellung wird sich im Hinblick auf die Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter insofern als folgenschwer entpuppen, als die in Pkt. 5.2 bis Pkt. 5.6 behandelten Ansätze nicht zuletzt mit diesem Substanzkern letztlich für die Zwecke der Ontologie der Informatik unbrauchbar sind. Entsprechend sind auch alle auf diesen philosophischen Grundlagen aufbauenden TLO-Theorieanwärter fehlkonzipiert, indem für die Fundierung der obersten Ontologie der Informatik eine falsche philosophische Grundlegung gewählt wird. Mit dieser können sie die fundamentalen Strukturen cyber-physischer Welten der Informatik nicht in sachgerechter Weise repräsentieren. Das betrifft gerade die verbreitetsten TLO-Ansätze. Indessen zeichnet sich der Umstand, dass solche Substanzmetaphysiken nicht die Basis für moderne Ontologien darstellen können, im Kontext der Wissenschaften und damit in direkter Relevanz für die *Scientific Ontologies* seit langem ab, indem er für führende Wissenschaftstheoretiker wie Popper außer Zweifel steht.³⁹⁵¹ Im AI-Kontext der Informatik ist dies genauso der Fall, wenn auch hier die Auffassung vertreten wird, dass eine auf Selbstidentität abstellende Ding-, Substanz- oder Objektontologie mit Blick auf die Modellierung der Emergenz und anderer Komplexitasaspekte notwendig durch die Prozessontologie zu ersetzen ist.³⁹⁵² Es sind gerade die Ontologen mit umfassender praktischer AI-Expertise, für die außer Frage steht, dass die Fundierung der AI-Ontologie nicht auf einen substanzzentrischen, sondern einen ereignis- bzw. prozesszentrischen Ansatz hinauslaufen muss. Denn ihnen ist klar, dass ein *AI-Processing* im Kern ein *Event-Processing* bedeutet. Das gilt bereits für einfachste AI-Systeme; für komplexe adaptive Cyber-physische Systeme (CPS) trifft dies jedoch ganz besonders zu, wenn es mit Verweis auf Pkt. 6.2.1 auf Basis von *Event Streams* in IoX-Umgebungen um ein *Complex Event Processing* (CEP) intelligenter Systeme geht.

Die erste echte *Ereignis- bzw. Prozessontologie* stammt von Whitehead (1919); es ist auch Whitehead (1919), der die heute überaus maßgebliche *Ereigniskategorie* überhaupt erst als fundamentale Kategorie in die Ontologie einführt,³⁹⁵³ und in der Symbiose von Ereignissen, Kausalität, Relationalität und Prozessen die *Komplexitätsmetaphysik* begründet. Diese bietet als *Technoscientific Metaphysics* eine universale Referenzbasis für Philoso-

³⁹⁵¹ Vgl. Popper in Popper/Eccles (1977: 7).

³⁹⁵² Vgl. Bickhard/Terveen (1995); vgl. hierzu auch Bickhard (2003, 2010).

³⁹⁵³ In grundsätzlicher Weise ist jedoch schon bei den *Britischen Emergentisten* wie G.H. Lewes (1875) oder S. Alexander (1912) von *Ereignissen* als (kausaler) Kategorie die Rede; später findet sie sich auch etwa bei McTaggart (1927) oder bei C.D. Broad (1933).

phie, Wissenschaft und Technopraxis. Wesentlich ist dabei der Whiteheadsche Gesamtzusammenhang, indem die Kategorien ratio-empirisch gewonnen werden und bei Whitehead das ontologische Existenzprinzip auf dem *Prinzip kausaler Wirksamkeit* basiert. Somit hat die herausragende Stellung der Ereignisse nicht allein etwas mit theoretischen Erwägungen zu tun, sondern sie geht nicht zuletzt auf das Kausalitätsprinzip zurück. Mit P.M. Simons (2003: 359) gilt entsprechend: »As long as science needs causation, and causation is between events, science needs events and so metaphysics needs events«. Auch wenn es Whitehead ist, der *Ereignisse* als primäre ontologische Kategorie durchsetzt, werden sie in ihrer Bewandnis für die Informatik bereits weitaus früher ersichtlich, nämlich wiederum bei Leibniz: ungeachtet seines prozessualen Substanzdenkens sind Ereignisse bereits für Leibniz in mehrfacher Hinsicht zentral, sowohl in seiner Metaphysik, Erkenntnistheorie, Methodologie und auch mit Blick auf seine Überlegungen zur mathematischen Logik. Wenn im Folgenden deutlich wird, dass die "*Events*", die für eine CPSS-adäquate Ontologie zentral sind, weder im defekten Trägersinne des Substanzkonzepts noch im linguistischen Sinne verstanden werden können, steht gleichzeitig außer Frage, dass ihre Auslegung wieder zurück zum Ursprung muss: zur Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik als Ursprungsparadigma der Informatik.

Um zu verstehen, dass die Ereignisontologie Whiteheads und damit seine Klasse-4-Metaphysik für die Informatik das fundamentale Paradigma konstituiert, ist die Whitehead-Leibniz-Verbindung herauszustellen, die eine ternäre ist. Denn diese Verbindung bezieht sich auf die *Scientia generalis, Mathesis universalis und Metaphysica* Leibnizens. Im Mittelpunkt steht jedoch die Idee des Automatenuniversums einschließlich der Vorwegnahme der Automatentheorie durch Leibniz und Whitehead, womit schon deutlich wird, dass die Metaphysik vor allem auch bei letzterem strikt im Zeichen der mathematischen Logik steht.³⁹⁵⁴ Das impliziert zum einen die konsequente Behandlung aller Materie als *Form* bzw. als *logisch-prozessualer Form*, zum anderen damit verbunden in der Tradition der Leibnizschen (1714a) *Monadologie*, in der Whitehead steht die Sichtweise, dass die Welt als System von Automaten bzw. als Automatenuniversum zu begreifen ist. Die Ereigniskategorie als ontologische Kategorie bei Whitehead (1929a) ist also nicht zu verstehen ohne die logico-mathematischen Grundlagen des Mathematikers Whitehead, die rückwärts betrachtet über Boole zu Leibniz führen. In diesem Sinne ist auch Leibnizens *Metaphysica* als CPS-bezogener Fixpunkt der Automatentheorie zu verstehen, womit diese zugleich den letzten Referenzpunkt in Fragen der Konzeption der AI-Ontologie bildet. Die Ereignisse in Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik sind somit als *logico-mathematische Ereignisse* aufzufassen; sie kommen bei Whitehead unmittelbar aus der mathematischen Logik, konkret aus Whiteheads (1898) *Universal Algebra* sowie aus der *Principia Mathematica* Whitehead/Russells (1910-13). Hier wird bereits auf Basis der Ereigniskategorie

³⁹⁵⁴ Vgl. hierzu Whitehead (1929a: 3, 90 f.) sowie Urban (1941: 310).

ein metaphysischer Perdurantismus vertreten.³⁹⁵⁵ In der Tat ist es die mathematische Logik, die in nahezu allen Belangen hinter der Whiteheadschen (1929a) Prozessmetaphysik steht; es ist der mathematische Strukturalismus, die Relationstheorie, die dazu führt, *Form* prozessual-strukturalistisch und *Materie* als "*system of events*" zu begreifen. Insofern lässt sich feststellen, dass die in der Tradition Leibnizens stehende Prozessmetaphysik Whiteheads mit der Komplexitätsforschung sehr viel mehr zu tun hat als landläufig gedacht wird: Dass diese letztlich das eigentliche Fundament bildet, auf dem mit Pkt. 4.3 die universale Theorie *komplexer adaptiver Systeme* (CAS) steht, wird mit der Automatentheorie genauso deutlich wie anhand der Allgemeinen Systemtheorie bzw. der Kybernetik als Vorläufer. Sie alle sind in ihrem Kern nicht nur *logico-mathematisch* gehalten, sondern auch die "*Events*" bei N. Wiener (1914) oder McCulloch/Pitts (1943) entstammen explizit der *Principia Mathematica* Whitehead/Russells (1910-13).

Die im Folgenden erörterten Defekte der sprachphilosophischen OLP-Behandlung von *Ereignissen* bzw. ihre defekte Interpretation auf Basis von Substanzontologien lassen sich nur dann beheben, wenn sie wieder auf die Grundlage der mathematischen Logik gehoben werden. Das gelingt am einfachsten mit Boole, dessen logico-mathematische Ereignisse im Zeichen des Leibnizschen Automatenuniversums stehen. Bei Boole (1854) werden "*events*" in diesem Sinne bemuhrt,³⁹⁵⁶ und sie sind entsprechend auch für Boolesche NK-Netze bestimmend, die einen wesentlichen CAS-Ansatz der Komplexitätsforschung darstellen. Gewissermaßen im Vorgriff auf die "*complex events*" im CPS-maßgeblichen CEP-Ansatz Luckhams (2002), der für die Informatik *universal* richtig interpretiert auf dem Whiteheadschen Fundament der Komplexitätsmetaphysik steht, ist bereits bei Boole (1854) von "*simple events*" die Rede. Bei Boole (1854) wird all das verständlicher, was sich bei Leibniz im Original findet. Auch wenn CYPO FOX als Mehrweltenontologie mit der CPS/MAS-Adäquanz auf moderne AI-Erfordernisse zugeschnitten ist, geht die Grundidee auf Whitehead zurück, für den wiederum via Peirce und Boole nicht zuletzt die Ideen Leibnizens wegweisend sind. Auch das zeigt: am Ontologieverständnis als *integrierter metaphysischer Wissensontologie* führt kein Weg vorbei. Mit Blick auf die große Konfusion in der Ontologiedebatte ist die Stellung der *Ereignisse* wesentlich, zu der es drei grundlegende Positionen gibt, die im Zusammenhang mit Thalbergs (1985) in Pkt. 3.3.2 erwähnter Differenzierung von "*no-event metaphysicians*" (NEMs) und "*pro-event metaphysicians*" (PEMs) stehen:

(i) *Ereignisse aus Sicht der eliminativen Position*: diese wird u.a. durch T. Horgan (1978) vertreten; für ihn sind *Ereignisse* zur Behandlung ontologischer Probleme überflüssig. Vielmehr sei etwa der Begriff der Kausalität nicht als Relation von *Ereignissen*, son-

³⁹⁵⁵ Vgl. Whitehead/Russell (1910-13: I, 661, 665).

³⁹⁵⁶ Bei Boole (1847: 49, Fn.) wird auch die Näherung zu Whitehead deutlich, wenn es dort heißt: »When we affirm that it is either certain that an event will take place, or certain that it will not take place, we tacitly assume that the order of events is necessary, that the Future is but an evolution of the Present; so that the state of things which is, completely determines that which shall be«. Das mündet später bei Whitehead (1898: 7) in der "*sequence of events*".

dern von *Sachverhalten* (facts) zu analysieren. Wie in Pkt. 3.3.2 dargelegt, vertreten NEMs wie N. Wilson (1974: 317) oder Chisholm (1976a: 115) ähnliche Positionen. Wie üblich, machen das deskriptive Ontologen an sprachphilosophischen Gesichtspunkten fest; Chisholm (1976a: 125 f.) etwa an dem Ereignis "*Brutus killing Caesar*", dessen Reduktion auf einen Sachverhalt in der Tat unstrittig ist. Es geht also um die speziell für Linguisten relevante Streitfrage, ob ein linguistisches "Ereignis" durch einen linguistischen "Sachverhalt" abgedeckt wird: Ereignisse sollen als Partikularien in dieser dezidiert *sprachphilosophischen* Sichtweise deshalb nicht existieren, weil sie bereits durch *sprachliche* Sachverhalte abgedeckt werden. Das heißt, sie werden erst gar nicht als Entitäten zugelassen. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass die Normalsprache an sich primär objektorientiert ist. Ereignisse lassen sich aus Sicht der NEMs deshalb problemlos eliminieren, weil auch Computerlinguisten wie J. Allen/Ferguson (1994: 533) meinen, dass die "Welt" *an sich* gar keine Ereignisse aufweise, sondern dass es sich vielmehr um eine linguistische bzw. kognitive Kategorie handele. Genauso meint man, die Existenzfrage der Ereigniskategorie sprachphilosophisch bzw. substanzmetaphysisch und entsprechend auf Basis einer 3D-Perspektive klären zu können.

Wenn solche Debatten unmittelbar die Ausgestaltung linguistischer Kategoriensysteme betreffen, wird die hier vertretene Position nachvollziehbar, dass sich die Informatik nicht an dieser traditionellen linguistischen Praxis orientieren sollte. Das wird umso klarer, als daran zu erinnern ist, dass die AI-Ontologie mit H.A. Simon (1969, 1995a) sowohl *Scientific Ontologies* wie *Technological Ontologies* bzw. eine *Ontologie der Artefakte* adressieren können muss. Nehmen wir damit verbundene Ereignisse, geht es um die Frage, ob sich etwa *Quantum Events* rein auf solche "Sachverhalte" reduzieren lassen, oder ob dies etwa für die *technologischen Ereignisse* wie sensorbasierte *RFID Events*, *BPMN Events* oder dem *Event-driven SOA* gelten kann. Die Antwort auf diese Frage lautet nicht nur, dass dies nicht möglich ist, sondern vielmehr, dass das OLP-Paradigma insgesamt in die Irre führt. Demnach ist die OLP-basierte Klasse-2-Metaphysik durch eine techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik zu ersetzen, die im logico-mathematischen Sinne an sich *ereigniszentriert* ist. Bits und Bytes bilden die Grundlegung der Computer- bzw. Digitalmetaphysik; erst darauf aufbauend ist eine technologisch zentrierte Semantik für Wissenschaft und Technopraxis zu entwickeln, die sich nicht von den Defekten der Alltagssprache fehlleitet lässt. Mit anderen Worten wird anhand der in Pkt. 4.1 vollzogenen Spezifizierung der Metaphysikklassen und ihrer Diskussion ersichtlich, dass sich Ontologen manch impulsiv geführte Debatte hätten ersparen können, wenn disparate Metaphysiken in Frage stehen.

Geht man wie P.M.S. Hacker (1982b) im defekten Schema deskriptiver Metaphysik davon aus, dass es sich um eine *linguistische* Kategorienfrage handelt, und er sie in einer *linguistischen* Ereignissemantik mit Sätzen wie "Did the death of Caesar exist?" diskutiert, ist die Bedeutung der Frage "Do events exist?" schnell geklärt. Solche Diskurse, die an den realen Zusammenhängen vollkommen vorbeigehen, sind typisch für Klasse-2-Metaphysi-

ken, womit sich der Sinn von Mulligan/Simons/Smithens (2006) frappanter Frage: *What's Wrong With Contemporary Philosophy?* bereits abzeichnet. Eine, vielleicht *die* Antwort darauf findet sich bei P.M.S. Hacker (1982a: 6 f.) selbst, wenn dort eingeräumt wird, dass das OLP-Schema im Grunde nichts mit der *techno-wissenschaftlichen realen Welt* zu tun hat. Dabei geht es für P.M.S. Hacker (1982a) um zwei ganz verschiedene Arenen, um zwei differente "Spiele", wenn er die OLP-Ontologie mit dem Hinweis zu retten sucht, dass es sich um disparate Spielfelder handle: »Chess pieces are not defective because one cannot play bridge with them«. ³⁹⁵⁷ – Allerdings sollte man diese Spielarten dann auch nicht vermischen, wie es im OLP-Paradigma indessen der Fall ist. Wittgensteins *Sprachspiele* sollten also nicht für die Frage der kategorialen Ausgestaltung von Heavyweight-Ontologien herangezogen werden, insbesondere wenn es um kritische AI-Prozesse geht. Indem die semantischen Netze als Ontologievorläufer der Informatik aus der Linguistik bzw. Sprachphilosophie kommen, sollte deutlich werden, wie allgegenwärtig dieses Problem tatsächlich ist, wenn sich linguistische Kategorienfehler in der kategorialen Ausgestaltung von AI-Ontologien widerspiegeln.

In weiten Teilen der AI-Ontologie sind die damit zusammenhängenden Probleme offenbar unklar. Das lässt sich daran ablesen, dass heute z.B. via der SSN-Ontologie im Kern endurantistische TLO-Konzepte, wie sie in ihrer 3D-Perspektive für die deskriptive Metaphysik typisch sind, in die physische CPPS-Sphäre Einzug halten. Denn mit einer solchen 3D+T-Perspektive sind Konflikte vorprogrammiert, wenn die Schlüsselkategorien moderner Technologien heute auf perdurantistischen 4D-Ansätzen gründen. Mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 ist das nicht zuletzt in dem für die CPPS-Sphäre besonders relevanten U-PLM-Kontext der Fall. Oder, um ein anderes Beispiel zu bemühen, man sollte *chemische Ontologien* nicht wie bei Fernández-López et al. (1999) als *linguistische Ontologien* konzipieren, wenn man diese etwa in Produktionsumgebungen zur Steuerung chemischer Prozesse einsetzen will. Vielmehr werden dann Heavyweight-Ontologien mit metaphysischer TLO-Referenz erforderlich, wie es Batres et al. (2005, 2007) vor dem Hintergrund der chemischen Prozessindustrie mit ihrem dezidierten 4D-Ansatz (ISO 15926) konsequenterweise vollziehen. Wie allgegenwärtig die nicht ungefährliche Vermengung deskriptiver Metaphysik mit der techno-wissenschaftlich relevanten Realität ist, zeigt der Umstand, dass Marquardt et al. (2010: 381 f.) selbst in Kenntnis der ISO 15926 mit OntoCAPE dennoch bewusst einen 3D-Ansatz im *Chemical Process Engineering* mit dem Argument verteidigen, ³⁹⁵⁸ dass dieser intuitiver bzw. durch den Nutzer einfacher anzuwenden sei als der – für techno-wissenschaftliche Prozesse eigentlich erforderliche – 4D-Ansatz. ³⁹⁵⁹ Ähnlich wenig überzeugend sind die Argumente, die Jordan et al. (2014) im Zuge ihrer Kritik der ISO 15926 vorbringen, da diese nichts mit der Realitätsrepräsentation an sich zu tun haben.

³⁹⁵⁷ Vgl. P.M.S. Hacker (1982a: 7).

³⁹⁵⁸ OntoCAPE verknüpft Ontologien mit dem *Computer-Aided Process Engineering* (CAPE).

³⁹⁵⁹ Vgl. hierzu auch Morbach (2009: 87).

Geht es mit P.M.S. Hacker (1982a: 6 f.) um zwei völlig unterschiedliche Spielfelder, ist evident, dass Ontologien der Informatik nicht auf dem OLP-Schema gründen können. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn sie nicht als einfaches semantisches Netz, sondern als CPSS-adäquate *Heavyweight-Ontologie* verstanden werden, auf deren Basis im AI-Zeichen von Brooks' (1991b: 139) "*real sensing and real action*" unmittelbar in die physische Welt eingegriffen wird. Demgegenüber stellt sich in revisionären techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysiken die Situation völlig anders dar als bei P.M.S. Hacker (1982a): hier geht es um Ontologie im raumzeitlichen 4D-Schema, und um ein *realistisches* Unterfangen, das notwendig dem wissenschaftlichen wie technologischen Gesichtspunkten Cyber-physischer Systeme (CPS) zu genügen hat. Denn anders lassen sich mit D. Moore (1992) kaum *Computer als "Reality Machines"* verstehen, anders kann mit Hayes (1979) der Schritt in die "*nontoy worlds*" nicht gelingen, die mit Agre/Horswill (1997) auf "*real lifeworlds*" hinauslaufen. Mit Weiser (1991) ist damit das diametral Entgegengesetzte von "virtueller Realität" impliziert, da diese eine Welt *im Inneren des Computers* begründet. Mit *Computern als "Reality Machines"* ist also genau Umgekehrtes gemeint: Computer werden im Sinne des *Ubiquitous Computing* allgegenwärtiger wie unsichtbarer *Teil ihrer äußeren Welt*, der physischen Realität.³⁹⁶⁰ Vermittels ihrer Sensorik und Aktorik sind sie der Realität immanent; sie stehen im Kontext zu anderen Objekten, sie agieren und reagieren situativ und kontextbezogen – und stehen dabei der natürlichen Agentenklasse in prinzipieller Hinsicht in nichts nach.³⁹⁶¹ Genau in dieser Weise ist auch das im ersten Teil skizzierte und in Pkt. 6.2.1 um das Moment des *U-CEP* ergänzte *U-PLM* zu verstehen, indem etwa PEID-Produkte permanent wie unmerklich Daten mit U-PLM-Systemen austauschen. Eine CPSS-adäquate Ontologie, die im Kontext von Brooks' (1991b: 139) "*real sensing and real action*" steht, muss damit die *Existenzfrage von Ereignissen* vollkommen anders angehen als die Klasse-2-Metaphysik resp. die deskriptive Metaphysik es heute praktizieren: Sie muss sie auf die *realistische* Grundlage der Klasse-4-Metaphysik stellen. Sie muss die Existenzfrage techno-wissenschaftlich im Zeichen des *Ratio-Empirismus* beantworten. Damit muss sie in den wissenschaftlichen Kontext etwa der Quantenphysik und dissipativer Systeme gebracht werden, und daneben in den technologischen Kontext von *Signaling Networks* wie generell in jenen komplexer Systeme, Automaten bzw. "*Reality Machines*". Damit wird für die Informatik zugleich die Verbindung von Zeichen und Ereignis im Sinne von Cherrys (1957: 308) "*sign events*" relevant, in denen Debrock (1996: 88) »an attractive alternative to the fixity of ontological schemes« ausmacht.

Man kann die *Existenzfrage von Ereignissen* durchaus pragmatisch stellen und beantworten: natürlich steht außer Frage, dass mit den *Event Streams* in IoX-Umgebungen von "*Reality Machines*", die auf dem *Complex Event Processing* (CEP) bzw. vergleichbaren Ansätzen basieren, *Ereignisse existieren*. Genauso besteht kein Zweifel, dass sie nicht

³⁹⁶⁰ Vgl. hierzu Weiser (1993a), Estrin et al. (2002) sowie Saha/Mukherjee (2003).

³⁹⁶¹ Mit Verweis auf die *Superintelligenz* in Pkt. 6.3 sind sie vielmehr in vielfältiger Hinsicht überlegen.

eliminierbar bzw. substierbar sind. Im CPS-Kontext existieren solche Ereignisse dabei nicht nur im definitorischen Sinne, sondern auf der Grundlage *realer* Sensoren tatsächlich real bzw. physisch. Dann aber ist ihre physische (bzw. virtuelle) Existenz auch im KR-Procedere zu beruckichtigen. Im Allgemeinen muss dann ihre Rückverfolgbarkeit (Traceability) jederzeit gewährleistet sein. Daraus folgt: *Ereignisse* sind als *Ereignisse* zu behandeln. Das gilt im kausalen Zusammenhang auch insofern, als sie auf Grundlage des angezeigten Popperschen erweiterten Realitätsverständnisses als artifizielle W3-Ereignisse im CPS-Sinne mit der physischen Welt 1 interagieren können müssen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass gemäß der *eliminativen Position* deskriptiver Metaphysik *Ereignissen* insofern keine ontologische Relevanz zukommt, als sie sich angeblich durch andere linguistische Kategorien problemlos substituieren lassen. Damit ist die eliminative Position unhaltbar, fehlerleitend und insgesamt abzulehnen. Mehr noch: Wenn Ontologie allein als *integrierte metaphysische Wissensontologie* praktizierbar ist und ihre Konzeption den ratio-empirischen Vollzug verlangt, ist weder ein theoretischer noch ein praktischer Nutzen von Klasse-2-Metaphysiken erkennbar. Das umso mehr, als der techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik als integrierter Computer- bzw. Digitalmetaphysik natürlich auch die *Modalmetaphysik* als sekundärer Modus inhärent ist.

(ii) *Ereignisse als abhängige Entitäten (Substanzontologien)*: Eine zweite, neo-aristotelische Position besteht darin, Ereignisse zwar als Entitäten zuzulassen, sie jedoch als abhängige Entitäten zu klassifizieren. Diese Position wird etwa durch Strawson (1959) vertreten, indem für ihn Einzeldinge (Individuals) grundlegend sind, während Ereignisse demgegenüber als von ihnen abhängige Entitäten verstanden werden. Auch diese Position begründet sich einmal sprachphilosophisch, zum anderen ist sie substanzmetaphysischer Natur, und damit vor allem – jedoch nicht zwingend – Strawsons (1959) *deskriptiver Metaphysik* verpflichtet. Denn die Einzeldinge, die Strawson (1959) meint, werden gemeinhin bei dieser Position als *Substanzen* gesehen. Dabei besteht in ihnen (bzw. in Dingen) der unverzichtbare Träger von Ereignissen. So verstandene Ereignisse beziehen sich dann im Sinne aristotelischer Akzidenzen immer auf Dinge als Träger, wie es etwa an folgendem Beispiel deutlich wird: »The apple (occurrently) exemplifies the attribute greenness«. ³⁹⁶² Ereignisse sind für J. Kim (1976) nicht denkbar ohne die konstitutive Substanz des Ereignisses, wobei gilt: »an event (or state) is a structure consisting of a substance (an *n*-tuple of substances), a property (an *n*-adic relational attribute), and a time«. ³⁹⁶³ Bei Ereignissen handelt es sich also um Geschehnisse, die sich immer auf Dinge beziehen; Ereignisse können nach Ansicht Lombards (1986) gemäß dem Identitatskriterium nicht ohne persistierenden Träger "überleben". Diese Sichtweise ist typisch für die Substanzmetaphysik, nämlich bereits insofern, als man der Akzidenz bei Aristoteles Ereignischarakter zuschreibt: Dann wandelt sich die Form, die sich nach Maßgabe seines Hylemorphismus

³⁹⁶² Vgl. E.J. Lowe (2011: 124).

³⁹⁶³ Vgl. J. Kim (1976: 160).

nicht von der Materie als Träger lösen lässt. Eine solche Position findet sich etwa bei Santayana (1930: 99 f.); sie findet sich selbst noch in Bunge (1977a) *Scientific Metaphysics*, die wie erwähnt eine materialistische ist. Entsprechend behaupten Bunge/Mahner (2004: 61), der Ding- und Eigenschaftsbegriff sei dem Ereignisbegriff logisch vorgeordnet, während dies im Sinne dissipativer Systeme in der Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) als logico-mathematischer Computer- bzw. Digitalmetaphysik richtigerweise genau umgekehrt konzipiert ist.

Grundlage ist in allen Fällen letztlich die klassisch-aristotelische Theorie der Veränderung, die zwischen substanziellen und akzidentellen Änderungen unterscheidet. Dass für die Informatik solche Sichtweisen ungeeignet sind, zeigt sich bereits wenn Santayana (1930: 99) konstatiert: »A flux could neither change nor continue if it were immaterial«. Die Ereignisse und Prozesse, die sich in virtuellen Welten abspielen, weisen jedoch gerade diese Immaterialität auf; die Ontologie muss also insbesondere auch diese immateriellen Prozesse abdecken können, etwa mit Blick auf den Einsatz von Ontologien für Zwecke der Modellierung und Simulation (M&S). Tatsächlich ist die Substanzidee weder technologisch sinnvoll, noch im Sinne der Selbstidentität wissenschaftlich haltbar. Entsprechend lassen sich die beiden Positionen (i) und (ii) so zusammenfassen, dass sie Ereignisse entweder aus sprachphilosophischen Gründen oder aber auf Basis der Substanzmetaphysik als eigenständige Kategorie ablehnen. In beiden Fällen handelt es sich dabei regelmäßig um keine realistisch-erfahrungswissenschaftliche Positionen und damit um keine revisionärer Metaphysik; vielmehr ist dies die traditionelle Position von Klasse-2-Metaphysikern, die den Zwecken der Informatik indessen in keiner Weise genügen können.

(iii) *Ereignisse als unabhängige Entitäten und primäre Kategorie (Prozessontologien)*: diese Position geht auf Whitehead und seine Schüler zurück,³⁹⁶⁴ indem Whitehead die Ereigniskategorie als unabhängige Zentralkategorie überhaupt erst in die Metaphysik einführt.³⁹⁶⁵ Entsprechend handelt es sich bei Vertretern dieser Position regelmäßig entweder um Verfechter ratio-empirischer Metaphysikern der Klasse 4 wie Whitehead (1920, 1929a), um an der mathematischen Physik orientierte Rationalisten wie Russell (1924, 1927a), um Empiristen bzw. Naturalisten wie Quine (1960a, 1980) oder um empirisch orientierte Sprachphilosophen wie Davidson (1967, 1985).³⁹⁶⁶ Ausgehend von Whiteheads (1919, 1920) Ereignisontologie konstatiert auch C.D. Broad (1923: 393):³⁹⁶⁷ »A thing [...] is simply a long event, throughout the course of which there is either qualitative similarity or continuous qualitative change, together with a characteristic spatio-temporal unity«. Analoge Perspektive findet sich bei den direkten bzw. indirekten Whitehead-Schülern Russell, A.P. Ushenko, N. Goodman, Quine und Davidson: Russell (1924: 328 f.) sieht im Kontext

³⁹⁶⁴ Im Grunde gibt es noch eine vierte Position, die zwar für *Ereignisse* als unabhängige Entitäten votiert, jedoch *nicht* als primäre Kategorie, vgl. etwa Faye (1986). Allerdings ist diese Position, die parallel von *3D-Dingen* und *4D-Ereignissen* ausgeht, metaphysisch inkonsistent.

³⁹⁶⁵ Ähnliche Überlegungen existieren schon bei S. Alexander (1912), indes nicht als *metaphysisches System*.

³⁹⁶⁶ Dabei macht Davidson (1977: 246) das erforderliche empirische Moment direkt an Quine fest.

³⁹⁶⁷ C.D. Broad (1923) weist explizit darauf hin, dass er fundamental auf Whitehead aufbaut.

der Relativitäts- und Quantentheorie nicht materielle Substanzen als elementar an, sondern *Ereignisse* als Raum-Zeit-Zonen: »a piece of matter is all that happens in a certain track in space-time«.³⁹⁶⁸ Anders gewendet ist *Materie* mit Russell (1927a: 400 f.) ein "system of events".³⁹⁶⁹ A.P. Ushenko (1946: 168) konstatiert auf gleicher Whiteheadscher Basis etwas genereller, »that some events are actual and all actual entities are events«. N. Goodman (1951: 259) stellt dazu konform fest: »A thing is a monotonous event; an event is an unstable thing«. Genauso sind beim – neben Russell – zweiten Whitehead-Schüler von Welt-rang, nämlich Quine (1960a: 171), Objekte allzeit 4D-Objekte und stehen somit unter dem Regime der *Ereigniskategorie*: »Physical objects, conceived thus four-dimensionally in space-time, are not to be distinguished from events or, in the concrete sense of the term, processes«.³⁹⁷⁰ Für Quine sind also Dinge und Ereignisse Vorkommnisse einer einzigen Kategorie, die raum-zeitlich lokalisiert ist; darin besteht zugleich ihre Identitätsbedingung:

»A physical object, in the broad sense in which I have long used the term, is the material content of any portion of space-time, however small, large, irregular or discontinuous. I have been wont to view events simply as physical objects in this sense.«³⁹⁷¹

Damit ist für Quine die Unterscheidung von Objekten und Ereignissen ontologisch irrelevant; er vertritt eine *exklusivistische* 4D-Ontologie, also eine reine Prozess- resp. Ereignisontologie.³⁹⁷² Indessen bilden *Ereignisse* in Quines universaler "physical-object"-Ontologie insofern umgekehrt *physikalische Objekte*, als ihnen raum-zeitliche Extension zukommt; sie sind also in vierdimensionalen Raum-Zeit-Portionen resp. -Regionen lokalisiert.³⁹⁷³ Der Quine-Schüler D.K. Lewis (1986c: 245) setzt analog voraus: »An event is a property, or in other words a class, of spatiotemporal regions«, wobei als Besonderheit gilt, dass die Ereignisse bei D.K. Lewis (1986c: 243) auf *mögliche Welten* bezogen sind: »An event is a localised matter of contingent fact. It occurs. It is contingent that it occurs; no event occurs at every possible world«. Indem *Ereignisse* also nicht notwendig sondern *kontingent* sind, treten sie nicht in allen möglichen Welten zugleich ein, was so zu verstehen ist, dass es bei Lewis mindestens immer eine Gegenwelt gibt.

Wenn im Gegensatz zu Davidson (1967, 1980) klassische "Alltagsontologen" wie Kan-zian (2009: 48 ff.) *Ereignisse* als vierdimensionale, *Dinge* jedoch gleichzeitig als dreidi-mensionale Entitäten erachten, stellt sich offensichtlich die Frage, wie dies in realen Wel-

³⁹⁶⁸ Vgl. Russell (1924: 329).

³⁹⁶⁹ Zwar gehört auch Russell zu dieser Gruppe, fällt jedoch mit seiner *a priori* Perspektive unter die Klasse-2-Metaphysik. Nicht nur in Bezug auf die 4D-Konzeption von Ereignissen, sondern auch in manch anderer meta-ontologischer Hinsicht wird deutlich, dass Russell mit seinem *Rationalismus* genauso inkonsequent ist wie Quine mit seinem *Empirismus*, indem das jeweilige Pendant fehlt. Für die Position von Davidson als Quine-Schüler gilt dies noch umfassender. Ihre zentralen Einsichten verdanken sie dem Whiteheadschen *Ratio-Empirismus*, also der *Klasse-4-Metaphysik*; ohne diesen hätten sie ihre davon abweichenden Positionen im Zeichen der dazu erforderlichen *empiristischen Universalsynthese* gar nicht entwickeln können. Denn diese lässt sich allein über einen Ratio-Empirismus in eine allgemeinste Theorie bringen, unabhängig davon, ob diese dann in eine metaphysische, mathematische oder sprachphilosophische Form gegossen wird.

³⁹⁷⁰ Vgl. hierzu auch Quine (1970b: 30).

³⁹⁷¹ Quine (1985a: 167).

³⁹⁷² Vgl. hierzu Shields (1996, 2003), McHenry (1997) sowie die darauf bezogene Antwort Quines (1997).

³⁹⁷³ Vgl. hierzu Quine (1960a: 171).

ten zusammengehen soll. Das gilt zumindest dann, wenn diese als *physikalische Objekte* gesehen werden. Ontologie muss gewiss auch den Belangen der *Scientific Ontology* Rechnung tragen können und in einer einheitlichen *Scientific Ontology* ist ein solcher Dualismus unhaltbar, indem die Relativitätstheorie entweder gilt oder – etwa auf Grundlage einer Newtonschen Weltauffassung – nicht gilt. Einzig bliebe der Weg, der im Zuge der GFO-TLO beschritten wird, indem 3D-Entitäten des *Common Sense* hier unter einen gesonderten epistemischen Ontologiemodus fallen. Als entsprechend geeigneter offenbart sich vor diesem Hintergrund in der sprachphilosophischen Tradition der Quine-Schüler Davidson (1967). Er ist es, der ausgehend von Quines Ereigniszentrismus in der ILP-Tradition die ontologische Kategorie der Ereignisse nunmehr in die sprachphilosophische *OLP-Tradition* einbringt. Lässt sich Quines Ereigniszentrismus in der ILP-Tradition im Kontext der mathematischen Logik auf Basis von Whitehead/Russells *Principia Mathematica* als Gegenstand von Quines (1932) Dissertation gut nachvollziehen, sieht die Sache in der OLP-Tradition gänzlich anders aus: So sind die umfassenden Debatten, die Davidson (1967) mit der Projektion des Whitehead-Quineschen Ereigniszentrismus auf die OLP-Tradition ausgelöst hat, besser nachvollziehbar. Denn Whitehead (1929a) setzt in seiner kategorischen Ablehnung jeden sprachphilosophischen Ontologieverständnisses seine *Principia-Notation* gerade der klassischen *Subjekt-Prädikat-Struktur der Alltagssprache* (OLP) entgegen. Davidson (1980: 132 ff.) nimmt zu der üblichen OLP-Praxis Stellung, etwa bei Kausalitätsanalysen *Sachverhalte* (facts) als Grundkategorie zu setzen, und ihnen *Ereignisse* unterzuordnen. Hierzu stellt Davidson (1980: 137) schließlich fest: »there is a lot of language we can make systematic sense of if we suppose events exist, and we know no promising alternative. The presumption lies with events«. Dabei steht auch Davidson ganz in der Linie Whiteheads, wenn LePore (1985: 151) richtig konstatiert: »His [Davidson's] central claim is that events are concrete particulars – that is, unrepeatable entities with a location in space and time«. In dieser Sache hält es Davidson also mit dem ursprünglichen Ereigniszentrismus Whiteheads, der – im Gegensatz zu Quine – *Ereignisse* und *Objekte* nicht gleichsetzt. Das macht gerade für den AI-Kontext einen bemerkenswerten Unterschied zwischen den Ansätzen Whiteheads und Quines aus, der zugunsten Whiteheads bzw. Davidsons zu entscheiden ist, wenn letzterer feststellt:

»Occupying the same portion of space-time, event and object differ. [...] Spatiotemporal areas do not distinguish them, but our predicates, our basic grammar, our ways of sorting do. Given my interest in the metaphysics implicit in our language, this is a distinction I do not want to give up.«³⁹⁷⁴

Davidsons 4D-Events, die im Whiteheadschen Sinne *raumzeitlich* sind, werden im Unterschied zu klassisch-analytischen Ereignissen entsprechend als ausschlaggebend erachtet, wenn es im Rahmen der Analytischen Philosophie um *Complex Events* geht,³⁹⁷⁵ auf die wir in Pkt. 6.2.1 mit dem *Complex Event Processing* (CEP) zurückkommen.³⁹⁷⁶ Insgesamt ist

³⁹⁷⁴ Davidson (1985: 176).

³⁹⁷⁵ Peterson (1989) differenziert entsprechend zwischen "*complex events*" auf Basis von Davidsons 4D-Events und "Kim-like events", die allesamt "*simple events*" manifestieren.

³⁹⁷⁶ Indessen bilden die "*simple events*" im CEP im Unterschied zu jenen bei Peterson (1989) 4D-Entitäten.

die Unterscheidung zwischen Ereignissen und Objekten für die AI-Ontologie elementar; genauso wesentlich ist es, sie aus einem geschlossenen Ansatz heraus zu entwickeln, wie es mit Bunge entweder substanz- bzw. objektbezogen oder mit Whitehead ereignisbezogen möglich ist, indem Objekte aus Ereignissen emergieren und in diesen situiert sind. Letztere Sichtweise verkörpert unter wissenschaftlichen, technologischen wie kognitionswissenschaftlichen Aspekten für die AI-Tradition die richtige Auffassung. Während Bunes Ansatz in dieser Sache ungeeignet ist, was fundamental gegen die BWW-TLO spricht, ist auch McCarthys (2000) AI-Votum für Quine zurückzuweisen, indem er offenbar diese zentralen Details nicht bedenkt. Indem es sich bei Quine um physikalische Objekte handelt, lässt sich zudem mit Brand (1982) ein weiteres Argument gegen Quines Gleichsetzung von Ereignissen und Objekten ins Feld führen:

»Physical objects occupy spatiotemporal regions, and so do events. However, there is one crucial difference between physical objects and events. Physical objects fully occupy the spatiotemporal regions in which they exist; but events do not fully occupy the spatiotemporal regions in which they occur.«³⁹⁷⁷

Für die Ontologiedebatte besteht bei Davidson (1967) ein ganz entscheidender Wendepunkt, dem in der weiteren kritischen Ontologieforschung die notwendige Aufmerksamkeit entgegengebracht werden sollte. Dabei ist weniger der ursprünglichen Frage nachzugehen, ob Ereignisse in sprachlicher Hinsicht eine gesonderte Rolle zuzuschreiben ist, sondern vielmehr viel grundsätzlicher, ob bzw. inwiefern sich auf Basis des OLP-Paradigmas mit seiner um *Objekte* kreisenden *Subjekt-Prädikat-Struktur der Alltagsprache* tatsächlich ein *raumzeitliches* Ereignisverständnis sinnvoll repräsentieren lässt. Denn die OLP-Struktur ist zuvorderst eine, die im Kontext der 3D-Perspektive der "Furniture-Ontologie" steht. In der durch Whitehead begründeten Ontologietradition (Russell, Quine, Davidson etc.) bilden Ereignisse jedoch *partikuläre raumzeitliche* Vorkommnisse, also *perdurantistische 4D-Entitäten*. Dabei wird hier ganz anders argumentiert, nämlich auf Basis der Realität, der Empirie, wissenschaftlicher Theorie – oder aber auf Basis technologischer Systemgesichtspunkte. Es geht also um erfahrungswissenschaftlich fundierte fallible Argumente bzw. um ratio-empirische Argumente im Sinne revisionärer Metaphysik, nicht um eine mehr oder weniger beliebige sprachphilosophische Exegese deskriptiver Metaphysik. Bei der techno-wissenschaftlichen Metaphysik der Klasse 4 geht es um beides, etwa um Ereignisse in dissipativen Systemen, um Ereignisse im Kontext der Automatentheorie oder um Ereignisse im *Complex Event Processing* (CEP) als für IoX-Umgebungen zentralem Informatikparadigma. Genauso wenig wie Substanzen für die Informatik von Belang sind,³⁹⁷⁸ lassen sich *Ereignisse* als eigenständige Kategorie aus der Informatik wegdenken. Indem diese Position mit dem unter Pkt. 6.2.5 behandelten Perdurantismus bzw. Vierdimensiona-

³⁹⁷⁷ Brand (1982: 107).

³⁹⁷⁸ Das gilt auch insofern, als alle relevanten Substanzaspekte *prozessmetaphysisch* repräsentierbar sind, vgl. hierzu etwa Rescher (1996).

lismus verbunden ist, folgt daraus gleichzeitig, dass Objekte mindestens in Ereignissen situiert sind,³⁹⁷⁹ bzw. Objekte als Reproduktion von Ereignismustern aufzufassen sind.

Mit der Reflexion der Stellung der Ereignisse in den einzelnen Metaphysiktypen sollte deutlich geworden sein, dass für die Informatik letztlich allein genuin prozessontologische Ansätze für Zwecke der TLO-Fundierung und -Referenz in Betracht kommen können. Denn in der Welt der Informatik sind *Ereignisse* allein *Ereignisse*, und nicht Geschehnisse, die sich notwendig auf materielle Dinge, Substanzen oder Objekte beziehen. Vielmehr gilt für sie im Sinne Whiteheads (1919: 80), dass es Objekte *und* Ereignisse als eigenständige Kategorien gibt. Wenn in einer aufgeklarteten Ontologie von Informatik und Philosophie eingesehen wird, dass es Objekte und Ereignisse als eigenständige Entitatsklassen gibt, ist damit schon einiges gewonnen. Denn selbst Verfechter der neo-aristotelischen Tradition wie E.J. Lowe (2002b) grenzen nunmehr Ereignisse gegenüber Dingen als jeweilige konkrete Partikularien ab. Bzgl. der Inkommensurabilität der TLO-Ansätze kommt dann jedoch mit Verweis auf Pkt. 4.4 notwendig die Verhältnisbestimmung von *Objekt und Ereignis* ins Spiel: Während etwa bei Whitehead (1919: 80) *Objekte* immer in *Ereignissen* situiert sind und damit selbst auf diesen beruhen, wird das Ganze bei E.J. Lowe (1998) genau umgekehrt konzipiert, indem *Ereignisse* als "Nicht-Substanzen" eine Unterklasse der *Objekte* bilden. Ähnlich diametral verhält es sich in Sachen *Endurantismus vs. Perdurantismus* usf.

Der bereits in Pkt. 3.3.2 kritisierte linguistische OE-Ansatzpunkt ist nicht nur aus den dort dargelegten Gründen unhaltbar, sondern auch, weil auf seiner Basis nicht entschieden werden kann, ob sich die Ontologie an Substanzen oder Prozessen zu orientieren hat. Auch selbst dann, wenn alle AI-Ontologen sich *unisono* für die für die Informatik naheliegenden Prozesse entscheiden würden (was nicht der Fall ist), bedürfte die linguistische Ontologie zwingend der Metaphysik. Denn bei der Favorisierung der Prozessontologie kommt man nicht um die mit Blick auf semantische Konflikte sorgfältig vorzunehmende Differenzierung von *Prozessen und Ereignissen* umhin. Diese ist mit K. Gill (1993) unter expliziter Referenz auf *eine* ganz konkrete metaphysische Theorie vorzunehmen. Tatsächlich ist eine solche Differenzierung nicht sachgerecht linguistisch bewerkstelligbar; sie ist aber auch nicht metaphysisch konfliktfrei. Vielmehr birgt auch dieses Detail ein metaphysisches Inkommensurabilitatspotential, indem zu dieser Differenzierung von *Prozess und Ereignis* teils vollkommen widersprüchliche Positionen bezogen werden. Bei Mourelatos (1981) findet sich etwa bzgl. der Kategorisierung von Okkurrenten eine ontologische Trichotomie von Ereignissen, Prozessen und Zuständen (States), während K. Gill (1993) die Auffassung vertritt, dass eine Differenzierung von Prozessen und Ereignissen die Untergliederung von Okkurrenten nicht rechtfertigt.

³⁹⁷⁹ Vgl. hierzu bereits Whitehead (1919: 80): »There is a structure of events and this structure provides the framework of the externality of nature within which objects are located«.

Neben solch kategorialen Uneinigkeiten gibt es weitere damit zusammenhängende, die mindestens genauso elementar sind, wenn festzustellen ist, dass sich die Semantik etwa der Prozesskategorie auf völlig unterschiedliche Weise bestimmen lässt.³⁹⁸⁰ Im Grunde lassen sich fünf verschiedene mögliche Bestimmungsweisen der Prozessontologie unterscheiden: (i) empirisch, (ii) naturalistisch, (iii) Common Sense-Ontologien sowie Klasse-1- bzw. Klasse-2-Metaphysik, (iv) Klasse-3-Metaphysik sowie (v) Klasse-4-Metaphysik. Ad (i) entsteht das Problem der Multidisziplinarität; es lässt sich also keine Transdisziplinarität realisieren. Ad (ii) ist zunächst festzustellen, dass die naturalistische Bestimmung eine Variante der empirischen ist; diese lässt zum einen die Besonderheiten sozialwissenschaftlicher Disziplinen außen vor;³⁹⁸¹ zum anderen ist davon auszugehen, dass noch nicht einmal eine naturalistische Synthese herzustellen ist, wenn sich etwa Emmeche (2003) allein mit biologischen Prozessen auseinandersetzt, und somit etwa physikalische Aspekte unberücksichtigt lässt. Ad (iii) kommen die linguistischen Probleme ins Spiel, auf die im Folgenden abgestellt wird; linguistisch lässt sich die Prozesskategorie genauso wenig bestimmen wie etwa die Ereignis- oder Objektkategorie – das ist allein auf Basis einer revisionären Metaphysik möglich. Ad (iv) werden lediglich wissenschaftliche Sachverhalte auf transdisziplinärer Basis berücksichtigt; Prozesse sind etwa im Sinne des *Scientific Realism* hier allein physisch konkret, wie es bei Bunge oder B. Smith der Fall ist. Ad (v) erfordert eine für die Informatik sachgerechte Prozesssemantik neben der Kompatibilität mit den Wissenschaften und dem Transdisziplinaritätsmoment vor allem auch eine technologische Anwendbarkeit: für komplexe Systeme, für ihre Emergenz, ihre Evolution und ihren Wandel sind Prozesse zentral. Mit Emmeche (2004: 41) gilt also: »what is important is the very process that generates (or as it were 'computes') this complexity«. Offensichtlich ist damit gerade die Prozesskategorie zum Verständnis, zur Steuerung wie zur Repräsentation komplexer Systeme elementar. Indem sich komplexe Systeme jedoch in Wissenschaft wie Technologie und Praxis finden, und sie universal zu repräsentieren sind, bedarf eine universale Ontologiekonzeption der Informatik logischerweise auch eines universalen Prozessverständnisses, was analog zu anderen elementaren Kategorien wie Ereignissen und Objekten landläufig übersehen wird. Genauso scheint auf breiter Front unklar, dass solche tatsächlich *universalen* Kategorien allein auf Basis einer techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik realisierbar sind.

Dazu seien nochmals die Defizite und Defekte im Zuge des Versuchs einer linguistischen Bestimmung der Prozesskategorie – und analog der Ereignis- und Objektkategorie – herausgestellt. Denn in der Einsicht, dass in der Annahme einer linguistischen universalen Bestimmbarkeit dieser Kategorie ein großer Irrglaube besteht, ist ein zentraler Faktor zur Überwindung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems auszumachen: Wie bereits in Pkt. 3.2.2 erwähnt, werden Prozesse bei Galton (2006b) im TLO-Kontext als Kontinuanten

³⁹⁸⁰ Vgl. hierzu auch Seibt (2003a).

³⁹⁸¹ Vgl. hierzu auch Emmeche (2004).

verstanden, was genauso in den philosophischen Ansätzen von Zemach (1970), Seibt (1990b) oder Stout (1997) in dieser Weise vollzogen wird. Die aus Sicht der techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik irri- ge Annahme, dass *Prozesse als Kontinuanten* zu sehen sind, ist letztlich wiederum sprachphilosophisch bedingt und durch die mit den modernen Wissenschaften inkompatible aristotelische Metaphysik verursacht. Entsprechend sollte der Hinweis nicht fehlen, dass sich Galton (2000a) mit seinem Hylemorphismus explizit der aristotelischen Tradition verpflichtet sieht. Es sind Kenny (1963: Ch. 7) und Vendler (1967: Ch. 4), die im Zeichen der linguistischen Ontologietradition bzw. deskriptiven Metaphysik den Begriff "*activity*" an Aristoteles' linguistischen Test zur Differenzierung von *Enérgeia* und *Kínēsis* festmachen.³⁹⁸² Das Ontologieverständnis etwa von Seibt (1990b) oder Stout (1997) baut unmittelbar auf diesen Überlegungen auf, was schließlich zur Sichtweise von *Prozessen als Kontinuanten* führt. Beide gelangen auf dieser linguistischen Basis zu gravierenden Fehlurteilen, die dann essentielle Relevanz erfahren, wenn die AI-Ontologie die klassische Ontologie zu ihrer Fundierung benötigt. Für Stout (1997) ist durch diesen linguistischen Schluss nicht mehr die Ereigniskategorie, sondern eine persistierende Prozesskategorie fundamental; für Seibt (2003b) hingegen sind nicht mehr Ereignisse grundlegend, sondern *Aktivitäten*. Beides sind jedoch für die Informatik verfehlte Kategorisierungen; eine persistierende Prozesskategorie widerspricht in genauso elementarer Weise dem Prozessverständnis der Disziplin, wie für sie *Ereignisse*, nicht *Aktivitäten* die fundamentale Kategorie bilden. Letzteres wird weiter unten im Zuge der Kurzkritik des Ansatzes von Seibt konkretisiert.

Damit ist nochmals exemplarisch gezeigt, dass Rescher (2009: 40) wie zuvor schon Quine (1977) mit ihrer Kritik der Alltagssprache und ihrer semantischen Defizite und Defekte richtig liegen; es sind die "mentalistic semantics" linguistischer Ontologie, die für Quine den Gegenstand seiner "perennial criticisms" bilden.³⁹⁸³ Wenn Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* repräsentieren steht mit Quine außer Frage, dass die semantisch explizite Spezifikation allein auf Basis wissenschaftlicher Theorien möglich ist, indem sich diese mit den *tatsächlichen*, nämlich empirisch hinterfragten Sachverhalten der *Erfahrungssphäre* decken muss. Allerdings ist dabei entgegen Quine mit Whitehead (1929a) das Ganze auf die *universale* Ebene der techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik zu heben, wie in Pkt. 5.1 dargelegt. Eine solche *wissenschaftsbasierte* semantische Spezifizierung zentraler Kategorien wie *Prozess* oder *Ereignis* findet sich bei solchen Ansätzen, die wissenschaftsorientiert sind, und somit im Sinne revisionärer Metaphysik ein *reales* Prozessverständnis zugrundelegen. Entgegen dem verfehlten aristotelischen *linguistischen* Prozessverständnis deskriptiver Metaphysik, wie es sich bei Zemach (1970), Seibt (1990b), Stout (1997) oder Galton (2006b) findet, ist das Prozessverständnis B. Smithens im Zeichen seiner *Scientific Ontologies* den Wissenschaften be-

³⁹⁸² Vgl. hierzu auch M.L. Gill (2003); vgl. zum *aristotelischen Test* im Einzelnen D.W. Graham (1980).

³⁹⁸³ Vgl. Quine (1977: 193).

reits stärker zugewandt. Bei B. Smith (2012c) werden *Prozesse als Okkurrenten* eingestuft, während Objekte im Sinne von 3D-Objekten als Kontinuanten behandelt werden.³⁹⁸⁴ Das entspricht Bunges (1967b: 154) *Scientific Research*, wengleich dieser mit dem Ratio-Empirismus einerseits und einer echten Methodologie andererseits weitaus systematischer der wissenschaftlichen Erkenntnis verpflichtet ist als B. Smith in seiner phänomenologischen Tradition. Schließlich entfallen solche Kontinuanten bei echten 4D-Ansätzen wie der BORO-TLO mit Batres et al. (2007) vollständig; hier gibt es allein Okkurrenten, womit lediglich 4D-Objekte gegeben sind.

Es ist somit eine Koexistenz einer Vielzahl letztlich widersprüchlicher Prozessontologien festzustellen. Mit der Integrationsnotwendigkeit der Informatik stellt sich damit allerdings wiederum die Frage nach dem sachgerechten Ansatz. Auch hier gibt es einen "Gold Standard", der sich dahingehend bestimmen lässt, als er einerseits den Anforderungen der *Theorie komplexer Systeme* entsprechen muss, was mit der Automatentheorie beginnt und sich mit *Complex Adaptive Systems* (CAS) fortsetzt. Andererseits gilt dies genauso für das *Complex Event Processing* (CEP), in dem gleichermaßen ein zentrales Paradigma besteht, das genauso als Grundnotwendigkeit für eine CPSS-adäquate Ontologie zu erachten ist. Denn Cyber-physische Systeme (CPS) fußen mitsamt ihrer Sensornetze bzw. Multi-sensorsysteme sowohl auf dem CAS- als auf dem CEP-Gedanken. Entsprechend spielt mit Pkt. 4.3 die Komplexitätsforschung insgesamt eine zentrale Rolle, als in ihr der ratio-empirische Mittler der Klasse-4-Metaphysik sowie die CAS-Fundierung besteht.

Mit Pkt. 4.4 ist die Ereigniskategorie der Informatik zuvorderst realistisch, nicht etwa linguistisch zu verstehen, indem es physikalisch etwa um Wellen, um optische oder akustische Signalübertragungen oder um Stromimpulse und schließlich um *logisch-formale, schaltalgebraische Signaling Networks* geht. Materie ist in Cyber-physischen Systemen (CPS) zwar existent, spielt jedoch für die Informatik allenfalls eine untergeordnete Rolle (z.B. Robotik), wie es rein virtuelle Welten offenbaren. Die Boolesche Logik lässt sich genauso auf rein virtuelle Welten anwenden wie mit Craig (1979) auf die "everyday physical world"; vor allem ist sie in Verbindung mit einer ontologischen *Theorie der Objekte* Basis der CPS-Integration. Inwiefern und warum sollten dann das Substanzparadigma bzw. materielle Dinge für die Ontologiefundierung der Informatik elementar sein? Die Zurückweisung des Substanzparadigmas hat es insofern in sich, indem ein Großteil der TLO-Ansätze entweder auf diesem steht oder zumindest nachhaltig durch dieses geprägt ist. Die meisten TLO-Ansätze sind entweder linguistisch bzw. sprachphilosophisch geprägt, wobei sich die deskriptive Metaphysik auf den "*human common sense*" und damit auf die Normalsprache bezieht. Oder sie sind direkt bzw. – wie im Fall Bunges – indirekt noch maßgeblich durch die Substanzmetaphysik und ihren Hylemorphismus bestimmt. Das trifft gerade auf die führenden TLO-Ansätze wie BFO, DOLCE oder BWW zu. Diese und andere Ansätze stehen nicht auf Basis eines genuin prozessontologischen Fundaments. Das

³⁹⁸⁴ In Pkt. 6.2.5 ist zu klären, ob sich eine solche Praxis tatsächlich begründen lässt.

gilt auch dann, wenn in solchen TLO-Ansätzen Ereignisse bzw. Prozesse vorkommen. In vielen Fällen entsprechen sie nicht dem perdurantistischen Gesichtspunkt bzw. wird dieser unzulässiger Weise mit dem endurantistischen parallel betrieben, während der eigentliche Kern solcher defizitären Ansätze noch dem aristotelischen Kategorienschema verhaftet ist. Demgegenüber steht für AI-Forscher wie Russell/Norvig, Sowa oder Partridge außer Frage, dass die AI-Ontologie einer prozessontologischen Weltsicht zu entsprechen hat. Ähnliches wird auch durch die Verfechter der GFO-TLO erkannt. Sowa (1999, 2000) baut dabei explizit auf der Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) auf; Partridge mit BORO u.a. auf der Prozessontologie M. Hellers (1990).

Indem sie mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 die vierdimensionalen Belange der Technologien und Wissenschaften berücksichtigen, laufen techno-wissenschaftliche Metaphysiken immer auf Prozessontologien hinaus. Damit hat sich die Ontologie der Informatik wie eine universale Ontologiekonzeption maßgeblich an den Prozessontologien bzw. Prozessmetaphysiken zu orientieren. Zwar ist die Whiteheadsche Prozessmetaphysik keineswegs sakrosankt. Das Whiteheadsche System ist dabei nicht nur weiterzuentwickeln, sondern vor allem auch zu vereinfachen. Indessen ist es als Ausgangssystem insofern gesetzt, als in ihm das erste in sich geschlossene perdurantistische Metaphysiksystem besteht. Selbst Seibt (2005), die explizit eine konkurrierende, explizit "*non-Whiteheadian*" Prozessontologie vertritt, räumt ein, dass in Whiteheads (1929a) Kosmologie der mächtigste prozessontologische Ansatz besteht, wenn sie konstatiert: »Whiteheads Ereignisontologie [...] kann wohl als die bisher erklärungsstärkste Ontologie gelten, da sie insbesondere auch zur Interpretation des quantenphysikalischen Bereichs geeignet ist.«^{3985, 3986} Wenn nicht nur das zutreffend ist, sondern auch der Umstand, dass in Whiteheads techno-wissenschaftlicher Metaphysik der erste Klasse-4-Ansatz besteht, bleibt zu fragen, warum sich die TLO-Debatte heute noch vor allem um das überholte Substanzparadigma bzw. damit verbundene ontologische Gesichtspunkte dreht?

Ereignisse können sich in materieller oder nicht-materieller Form darstellen. Für die Informatik ist zwar beides relevant, jedoch überwiegen mit Blick auf virtuelle Rechnerwelten die nicht-materiellen Ereignisse. Vor diesem Hintergrund muss es zwar auf Ebene der *Top-level Ontologie* eine *universale* Ereigniskategorie geben, wie sie in der CYPO-Ontologiekonzeption als prozessontologische 4D-Kategorie behandelt wird. Ontologisch ist diese jedoch auf Basis der einzelnen untergeordneten Ontologien, etwa bei Domänenontologien, näher zu spezifizieren. Das lässt sich dadurch vollziehen, dass bei CYPO *FOX* analog zu der Differenzierung von W1- bis W4-Objekten gemäß den vier Welttypen folgende vier fundamentale Ereignistypen abzugrenzen sind:

W1-Ereignisse: *physische Ereignisse*, z.B. auf der Basis elektromagnetischer Wellen

³⁹⁸⁵ Vgl. Seibt (2005: 198, Fn. 3).

³⁹⁸⁶ Da es sich bei Ontologien mit Meixner (2004: 9) *nicht* um erklärende Theorien handelt, kann die Rede von "*erklärungsstärkster Ontologie*" nur das ratio-empirische Wechselspiel mit den Erfahrungswissenschaften meinen, wie es in Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken systematisch angelegt ist.

W2-Ereignisse: *mentale Ereignisse*, z.B. das Durchspielen fiktiver Geschehnisse

W3-Ereignisse: *technologische Ereignisse*, z.B. *RFID Events* oder *BPMN Events*

W4-Ereignisse: *soziale Ereignisse*, z.B. Interaktionen in MAS-basierten AI-Systemen

Dabei gilt, dass selbst W1-Ereignisse zwar physisch-konkret und damit messbar, jedoch nicht zwingend materiell sind. Daraus folgt, dass die oben unter (ii) erwähnte universale Annahme eines Trägers solcher Ereignisse obsolet bzw. verfehlt ist. Zwar ist richtig, dass W2-Ereignisse – also solche der Agentenwelt – letztlich in der Verarbeitung einen solchen Träger im Sinne von Neumanns Automatenklassen voraussetzen, doch beziehen sich die Ereignisse nicht bzw. nicht zwingend auf diesen Träger. Wie im Fall virtueller Welten finden sie lediglich in diesem Träger (Rechnerwelten) statt, womit es sich weder um materielle Ereignisse handelt noch um solche, die sich zwingend auf eine Substanz beziehen. Analoges gilt für W3- bzw. W4-Ereignisse. Auch ist festzustellen, dass zwar nach Maßgabe der emergentistischen Ontologiekonzeption etwa technologische Ereignisse allein in der Welt 3 existieren; sie können jedoch im Sinne Poppers kausale Rückwirkung auf die anderen Welten, auch auf die physische Welt 1 entfalten. Genauso können sie sich über mehr als eine Welt erstrecken, müssen dabei jedoch inhaltlich klar einer Welt zuordenbar sein, was insbesondere im CPS-Kontext bzw. bei CPS-Ereignissen von Belang ist: *RFID Events* etwa besitzen eine physische wie eine technologische, ggf. auch semantische Komponente. Ob Ereignisse ontologisch existieren, hängt dabei vom jeweiligen Realitätsverständnis ab; wenn die Welt 3 bei Popper real ist, dann sind auch W3-Ereignisse real, was im systemischen CPS-Ganzen die richtige Voraussetzung ist. Demgegenüber sind sie es bei Bunge nicht. Indem Bunge bereits die Existenz der Welt 3 als solche ablehnt, können auch W3-Ereignisse für ihn nicht real existent sein. Insofern lässt sich das Votum für ein abgestuftes Realitätsverständnis, das im Sinne der Emergenz an der Abgrenzung der vier Welten festmacht, an dieser Stelle erneuern.

Wenn Ontologie als universale Prozessontologie zu verstehen ist, die nach Maßgabe eines einheitlichen Ontologieverständnisses bzw. als integrierte Ontologiekonzeption gleichzeitig wissenschaftliche, technologische und praktische Ontologien fundieren können muss, stellt sich die Frage nach der Konzeption und Behandlung der Prozesse. Eine solch integrierte Ontologiekonzeption ist nur vollziehbar als integrierte metaphysische Wissensontologie, die einer Klasse-4-Metaphysik zu entsprechen hat. Da sie revisionäre Metaphysik ist, kann sie nicht deskriptiv sein, d.h. Prozesse rein bzw. primär auf linguistische Weise zu fassen suchen. Das muss auch insofern als unzweckmäßig erscheinen, als ein einheitliches Ontologieverständnis sich zunächst einmal mit der Natur der Prozesse selbst auseinanderzusetzen hat. Es bedarf somit eines materialen Prozessverständnisses, das zudem CPSS-adäquat ist, und für die Zwecke der Informatik im IoX-Paradigma stehen muss. Daraus folgt, dass die für die Informatik adäquate Prozessauffassung nicht im Widerspruch zu technologischen bzw. praktischen Belangen stehen kann. Konkret kann sie nicht im Widerspruch zum *Complex Event Processing* (CEP) als zentraler, sensorbezoge-

ner Bestandteil des IoX-Paradigmas stehen. Da insgesamt die Prozesse formal behandelbar sein müssen, bleibt nur ein sinnvoller Weg: es ist jene Prozessauffassung adäquat, die mit den Erfordernissen komplexer adaptiver Systeme (CAS) bzw. der Automatentheorie als Basistheorien der Informatik korrespondieren. Entsprechend ist das Prozessverständnis im Zeichen von universalen *World Automata* zu entwickeln. D.h. nicht nur das Objekt- und Ereignisverständnis, sondern auch das Prozessverständnis wie insgesamt die Prozessontologie sind nur dann sachgerecht zu entwickeln, wenn sie ausgehend von einem einheitlichen TLO-Verständnis auf die Welttypen der Welt 1 bis Welt 4 bezogen werden. In jedem Fall aber ist eine Variante der Automatentheorie bzw. Theorie komplexer Systeme anzuwenden, die formalisierbar ist, womit die Voraussetzung der *World Automata* naheliegt.

Wie einleitend zu Pkt. 5.2 ausgeführt, ist das Prozessdenken mit Heraklit bereits bei den Vorsokratikern existent, findet sich partiell bei Platon wie bei Aristoteles, wieder in der neuzeitlichen Philosophie, insbesondere mit Leibniz und später mit Schelling und Hegel im deutschen Idealismus. In umfassender Weise setzt es aber erst mit dem Amerikanischen Pragmatismus ein, nämlich mit C.S. Peirce,³⁹⁸⁷ W. James,³⁹⁸⁸ und J. Dewey.^{3989, 3990} Schließlich sind es C.L. Morgan,³⁹⁹¹ H. Bergson,³⁹⁹² S. Alexander,³⁹⁹³ W.H. Sheldon,³⁹⁹⁴ und vor allem A.N. Whitehead, von denen zentrale prozessmetaphysische Beiträge des zwanzigsten Jahrhunderts stammen. Hier ist auch auf die speziell prozessphilosophische Whitehead-Schule mit C. Hartshorne,³⁹⁹⁵ P. Weiss,³⁹⁹⁶ sowie A.P. Ushenko zu verweisen.³⁹⁹⁷ Es sind all diese Werke, insbesondere jedoch das am umfassendsten erfahrungswissenschaftlich verankerte Whiteheads (1929a), mit denen deutlich wird, dass in der tradierten Substanzmetaphysik keine geeignete Basis für einen wissenschaftlich verankerten "*general world view*" bzw. für eine metaphysische Weltauffassung bestehen kann.³⁹⁹⁸ Peirce und Whitehead zeigen sich dabei unmittelbar für die prozessmetaphysisch verankerte Sowa-TLO konstituierend, während andere prozessuale TLO-Ansätze mit ihren 4D-Entitäten letztlich ebenfalls auf diesen Grundlagen aufbauen. Ohne Zweifel sind alle genannten prozessphilosophischen Ansätze – genauso wie die nachfolgend behandelten prozessontologischen Konzepte – für die weitere prozessmetaphysische Forschung von zentraler Relevanz. In fundamentaler Hinsicht finden sich alle zentralen Momente jedoch bei Whitehead (1929a).³⁹⁹⁹ Da

³⁹⁸⁷ Vgl. Peirce (1898, 1905a, 1905b, 1935).

³⁹⁸⁸ Vgl. W. James (1886, 1909, 1911).

³⁹⁸⁹ Vgl. J. Dewey (1906a, 1906b, 1915a, 1915b, 1928, 1929, 1930).

³⁹⁹⁰ Vgl. ferner Hartshorne (1971, 1984), Sibley (1978), J.R. Gray (1982), Rescher (1996: 14 ff., 18 ff.) sowie Browning/Myers (1998: 1 ff., 187 ff.); vgl. zum *Amerikanischen Pragmatismus* Martens (1995).

³⁹⁹¹ Vgl. C.L. Morgan (1886, 1887, 1914, 1916, 1923, 1925, 1931a, 1931b, 1933, 1936).

³⁹⁹² Vgl. H. Bergson (1911, 1919, 1948).

³⁹⁹³ Vgl. S. Alexander (1912, 1914, 1920).

³⁹⁹⁴ Vgl. W.H. Sheldon (1923, 1968).

³⁹⁹⁵ Vgl. etwa C. Hartshorne (1934, 1942, 1983).

³⁹⁹⁶ Vgl. P. Weiss (1936, 1938, 1954, 1961, 1968).

³⁹⁹⁷ Vgl. etwa A.P. Ushenko (1946).

³⁹⁹⁸ Vgl. Lucas (1983), Rescher (1992: 75; 1996: 16 ff., 20 ff.) und Browning/Myers (1998: 121 ff., 269 ff.).

³⁹⁹⁹ Ohne Zweifel haben auch die verschiedenen älteren prozessphilosophischen Ansätze die Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) beeinflusst, vgl. hierzu etwa V. Lowe (1949).

zudem in diesem die einzige strikt am Ratio-Empirismus orientierte techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik besteht, die zugleich Computer- bzw. Digitalmetaphysik ist, muss hier auf eine eingehende Diskussion der prozessphilosophischen Varianten verzichtet werden, da sie nicht zielführend wäre. Denn für das TLO-Inkommensurabilitätsproblem wie die Fundierung der AI-Ontologie sind unter prozessualen Gesichtspunkten nicht die älteren *prozessphilosophischen* Ansätze entscheidend als vielmehr die jüngeren *Prozessontologien*, die nachfolgend näher behandelt werden.

Die prozessmetaphysische Tradition setzt sich heute etwa mit Rescher und seiner akademischen Schülerin Seibt in jüngster Zeit fort.⁴⁰⁰⁰ Insgesamt wird die Prozessontologie u.a. mit Sider (2001) mehr und mehr auch zum Thema der Analytischen Philosophie. Mit Whitehead (1929a) lassen sich Entitäten oder Zustände nicht ohne Aktivität definieren. Denn aus passiver Materie kann kein schöpferisches Universum entstehen. Anstatt Substanzkategorien in Form selbstidentischer, alle zeitlichen Veränderungen überdauernder Wesenheiten als Zugrundeliegendem eines ewigen Universums zu erachten, rücken mit der Prozessphilosophie die durch Prigogine entworfenen dissipativen Strukturen in den Fokus der ontologischen Analyse, die als durch Wechselwirkungsprozesse hervorgebrachte beständige Entitäten zu verstehen sind: »[...] we call the ordered configurations that emerge beyond instability of the thermodynamic branch the *dissipative structures*«. ⁴⁰⁰¹ Mit ihnen erhalten Prozesse einen grundlegenden, nicht nur abgeleiteten Status. Die neueren theoretischen Entwicklungen in den Natur- und Sozialwissenschaften bzw. Technologien fordern die Philosophie wie die AI-Disziplin, sich eingehend mit einer prozessualen Metaphysik und Denklogik auseinanderzusetzen, die darüber hinaus die Notwendigkeit eines methodologischen wie epistemologischen Umdenkens impliziert.⁴⁰⁰² Die durch die Substanzmetaphysik erfolgende mechanistische Interpretation der Welt weicht in den Einzelwissenschaften zunehmend einer organismischen Sichtweise, wie sie der Prozessmetaphysik zugrunde liegt.^{4003, 4004} Mit der folgenden Abb. 34 wird die Genealogie der Prozessontologien, denen eine wesentliche Bedeutung für den "*general world view*" der Informatik zukommt, uberrblicksartig zusammengefasst:

⁴⁰⁰⁰ Vgl. Rescher (1962, 1992, 1996, 2000b) sowie Rescher/Urquhart (1971).

⁴⁰⁰¹ Vgl. Nicolis/Prigogine (1977: 60).

⁴⁰⁰² Vgl. in naturwissenschaftlicher Hinsicht bspw. Popper in Popper/Eccles (1977: 5 ff.), Prigogine (1980a, 1980b, 1997) und Bauberger (2003: 120 ff.); vgl. im sozialwissenschaftlichen Kontext Dopfer (1986).

⁴⁰⁰³ Vgl. im naturwissenschaftlichen Kontext etwa Prigogine (1979a, 1979b, 1980a, 1980b) sowie in sozialwissenschaftlicher Hinsicht Hodgson (1993), F.H. Hahn (2000) oder Tsoukas/Chia (2002).

⁴⁰⁰⁴ Whitehead (1929a) als zentraler Begründer der heutigen Prozessphilosophie bezeichnet diese entsprechend auch als "*Philosophy of Organism*".

5. Kritik des TLO-Theorieanwärter-Rekurses auf philosophische Ontologien

Prozessontologien	Rekurrierende TLO-Ansätze	Referenzierende EO-Ansätze
(1) Leibniz : Monadologie als prozessualisierte Substanzmetaphysik	- Sowa-TLO - GFO	--
(2) Whitehead : Metaphysischer Logizismus / Digitalmetaphysik - auf Leibniz aufbauend - Substitution Substanz durch Ereignis - erste echte 4D-Prozessmetaphysik	- Sowa-TLO - BORO 4D-Ontology - SUMO (via Sowa)] ⁴⁰⁰⁵ - Russell/Norvig via Hayes	- REA-EO (via Sowa) - Sowa (CM) - BPMN-Notation (via Sowa)
(3) B. Russell : ILP-Begründer (Whitehead Schüler)	- Analytic Approach	- Analytic Approach (CM)
(4) Quine : Analytischer Logizismus (Whitehead Schüler)	- Sowa-TLO - BORO 4D-Ontology - UFO - Analytic Approach	- Analytic Approach (CM)
(5) Davidson : 4D-OLP-Begründer (Quine Schüler)	- Analytic Approach	- Analytic Approach (CM)
(6) Lewis : 4D-Modaler Realismus (Quine Schüler)	- DOLCE (Universalien) - BORO 4D-Ontology	- BORO 4D-Datenmodell
(7) Hayes : 4D-Common Sense (auf Whitehead und Quine aufbauend)	- Russell/Norvig - SUMO via Russell/Norvig - Upper Cyc Ontology	- TOVE-EO
(8) Forbus/Davis : Qualitative Process Theory (auf Hayes aufbauend)	- Russell/Norvig - SUMO via Russell/Norvig	--
(9) Rescher : Prozessmetaphysik (u.a. auf Whitehead aufbauend)	--	--
(10) Seibt : Analyt. Prozessontologie (Rescher Schülerin; Fokus W. Sellars)	--	--
(11) Heller : 4D-Physikalismus (auf Quine bzw. Lewis aufbauend)	- BORO 4D-Ontology - Analytic Approach	- BORO 4D-Datenmodell - Analytic Approach (CM)
(12) Sider : 4D-Aktualismus (auf Lewis aufbauend)	- BORO 4D-Ontology	- BORO 4D-Datenmodell

Abb. 34:⁴⁰⁰⁶ Genealogie und TLO- bzw. EO-Referenz der Prozessontologien

Insgesamt stellt sich die gegenwärtige Situation in der Ontologiedebatte wie folgt dar: es besteht nicht allein die problematische Koexistenz einer Vielzahl von TLO-Theorieanwärtern, sondern auch eine Vielzahl philosophischer Ontologien bzw. damit zusammenhängender philosophischer Forschungsprogramme. Da sich der spezifische Zuschnitt der TLO-Ansätze hierüber bestimmt, ist auch hier anzusetzen: Im Zuge der geführten Diskussion ist das Ergebnis erzielt worden, dass sich das Substanzparadigma für die Zwecke der Informatik als ungeeignet erweist, und dass Prozessontologien der Vorzug zu geben ist. Diese Notwendigkeit wird mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 noch deutlicher, wenn dort festzustellen ist, dass eine CPSS-adäquate Ontologie auf eine perdurantistische 4D-Konzeption hinausläuft. Allerdings gilt auch mit Blick auf die Prozessontologien: es besteht eine Koexistenz konkurrierender Ansätze, womit zu hinterfragen ist, welche Anforderungen eine Prozessontologie erfüllen muss, um als Fundierung der *Top-level Ontologie* herangezogen werden zu können.

Für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Besonderen wie für die Ontologiekonzeption der Informatik im Allgemeinen ist die *Wahl der richtigen Prozessontologie* im Grunde

⁴⁰⁰⁵ Die SUMO-Zuordnung ist hier eigentlich nicht zulässig, als es sich um einen 3D-Ansatz handelt; dennoch bezieht sie sich auf Sowa bzw. Russell/Norvig.

⁴⁰⁰⁶ Quelle: eigene Darstellung.

einfach zu bestimmen. Letztlich kommt man nicht um ein pragmatisches Vorgehen umhin, indem nicht mehr als zwei grundlegende Fragen zu beantworten sind: (i) Was sind die konkreten Ontologiezwecke? D.h. für welche Anwendungszwecke werden Ontologien konkret eingesetzt bzw. sollen sie eingesetzt werden? Indem davon auszugehen ist, dass diese Zwecke heterogen sind, gilt: (ii) Kann es für diese heterogenen Zwecke ein *einheitliches Ontologieverständnis* geben oder sind bloß pluralistische Ontologieverständnisse möglich, wie sie unter Pkt. 3.3 thematisiert wurden? Anders gewendet: kann es je Ontologiezweck abgeschlossene bzw. isolierte Ontologien geben oder muss das Ziel in einer *integrierten Ontologiekonzeption* bestehen?

Ad (i) lässt sich feststellen, dass die Ontologiezwecke im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* sich in drei Klassen einteilen lassen: in wissenschaftliche, technologische und praktische Zwecke. Demnach gibt es wissenschaftliche Ontologien (Scientific Ontologies), technologische Ontologien und praktische Ontologien. Diese Einteilung ist aus dem Grunde wesentlich, weil diese Ontologietypen unterschiedliche methodologische Anforderungen stellen, unterschiedliche Wahrmacher besitzen, und eine differenzierte Semantik implizieren. Das gilt dann, wenn von dem klassischen objektiven Wissenschaftsbegriff ausgegangen wird, wie er im Kritischen Rationalismus angelegt ist. Wissenschaft ist etwas anderes als Technologie, und diese wiederum etwas anderes als Praxis, was sich nicht nur an völlig differenten Domänen spiegelt, sondern auch zu einer unterschiedlichen Akzentuierung von Referenz- und Anwendungsontologien führt. Die Domänen sind dabei schon bei *Scientific Ontologies* mit der Multidisziplinarität der Wissenschaften heterogen. Eine zweite Differenzierung der Ontologiezwecke besteht hinsichtlich der Abgrenzung von CM- und AI-Ontologien, wie sie in Pkt. 3.2.2 bzw. Pkt. 3.2.3 diskutiert wurde. Eine dritte damit verbundene Differenzierung ließe sich etwa hinsichtlich der Abgrenzung zwischen dem Ontologieeinsatz im Kontext von Informations- oder Wissenssystemen, eine vierte zwischen agentenbasierten (MAS) und nicht-agentenbasierten Ontologiekontexten, und schließlich eine fünfte im Hinblick auf den Einsatz in virtuellen und physischen Welten bzw. damit verbunden zwischen Possibilismus und Aktualismus treffen. Damit ist gezeigt, dass die Ontologiezwecke offenbar *heterogen* sind.

Ad (ii) stellt sich damit die Frage, wie mit diesen heterogenen Ontologiezwecken umzugehen ist. Eine Entscheidung lässt sich auf Basis von zwei zusammenhängenden Gegensatzpaaren treffen: pluralistisches vs. einheitliches Ontologieverständnis sowie desintegrierte bzw. isolierte vs. integrierte Ontologiekonzeptionen. Auch diese Fragestellung lässt sich leicht auflösen, indem mit Verweis auf Pkt. 6.3 die *Superintelligenz* der dritten AI-Generation insofern intendiert ist, als der Ontologieeinsatz letztlich auf diese hinausläuft. Daraus folgt, dass die Ontologiekonzeption mindestens in einer Weise beschaffen sein muss, dass sie diese intendierte Superintelligenz nicht von vornherein ausschließt. Würde sie das tun, wäre die Ontologiekonzeption irgendwann obsolet und die mit hohem Aufwand entwickelten Ontologien nicht mehr sachgerecht einsetzbar. An allen unter (i) ge-

nannten fünf Differenzierungen wird deutlich, dass es jeweils um beides geht, also mit Blick auf CPSS und den IoX-Hyperspace *gleichzeitig* um virtuelle und physische Welten, um agentenbasierte und nicht-agentenbasierte Systeme, um die Integration von Informations- und Wissenssystemen, damit verbunden um die Integration von CM- und AI-Ansätzen bzw. den dazu verwendeten Ontologien, und schließlich auch um die Integration von wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien. Insofern ist offenbar eine integrierte Ontologiekonzeption zu fordern, was jedoch ein einheitliches Ontologieverständnis voraussetzt. Dieses muss insofern pluralistisch sein, als es gleichzeitig allen Ontologiezwecken zu entsprechen hat, womit Feyerabends (1975) modifiziertes Postulat des "anything goes" mit Leibnizens *Vielheit in der Einheit* einzulösen ist.

Wir drehen damit die philosophische Diskussion um: an Stelle der endlosen Debatten um das Für und Wider einzelner philosophischer Ansätze tritt die pragmatische Frage nach ihrer tatsächlichen Mächtigkeit. Wie Simons (2010c) zu Recht betont, müssen sich philosophische Ontologien bzw. Metaphysiken über kurz oder lang an ihrer Anwendung bewähren: Metaphysik bzw. philosophische Ontologien besitzen einen Universalitätsanspruch; sie implizieren bzw. sind *universale* Ontologien, die sich bei formaler Ontologie auch *universal* anwenden lassen müssen. D.h. sie müssen im Sinne Simons (2010c) ihre Durchschlagskraft gerade auch außerhalb des philosophischen Raums unter Beweis stellen. Die Philosophie hat die Ontologie nicht mehr exklusiv; Ontologie ist Kosmologie insofern, als sie sich auf den Kosmos zu beziehen hat, indem sie neben der Philosophie gleichzeitig in Wissenschaft, Technologie und Praxis Einsatz findet. Auch für die Praxis stellt sich vor dem Hintergrund Cyber-physischer Systeme (CPS) oder der Wissensrepräsentation realer Sachverhalte konkret die Frage, wie die fundamentalen Strukturen der Realität in der Wissensbasis abzubilden sind. Mit Blick auf Innovationen, Engineering Artefakte oder alternativen Steuerungsszenarien gilt gleiches in Bezug auf mögliche Welten. Insofern sind die Fragestellungen vom Gegenstand her keine anderen als jene der *Ersten Philosophie*; und selbst für den reinen Mögliche-Welten-Philosoph lässt sich dieser Sachverhalt nicht leugnen. Kosmologie ist im Sinne Poppers entsprechend ein einheitliches Unterfangen, und die Philosophie kann dabei im Sinne Minskys (1968c, 1997) durchaus von den Erkenntnissen der Informatik profitieren. Das Verhältnis zwischen AI-Disziplin und Philosophie ist somit kein monodirektionales.

Aus dem Gesagten folgt mit Verweis auf Pkt. 4.1, dass die sachgerechte philosophische Basis der *Top-level Ontologie*, die ebenso wie die Metaphysik einen universalen Anspruch besitzt, allein in einer Klasse-4-Metaphysik gegeben sein kann. Wesentlich ist die unter Pkt. 3.4 getroffene Feststellung, dass Ontologie immer als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu verstehen ist. Was heißt das konkret? Das heißt, dass Ontologie immer kategorial ist, und diese Kategorien aus der Metaphysik kommen. Anders gewendet bedeutet dies, dass sich kein Wissen über die Welt sinnvoll repräsentieren lässt, ohne die fundamentalen Strukturen der Welt zuvor verstanden zu haben. Oder: die kategoriale Strukturie-

nung des Wissens hat der kategorialen Struktur der repräsentierten Welt zu entsprechen. Es muss also eine Korrespondenz der fundamentalen Welt-, Semantik- bzw. Wissensstrukturen bestehen. Wenn dem so ist, bedeutet dies wiederum: Zurück zu den Sachen! Das erfordert zwei Grundnotwendigkeiten: (a) die Aufgabe des OLP-Paradigmas und ein Neuverstandnis der Sprachphilosophie, damit verbunden (b) die Aufgabe der analytischen Metaphysik möglicher Welten bzw. deren Neuverstandnis in Form ihrer Umwidmung in eine techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik, die ebenfalls mögliche Welten zulässt. Ad (a) ist das OLP-Paradigma, wonach die Sprache das Primäre, die damit erfassbare Welt letztlich das Sekundäre darstellt, genau umzukehren: erst die Welt, erst die Sachen in der Welt, dann die Sprache bzw. die Frage ihrer Repräsentation. Zwar gilt Wittgensteins (1921) Feststellung, dass die Grenzen der Sprache die Grenzen der Welt bestimmen; jedoch lässt sich der jeweilige Begrenztheitsgrad einer Sprache in seinem Sinne nur dann feststellen, wenn man das OLP-Paradigma umdreht: erst die Welt, dann die Sprache – was vor allem die kritische Auseinandersetzung mit der Frage einschließt, ob sich die jeweilige Welt überhaupt sinnvoll in das Korsett einer spezifischen Sprache bringen lässt. Das gilt umso mehr, als der Sprache mit Wittgenstein selbst ein Schema inhärent ist. So weist auch W. Sellars (1985) im expliziten Verweis auf Russell darauf hin, dass die normale Sprache an *Dingen* orientiert ist:

»Of course, one is tempted to say that *anything* is an object, a temptation which is reinforced by the fact that 'things are objects' looks like a tautology. But the barest acquaintance with scholastic thought should remind one that the *transcendental* 'anything' should not be confused with the compound expression 'any thing'. [...] Thus the perennial tradition contains the logical space for distinguishing among items which fall under the transcendental 'anything' between those which are objects or things, and those which are not. How such a distinction might be drawn will turn out to be the heart of the matter.«⁴⁰⁰⁷

Insofern muss es auch für W. Sellars gelten, die semantischen Relationen offenzulegen und den Bedeutungsgehalt zu reflektieren: »Otherwise we may find that we come to the problem of the ontology of predication with dirty hands«.⁴⁰⁰⁸ Analoges gilt im Übrigen mit Blick auf die Auswahl des Logikkalküls: die Feststellung, dass ein spezifischer Situations- oder Ereigniskalkül angezeigt ist, lässt sich erst vor dem Hintergrund der fundamentalen Struktur der Welt treffen. Ad (b) sind zunächst die fundamentalen Strukturen der aktuellen Welt zu klären, bevor man sich an die Analyse möglicher Welten macht. Mit Bunge geht es also zunächst darum, den unmittelbar *empirisch* zugänglichen Kosmos zu verstehen statt Metaphysik von vornherein im Zeichen analytischer Metaphysik auf alle denkbaren möglichen Welten zu beziehen. Vor allem aber verlangen *Scientific Ontologies* im Sinne des Kritischen Rationalismus eine gesondert behandelte aktuelle Welt. Denn das Procedere techno-wissenschaftlicher Metaphysik beginnt in den Erfahrungswissenschaften mit einer *empiristischen "Universalsynthese"*, die im Zeichen des *Ratio-Empirismus* der Klasse-4-Metaphysik zu gewinnen ist.

⁴⁰⁰⁷ W. Sellars (1985: 290), Hvh. im Orig.

⁴⁰⁰⁸ Vgl. W. Sellars (1985: 291), ohne Hvh. des Orig.

Kommen wir schließlich zur Frage, warum die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wie insgesamt die integrierte Ontologiekonzeption der Informatik an der Whiteheadschen Prozessmetaphysik festzumachen ist, wenn es eine Reihe prozessontologischer Alternativen gibt. Bei dieser Argumentation wird entlang der Nummern der oben in Abb. 34 nummerierten prozessontologischen Ansätze vorgegangen. Ad (1) ist in Bezug auf Leibniz auf dessen fundamentale Stellung hinzuweisen; Leibniz stellt das Ursprungsparadigma, Whitehead das um eine Reihe wesentlicher Aspekte ergänzte sowie das zur echten Prozessmetaphysik fundamental transformierte neue Paradigma der Informatik. Bei Leibnizens Monodologie als prozessualisierter Substanzmetaphysik liegen zwar die Ursprünge der Computer- bzw. Digitalmetaphysik mitsamt ihres metaphysischen Logizismus; diese werden jedoch erst auf Basis von Whiteheads Ereignisontologie richtig begründet. Ad (2) ist in Bezug auf Whitehead auf Pkt. 4.2 zu verweisen; es handelt sich um eine Komplexitäts- bzw. Prozessmetaphysik die auf Leibniz aufbauend die aristotelischen Substanzen grundsätzlich ablehnt und durch eine universale Ereigniskategorie ersetzt. Insofern allein diese Zentralkategorie tatsächlich universal ist, wie es dem Anspruch der Metaphysik entspricht, begründet die Whiteheadsche Prozessmetaphysik eine metaphysische Revolution, die in weiten Kreisen aus den verschiedensten Gründen bisher kaum registriert worden ist. In Whiteheads Metaphysik besteht die einzige Metaphysikvariante, die tatsächlich einen *techno-wissenschaftlichen* Ansatz wie gleichzeitig eine Computer- bzw. Digitalmetaphysik bildet. Sie ist Systemontologie, die eine fundamentale Perspektive auf komplexe Systeme eröffnet. Schon in dieser Hinsicht kommt die Informatik bei der Selektion einer für sie passenden Metaphysik zur Begründung aller fundamentalen AI-Fragen an Whitehead nicht vorbei. Es lassen sich sowohl in der Philosophie als auch in der Informatik Beispiele anführen, in denen ein Wechsel von der aristotelischen 3D-Perspektive hin zu der durch Whitehead begründeten 4D-Perspektive bereits vollzogen worden ist: das gilt mit Pkt. 5 für P.M. Simons in der Philosophie sowie für die GFO-TLO. Darin bestehen erste Indikatoren für den erforderlichen generellen Wandel, der unmittelbar auf die in Pkt. 8.4 abschließend thematisierte ontologische Revolution der Informatik hinausläuft. Denn Cyber-physische Systeme (CPS) werden die Ontologie in Philosophie wie Informatik zunehmend vereinfachen, wobei diese in den verschiedensten Zusammenhängen die Whiteheadsche 4D-Perspektive implizieren, wie es in Pkt. 6.2.5 näher erörtert wird.

Ad (3) ist gegen B. Russell einzuwenden, dass dieser keinen Ratio-Empirismus, sondern allein einen metaphysischen Rationalismus vollzieht. Darin kann – ungeachtet der herausgestellten Verdienste Russells für die fundamentalen Zwecke der Informatik – jedoch keine Grundlage für eine techno-wissenschaftliche Metaphysik bestehen, wie sie die Informatik benötigt. Ad (4) gilt analoges für Quine in Bezug auf das andere Ende des Ratio-Empirismus. Mit Verweis auf Pkt. 5.1 sind bei Quine einige Punkte zu bemängeln, nicht nur die oben erwähnte Gleichsetzung von Objekten und Ereignissen. Bei Quine fehlt offensichtlich der *Rationalismus* im Sinne einer allgemeinsten Theorie wie damit zusam-

menhangend die ontologischen Kategorien, die er durch seine mathematischen Kategorien nicht ersetzen kann. Wie in Pkt. 5.3 dargelegt, ist mit Bunge insgesamt in Frage zu stellen, inwieweit bei Quine mit dem fehlenden ontologischen Kategoriensystem bzw. hypothetischen System überhaupt von "Ontologie" gesprochen werden kann. Auch in Bezug auf die Meta-Ontologie bleibt bei Quine einiges offen, indem sie nicht metaphysisch begründet ist. Russells Rationalismus ist im *Ratio-Empirismus* genauso unentbehrlich wie Quines Empirismus; denn erst auf Basis von ersterem lässt sich letzterer transdisziplinär zu Ende denken. Ad (5) spricht gegen Davidson die Zugehörigkeit zum OLP-Paradigma, das mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 nicht den OE-Ansatzpunkt der Informatik bilden kann. In Bezug auf Objekte und Ereignisse sind die Sichtweisen ohnehin mit Whitehead identisch, lassen sich jedoch allein durch diesen metaphysisch begründen.

Ad (6) kommen wir auf den Quine-Schüler D.K. Lewis und seinen *Modalen Realismus* zu sprechen, den wir in Pkt. 4.1 als spezifische *Klasse-2P-Metaphysik* klassifiziert hatten. Wie Quine in der Whitehead-Tradition fordert auch Lewis, dass alle Entitäten als vierdimensionale Perduranten bzw. als Okkurrenten zu sehen sind. Insofern ist auch hier ein prozessontologischer Ansatz gegeben. Auf Teile davon bezieht sich die DOLCE-TLO in Bezug auf Universalien. Für die BORO 4D-Ontology gilt dies demgegenüber für die 4D-Stadientheorie, womit sie gleichzeitig *mögliche Welten* im Sinne der Gegenstücktheorie voraussetzt.^{4009, 4010} Das heißt allerdings nicht, dass damit Lewis' *Modaler Realismus* durch die BORO-TLO insgesamt akzeptiert wird, wenn diese mögliche Welten als "real" bzw. "aktuell" erachtet. Vielmehr besteht hier eine gewisse Skepsis, die jedoch mit Wests Verweis auf die aktuelle Quantenphysik und die in Pkt. 5.3 erwähnten Paralleluniversen Tegmarks (2003) keine strikte Zurückweisung bedeutet.⁴⁰¹¹ Diese Skepsis gegenüber dem *Modalen Realismus* ist in der Tradition der Modalontologie selbst gegeben.⁴⁰¹² Für eine Kurzkritik des *Modalen Realismus* nähert man sich Lewis am besten über Quine (vgl. Pkt. 5.1). Denn dann wird schnell deutlich, dass jenseits der übernommenen 4D-Position die elementaren Unterschiede nicht nur überwiegen, sondern es sich letztlich bei Quine und Lewis um zwei völlig inkompatible Ansätze handelt. Denn vieles, was Quine wichtig ist, findet sich bei Lewis in genauer Gegenposition. Ausgehend von Quine (1948) und seines Empirismus, Naturalismus und auch Realismus kommt bei ihm den besten naturwissenschaftlichen Theorien eine Schlüsselrolle zu, um zu erkennen, was es gibt. Naturalistische Theorien besitzen hier eine erklärende Funktion; Existenzfragen sind dabei immanent, also innerhalb des wissenschaftlichen Systems auf Basis der ontologischen Verpflichtungen solcher Theorien zu entscheiden.⁴⁰¹³ Ausgehend insbesondere von Quine entwickelt Lewis dessen Position zu seinem *Modalen Realismus* um das Moment der *Kontrafaktuale* weiter. Dabei

⁴⁰⁰⁹ Vgl. etwa M. West (2009, 2011: 113 ff.).

⁴⁰¹⁰ Auf die *4D-Stadientheorie* mitsamt der *Gegenstücktheorie* kommen wir weiter unten unter (12) mit Siders Prozessontologie zurück; während Sinn und Zweck möglicher Welten in Pkt. 6.2.4 erörtert wird.

⁴⁰¹¹ Vgl. M. West (2011: 115).

⁴⁰¹² Vgl. etwa Lycan (1979).

⁴⁰¹³ Vgl. auch Yablo (1998: 230).

geht Lewis einen Schritt, den Quine im Zeichen seines Empirismus, Naturalismus wie seines ontologischen Sparsamkeitsprinzips rigoros ablehnt, indem erster den für die Analytische Philosophie typischen kontrafaktischen Konditionalsätzen (counterfactual conditionals) *Realitätsstatus* einräumt. Lewis sieht seinen *Modalen Realismus* auch als explizite Gegenposition zu Quines "*ersatz worlds*",⁴⁰¹⁴ während Quine mit seinen genannten Positionen generell gegenüber *möglichen Welten* skeptisch eingestellt ist. Bei beiden handelt es sich um mathematisch geprägte Ontologien; bei Quine wird diese jedoch nominalistisch verstanden, bei Lewis hingegen platonistisch. Tatsächlich leiten sich die Argumente für den Modalen Realismus unmittelbar vom mathematischen Realismus bzw. Platonismus ab;⁴⁰¹⁵ dieser beansprucht nunmehr für alle Objekte modalen Status, worin ein offener ontologischer Trugschluss besteht. Auch die Positionen eines anderen Whitehead-Schülers, nämlich jene von Goodman, kehrt Lewis ins fragwürdige Gegenteil um. Während Goodman (1955) untersucht, inwiefern Kontrafaktuale helfen können, das Wesen der Naturgesetze zu klären, vertritt Lewis (1973) hingegen die Position, dass Naturgesetze gar nicht sakrosankt sein dürften. Vielmehr müsse man gegen sie verstoßen können. Ansonsten wäre die kleinste kontrafaktische Annahme als kleinste Änderung der Gegenwart nur vor dem Hintergrund einer anderen kausalen Geschichtlichkeit denkbar.

Zwar vertritt Lewis offiziell eine Naturalismusvariante; allerdings ist gerade im Vergleich mit Quine festzustellen, dass Lewis diesen in Wirklichkeit verleugnet; denn Lewis steht deutlich in Meinongscher Tradition.⁴⁰¹⁶ Die Verleugnung des Naturalismus betrifft zumindest jedes gängige Naturalismusverstandnis, wie es Armstrong (1997) propagiert. Schon für Armstrong (1978a: 261) gilt: »Naturalism I define as the doctrine that reality consists of nothing but a single all-embracing spatio-temporal system«. Lewis (1986b) und Armstrong (1997) vertreten jedoch vollkommen unterschiedliche Positionen bezüglich Naturalismus, möglichen Welten und Supervenienz.⁴⁰¹⁷ Kurz gesagt deckt sich der *Modale Realismus* von Lewis weder mit B. Smithens *Scientific Ontologies*, noch hat er irgendetwas mit dem notwendigen Ratio-Empirismus wie mit Poppers objektiven Wissen zu tun. Entsprechend rigoros wird Lewis' Position auch durch Metaphysiker wie Bunge oder Rescher abgelehnt; für Bunge ist Lewis' radikale Modalmetaphysik schlichtweg "absurd".⁴⁰¹⁸ Für die Kritiker gilt es als ausgemacht, dass die Metaphysik sich an der empirisch zugänglichen aktuellen Welt orientieren sollte. Dass Lewis in der Analytischen Philosophie die in Pkt. 5.5 erwähnte große Aufmerksamkeit zukommt, ist vielmehr sinnbildlich für die Desorientierung der gesamten Disziplin zu werten. Die Inkompatibilität der Lewisschen Positionen mit dem Naturalismus besitzt viele Facetten; eine davon besteht in Lewis' (1973) Konzept der Supervenienz. Mit diesem wird die Position Humes wieder aufgenommen,

⁴⁰¹⁴ Vgl. Lewis (1986b: 90 f.).

⁴⁰¹⁵ Vgl. etwa Mondadori/Morton (1979: 238).

⁴⁰¹⁶ Vgl. hierzu Lycan (1979).

⁴⁰¹⁷ Vgl. bzgl. der *Supervenienz* Johansson (2002).

⁴⁰¹⁸ Vgl. hierzu Bunge/Mahner (2004: 246 f.) sowie Rescher (2006: 231 ff.).

wonach es keine kausalen Verbindungen gibt. Im Zeichen der Humeschen Supervenienz-These führt das bei Lewis (2000) zur Konsequenz, dass kein Ereignis ein anderes Ereignis hervorbringen kann. Das ist nicht nur für die Naturwissenschaften unhaltbar; vielmehr ist Lewis' Konzept der *Supervenienz* mit Johansson (2002, 2006) damit gerade für die Zwecke der Informatik ungeeignet.⁴⁰¹⁹ Insgesamt ist mit McCarthy (1995: 2042) festzustellen, dass *mögliche Welten* weder vom Typ Stalnaker (abstrakte mögliche Welten) noch vom Typ Lewis (konkrete mögliche Welten) für AI-Zwecke zielführend sind.⁴⁰²⁰ Indem damit beide in Pkt. 3.1 erwähnte Strömungen *modaler Ontologie* (modal ontology) betroffen sind, ist klar, dass dies mit der modalen Ontologie als Kern der analytischen Metaphysik insgesamt auf eine grundsätzliche Ablehnung ebendieser hinausläuft. Das deckt sich mit der in Pkt. 5.5 vorgebrachten scharfen Kritik bei Mulligan/Simons/Smith (2006) bzw. Simons (2010c) an der Analytischen Philosophie.

Ad (7) geht es bei Hayes um eine 4D-Perspektive im Zuge linguistischer *Common Sense-Ontologien*, die sich explizit auf den Grundlagen von Whitehead und Quine begründet. Vor diesem Hintergrund vertreten offenbar McCarthy/Hayes (1969) nicht irgendeine *metaphysische* Position, sondern es handelt sich dabei bereits offenbar gedanklich dezidiert um die Whitehead-Quinesche *4D-Ontologie*. Das gilt mit Hayes (1985b: 24), wenn *Events* hier als »four-dimensional spatio-temporal entities« verstanden werden, während Hayes et al. (2002: 13) explizit auf Whitehead rekurren. Demgegenüber bezieht sich McCarthy (2000) explizit auf Quine, dessen ontologische 4D-Position im Grundsatz von seinem Doktorvater Whitehead stammt. Insofern wird deutlich, dass die Position Hayes' keine generische ist, sondern dass es sich vielmehr um einen auf Whitehead rekurrenden Ansatz handelt, der diesen normalsprachlich zu vereinfachen sucht. Allerdings steht dies vom Grundsatz her im Widerspruch zu Whiteheads zentraler Abneigung gegenüber jeder sprachphilosophischen bzw. linguistischen Position. Darüber hinaus sollte die metaphysische Basis von IoX-Systemen bzw. der Informatik im Allgemeinen nicht in Derivaten, sondern im Original gesucht werden, also bei Whitehead (1929a) selbst. Das gilt mit Verweis auf Whiteheads *Ratio-Empirismus* revisionärer Metaphysik auch im Hinblick auf Poppers Votum für objektives Wissen, nämlich insofern, als *Heavyweight-Ontologien* mit Pkt. 3.2.3 bei kritischen U-PLM-Prozessen nicht auf solchem Alltagswissen aufbauen können. Analoges gilt für die *Semantic E-Science*; hier ist wissenschaftlich objektiviertes Wissen nicht nur Mittel, sondern auch Ziel, dessen Superiorität gegenüber dem Alltagswissen mit Popper (1972a) außer Zweifel steht. Insofern ist evident, dass sich eine universale Ontologiekonzeption nicht an den prozessontologischen Ausführungen bei Hayes halten kann. Wenn die *4D Upper Ontology* in Russell/Norvigs (2010: 438) AI-Standardwerk als TLO-Ansatz in direkter Weise auf Hayes (1985a) aufbaut bzw. an der nachfolgend behandelten *Qualitative Process Theory* festmacht die wiederum maßgeblich an Hayes' (1979,

⁴⁰¹⁹ Vgl. dazu exemplarisch Manzotti (2003).

⁴⁰²⁰ Kontrafaktisches ist für McCarthy (1995) insofern notwendig, als es dem Lernen von AI-Systemen zuträglich ist; die AI-Tradition solle sich indessen allein auf *nützliches* Kontrafaktisches beschränken.

1985a, 1985b) *Naive Physics* orientiert ist, sind die metaphysischen Fundamente dargelegt. Sie liegen auch in diesem Fall mit Pkt. 4.2 faktisch bei Whitehead. Dass mit Norvig (Google) und Sowa (IBM Research) praxisorientierte AI-Forscher Whiteheads 4D-basierte Metaphysik favorisieren, sollte die Ontologieforschung der Informatik zumindest zur Kenntnis nehmen. Doch kann sie ihre Grundlagen weder bei Hayes noch bei Russell/Norvig suchen, weil hier weder die Kategorien noch die meta-ontologischen Spezifikationen begründet werden. Die Informatik muss auch in dieser Sache zurück zu Whitehead.

Ad (8) baut die *Qualitative Process Theory* von Forbus/Davis elementar auf der *Naive Physics* von Hayes (1979) auf; insofern könnte man es mit dem Hinweis auf die Unhaltbarkeit von dessen Position bewenden lassen. Denn mit den ad (7) vorgetragenen Argumenten ist klar, dass auch dieser prozessontologische Ansatz nicht zur universalen Fundierung einer integrierten Ontologiekonzeption herangezogen werden kann. Allerdings ist diese Feststellung mit Blick auf die Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter zu relativieren, indem Russell/Norvigs (2010) *4D Upper Ontology* ihre Fundierung neben Hayes gerade auch in der *Qualitative Process Theory* von Forbus/Davis sucht. Insofern ist sie mit Blick auf die IoX-adäquate TLO-Anforderungsspezifikation im siebten Teil kurz zu reflektieren: Die Idee, die AI-Wissensrepräsentation mit Pkt. 6.1.1 nicht an einer Objekt-, Ding- oder Substanzontologie auszurichten, sondern *prozessontologisch* zu fassen, ist mit der *Qualitative Process Theory* von Forbus (1984) mehr als dreißig Jahre alt. Diese Prozesstheorie, die durch E. Davis (1992) axiomatisiert wurde, sucht explizit Prozesse in die Ontologie der *Naive Physics* von Hayes (1979) einzuführen,⁴⁰²¹ die auf eine Formalisierung des physikalischen Alltagswissens zielt. Dem Umstand entsprechend, dass es nicht um wissenschaftliche Physik geht, baut die *Qualitative Process Theory* auch nicht auf der Whiteheadschen Prozessontologie auf. In Pkt. 3.2.3 wurde in Kritik der *Naive Physics* dargelegt, dass sich diese letztlich allein auf Basis objektiven physikalischen Wissens entwickeln lässt, insofern sie nicht zu diesem im Widerspruch stehen kann,⁴⁰²² entsprechend kann es sich allein um eine Vereinfachung, nicht aber um etwas davon Unabhängiges handeln, wenn der Erfahrungs- bzw. Objektbereich identisch ist.⁴⁰²³ Mit Verweis auf die Ausfuhungen in Pkt. 6.1.1 steht außer Frage, dass die *Qualitative Process Theory* in ihrer konsequenten Prozessorientierung der AI-Wissensrepräsentation auf den ersten Blick in die richtige Richtung weist. In ihrem Prozessmodell berücksichtigt sie, dass in der Ontologie der *Naive Physics* zur AI-Wissensrepräsentation physikalischen Alltagswissens *Wandel* durch Prozesse, Ereignisse, Aktionen sowie indirekten Einflüssen zwischen Parametern verursacht wird.⁴⁰²⁴ Somit handelt es sich hierbei in gewisser Weise um einen Vorläufer des postklassischen AI-Verständnisses, insofern für die Objekte des Diskursuniversums *prozessualer Wandel* unterstellt wird. Das ist nicht nur in technologischer, sondern

⁴⁰²¹ Vgl. hierzu Hayes (1985a, 1985b).

⁴⁰²² Vgl. zu einer solchen Widersprüchlichkeit exemplarisch Galton (2007).

⁴⁰²³ Vgl. hierzu Fn. 1650.

⁴⁰²⁴ Vgl. E. Davis (2008: 601).

auch in wissenschaftlicher Hinsicht unabdingbar, wenn mit Prigogine (1977: 25) zu postulieren ist: »Wir müssen zu einer Wissenschaft gelangen, die auf Wandel und Veränderung ausgerichtet ist«. Darüber hinaus gilt, dass *Prozesse* eine eigene Kategorie bilden: »In process ontologies, processes are treated as a distinct category of entity from the other kinds of objects in the world«. ⁴⁰²⁵ Dabei steht auch hier insgesamt außer Frage, dass zur Kritikabilität eines solchen Ansatzes sämtliche meta-ontologische Fragen zu klären sind, die sich allein auf Basis einer geschlossenen Prozessmetaphysik klären lassen. Dies gilt für zahlreiche Aspekte, etwa in der Hinsicht, dass Kausalität in der *Qualitative Process Theory* explizit auf *Ontologie* gründen soll, ⁴⁰²⁶ was offensichtlich ein metaphysisches Ontologieverständnis voraussetzt. Analoges gilt nicht zuletzt mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 für die Frage *Endurantismus vs. Perdurantismus*, wenn E. Davis (2008: 601) feststellt: »A process is active over a time interval«, und dabei gilt: »KR physical reasoning almost always divides space, time, or space–time into physically significant intervals/regions/histories bounded by significant events/boundaries«. ⁴⁰²⁷ Jenseits der bereits in Pkt. 3.2.3 erwähnten Defekte der natürlichen Sprache, die auch für E. Davis (1990: 14 ff.) außer Frage stehen, ist selbst vereinfachtes physikalisches Alltagswissen nur dann von Nutzen, wenn es mit anderen Wissensgebieten kombinierbar ist. Das zielt insbesondere auf andere naturwissenschaftliche Domänen, aber gilt auch insgesamt, etwa im Hinblick auf seine Nutzbarmachung für einfachste Fragen im Bereich des Ingenieurwesens. Neben der erforderlichen Klärung meta-ontologischer Aspekte stellt sich somit auch hier das Transdisziplinaritätsproblem, womit deutlich wird, dass auch solche vereinfachten Wissensbasen auf die *Top-level Ontologie* zu referenzieren haben. Vor allem aber ist das vereinfachende physikalische Wissen im Hinblick auf die Cyber-physischen Systeme (CPS) der Informatik auf die *Cyber-Physik* zu beziehen, die allein mit der *"New Physics"* konform geht. Umgekehrt betrachtet kann das vereinfachende physikalische Wissen allein systematisch von der *"New Physics"* abgeleitet werden, damit eine ontologische Konsistenz gewährleistet werden kann: Alles in der Informatik hat unter ontologischen bzw. semantischen Integrationsgesichtspunkten auf Transdisziplinarität zu zielen und insofern *Scientific Ontologies* im Popperschen Sinne Priorität zukommt, ist alles von einer einheitlichen Grundlegung, von einer ratio-empirischen wie cyber-physischen Kosmologie zu entwickeln. Diese ist im ganzen Spektrum philosophischer Ansätze allein bei Whitehead (1929a) und nirgends anders gegeben. Als *Metaphysik der Informatik* wie in ihrer TLO-bezogenen Transformation via CYPO/IMKO ist sie dabei in CM- wie in AI/KR-Hinsicht prozessontologische Grundlegung sämtlicher Disziplinen, in Wissenschaft, Technologie und Praxis. Denn alle Disziplinen bauen mit dem CPST- bzw. IoX-Hyperspace in diesen CM- resp. AI/KR-Hinsichten auf den ontologischen Grundlagen der Informatik auf. Insofern ist eine von der Whiteheadschen *Cyber-Physik* als *"New Physics"* isolierte Konzeption der *Qualitative Process Theory* von For-

⁴⁰²⁵ Vgl. Forbus (2008: 373).

⁴⁰²⁶ Vgl. Forbus (1993: 118).

⁴⁰²⁷ Vgl. E. Davis (2008: 601, 598), Hvh. im Orig.

bus/Davis für die Informatik in keiner Weise wegweisend, sondern verschärft vielmehr unnötiger Weise die große Konfusion in ihrer Ontologiedebatte.

Ad (9) Rescher (1996, 2000b) hat auf Basis seines "*Pragmatic Idealism*" als begrifflichem Idealismus einen eigenen Ansatz zur *Prozessmetaphysik* entwickelt. Dieser ist zwar in maßgeblichen Details verschieden vom Whiteheadschen, allerdings markiert dieser für Rescher mindestens den zentralen Ausgangspunkt seiner prozessontologischen Überlegungen. Auch wenn keine *Top-level Ontologie* auf Rescher rekurriert, sollte sein Ansatz insofern berücksichtigt werden, als dieser die gewichtigste jüngere Prozessmetaphysik darstellt und somit mindestens unterstützend zum prozessontologischen Verständnis der *Top-level Ontologie* beitragen kann. Das gilt auch insofern, als bei M. Weber (2004) und nachfolgenden Beiträgen kritisch evaluiert wird, inwiefern Reschers Prozessmetaphysik gegenüber der Whiteheadschen Prozessmetaphysik den Anspruch einer neuen Weltauffassung begründen kann. Tatsächlich teilt Rescher die zentralen Themen Whiteheads; ihm geht es nicht nur um *Prozesse*,⁴⁰²⁸ sondern auch um das damit zusammenhängende Moment der *Komplexität*;⁴⁰²⁹ Rescher folgt Whiteheads kritischem Realismus genauso wie dessen metaphysischen Realismus und teilt Whiteheads idealistische Position. Letztere führt dazu, dass beide Prozessmetaphysiken dem Bungeschen Materialismus entgegenstehen, weshalb sie auch beide durch Bunge angegriffen werden bzw. die Position Bunges umgekehrt durch Rescher abgelehnt wird.⁴⁰³⁰ Doch handelt es sich bei dem Idealismus Whiteheads und Reschers um zwei völlig andere Konzeptionen, worin sich schließlich die maßgeblichen Unterschiede zwischen beiden Ansätzen begründen. Bei Whitehead ist das idealistische Moment in Form seines Antimaterialismus Teil seines Realismus; es ist Teil der Natur. In dieser Sache geht auch das Physikverständnis C.F. von Weizsäckers mit Whitehead konform. Bei Rescher zeigt es sich jedoch in vollkommen anderer Gestalt, nämlich als *begrifflicher Idealismus* (Conceptual Idealism),⁴⁰³¹ der durch Rescher auch als *Pragmatic Idealism* bezeichnet wird.⁴⁰³² Dieser besitzt in methodischer Hinsicht eine Nähe zur Analytischen Philosophie, auch wenn Rescher an dieser im sonstigen Kritik übt. Seinen Idealismus rechtfertigt Rescher (1995b) vor allem damit, dass die Realitatsvorstellung menschlicher Subjekte geistig konstruiert ist:

»Perhaps the strongest argument favouring idealism is that any characterization of the real that we can devise is bound to be a mind-constructed one: our only access to information about the real is through the mediation of mind. Clearly, our only information about reality is via the operations of mind - our only cognitive access to reality is through the mediation of mind-devised models of it. What seems right about idealism is inherent in the fact that, in investigating the real, we are clearly constrained to use our own concepts to address our own issues; we can only learn about the real in our own terms of reference, so that any view of reality we can obtain is the view of a reality shaped by the operations of mind. But what seems right about realism is that the answers to the questions we put to the real are provided by reality itself - whatever the answers may be, they are as they are

⁴⁰²⁸ Vgl. Rescher (1962, 1992, 1995c, 1996, 1999b, 2000b).

⁴⁰²⁹ Vgl. Rescher (1998, 2007).

⁴⁰³⁰ Vgl. etwa Rescher (1996: 33).

⁴⁰³¹ Vgl. hierzu Rescher (1973a, 1991a).

⁴⁰³² Vgl. Rescher (1994).

rather than otherwise because it is - ultimately - reality that determines them to be that way. Mind proposes but reality disposes.«⁴⁰³³

Bei dieser idealistischen Position ist zu beachten, dass Rescher (1997) den traditionellen Formen des Idealismus gerade ablehnend gegenübersteht. In fundamentaler Hinsicht vertritt Rescher keinen Idealismus, sondern – wie Whitehead – einen Realismus. Sein *begrifflicher Idealismus* ist vielmehr im Zusammenhang mit den Prozessen der Theoriebildung und damit mit den *Erkenntnisprozessen* als solchen zu sehen. Es geht also nicht etwa um einen ontologischen Idealismus, sondern vielmehr um einen *epistemologischen Idealismus*.⁴⁰³⁴ Mit dem Idealismus Berkeleys (1710) hat Rescher also nicht das Geringste zu tun; dafür mit jenem Kants (1781) umso mehr. Rescher kombiniert also einen ontologischen Realismus mit einem epistemologischen Idealismus; allerdings gilt letzterer auch nur eingeschränkt. Denn Rescher setzt insgesamt einen metaphysischen Realismus voraus, der nicht nur ein ontologischer Realismus in dem Sinne ist, dass eine objektive, *geistunabhangige* Außenwelt existiert, sondern auch einen epistemologischen Realismus insofern, als für ihn außer Frage steht, dass diese erkennbar ist. Die systematische Generierung von Wissen über diese Außenwelt ist also mit Pkt. 6.2.6 möglich. Somit wird klarer, auf welche Belange der epistemologische Idealismus zielt, nämlich, dass jede Erfahrung der Realität prinzipiell *geistabhängig* ist, indem es die Erkenntnisprozesse als solche sind. Analoges gilt entsprechend für den Wissenschaftsprozess als solchen.⁴⁰³⁵ In genau diesem Sinne ist Reschers konzeptuellem Idealismus auch ein konstruktivistisches Moment inhärent.⁴⁰³⁶ Insofern muss Reschers Ansatz insgesamt zuvorderst als "*process epistemology*" verstanden werden,⁴⁰³⁷ die auf einer Prozessmetaphysik gründet. Diese ist bei Rescher in fundamentaler Hinsicht mit jener Whiteheads identisch, wenn Rescher (1996) *Prozesse* im Zeichen von *Ereignissen* auffasst:

»A process is a coordinated group of changes in the complexion of reality, an organized family of occurrences that are systematically linked to one another either causally or functionally. It is emphatically not necessarily a change in or of an individual thing, but can simply relate to some aspect of the general 'condition of things.' A process consists in an integrated series of connected developments unfolding in conjoint coordination in line with a definite program. Processes are correlated with occurrences or events: Processes always involve various events, and events exist only in and through processes.«⁴⁰³⁸

Insofern verwundert es nicht, wenn M. Weber (2008: 431) von einem "*process ontological commitment*" (Whitehead) *versus* einem "*process epistemological commitment*" (Rescher) spricht. Natürlich finden sich erkenntnistheoretische Aspekte auch bei Whitehead; allerdings gehen sie bei Rescher als *Evolutionary Epistemology* mehr in die Tiefe.⁴⁰³⁹ Indessen erscheint es mit Verweis auf das *Complex Event Processing* (CEP) für die Zwecke der Informatik wie auch im wissenschaftlichen Kontext etwa der Quantentheorie sinn-

⁴⁰³³ Rescher (1995b: 229).

⁴⁰³⁴ Vgl. auch Marsonet (1994: 148 ff.).

⁴⁰³⁵ Vgl. hierzu Rescher (1991b).

⁴⁰³⁶ Vgl. auch Rockmore (2008: 294 ff.).

⁴⁰³⁷ Vgl. hierzu Rescher (1996: 123 ff., 139 ff.).

⁴⁰³⁸ Rescher (1996: 38); vgl. hierzu auch die Prozessdefinition bei Rescher (2000b: 24).

⁴⁰³⁹ Vgl. hierzu Rescher (1996: 123 ff.); vgl. hierzu ergänzend Mosterın (2008).

voller, mit Whitehead die *Ereigniskategorie*, nicht die damit zusammenhängende globalere Prozesskategorie in das Zentrum zu rücken. Dessen ungeachtet teilt Rescher in genauer Gegenposition zu Bunge und allen neo-aristotelischen bzw. linguistischen "Furniture-Ontologien" die fundamentale Perspektive Whiteheads, wenn er konstatiert, »that the items we categorize as 'things' (as ordinarily understood) are more instructively and adequately understood as instantiations of certain sorts of process or process-complexes«. ⁴⁰⁴⁰ Vor diesem Hintergrund bricht auch Rescher (1996) mit der aristotelischen Substanzmetaphysik. Entsprechend stellt er den zehn Kategorien des Aristoteles zehn prozessphilosophische Kategorien gegenüber. Das findet sich ähnlich bereits bei Reck (1975: 65 ff.), der ebenfalls zehn solcher prozessphilosophischer Kategorien identifiziert. Mit zentralen Kategorien wie *Prozess*, *Relation*, *Kreativität* oder *situativen Determinanten* steht dabei außer Frage, dass diese letztlich auf das Whiteheadsche (1929a) Kategoriensystem zurückgehen:

Aristotle's Categories	Process Categories
Substance	Process
Quantity	Quantitative Features
Quality	Topicality (Thematic Nature)
Relation	Relationships (Interconnections)
Place/Space and Time	Spatiotemporal Location
State	(Inner) Condition/Structure, Order, Situation
Action and Affection	Force, Energy, Change, Power; Causal Antecedence and Consequence
Possession	Accompaniments ("Social Order")

Abb. 35:⁴⁰⁴¹ Zehn Kategorien des Aristoteles vs. Reschers Prozesskategorien

Die primäre Kategorie bilden also bei Rescher wie bei Whitehead *Prozesse* bzw. *Ereignisse*, und keine Dinge, Objekte oder Substanzen, wie es im Zuge der "Furniture-Ontologien" verfolgt wird. Das Whiteheadsche System bietet gegenüber jenem Reschers auch den Vorteil, dass die Kategorien bei Whitehead neben den fundamentalen *Ereignissen* eine gesonderte Abgrenzung wie mereologische Behandlung von *Objekten* vorsieht; diese spielen in den Kategorien von Rescher jedoch keine Rolle.⁴⁰⁴² Wie erwähnt, sind Objekte bei Whitehead in Ereignissen situiert und werden durch diese konstituiert. Insofern lässt sich sagen, dass Rescher in fundamentaler Hinsicht gegenüber Whitehead nicht nur nichts Neues bringt, da die Natur bei ihm genauso prozessual konzipiert wird. Vielmehr handelt es sich in mancher Hinsicht um einen Rückschritt, insbesondere mit Blick auf die notwendige Kompatibilität zwischen universaler Ontologie und den regionalen Ontologien, die allen voran den wissenschaftlichen Erfordernissen gerecht zu werden haben. Somit ist klar, dass Rescher letztlich in dieser Sache auf Whitehead mindestens insofern aufbauen muss, als er selbst nicht auf die physikalische Ebene der Relativitätstheorie bzw. Quantentheorie heruntergeht, und auf dieser Basis den *Ratio-Empirismus* vollzieht.

⁴⁰⁴⁰ Vgl. Rescher (1996: 33).

⁴⁰⁴¹ Quelle: Rescher (1996: 36).

⁴⁰⁴² Vgl. hierzu auch M. Weber (2008: 436 f.).

Rescher bietet selbst keinen *Ratio-Empirismus*, kein revisionär-spekulatives System, das ausgehend von einer empiristischen Universalsynthese zu einem universalen prozessualen Kategoriensystem gelangt. Die Prozesskategorien bei Rescher sind vielmehr die Whiteheadschen, mit dem Unterschied, dass die Zentralkategorie nicht in Ereignissen, sondern in Prozessen besteht. Doch geht, wie oben erwähnt, dieser Punkt an Whitehead, indem in einer partikulären Ontologie der Fokus im CEP-Sinne der Informatik auf den einzelnen Sachverhalt, auf das einzelne Ereignis zu richten ist, auch wenn dieses immer in den Prozesskontext von *Event Streams* eingebettet ist. Der damit zusammenhängende Fundamentalunterschied zwischen beiden liegt darin, dass für Whitehead das logico-mathematische Universum im platonischen Sinne "real" ist, seine Metaphysik insofern eine platonistische ist. Reschers (1994) "*Pragmatic Idealism*" verkörpert in dieser Sache jedoch etwas anderes, nämlich einen Konzeptualismus. Würde man diesen allerdings isoliert betrachten, käme Reschers Konzeptualismus ohne das Whiteheadsche System nicht weit, indem es die Kategorien in ihrer Eigenschaft als *universalontologische* Kategorien selbst nicht begründen könnte. Denn diese basieren auf der fundamentalen Hypothese eines logico-mathematischen Universums, ohne die eine Computer- bzw. Digitalmetaphysik nicht zu machen ist.

Somit kommen wir zur Kritik von Reschers philosophischem System, die hier allein auf die Frage zielt, ob sich eine prozessontologische Konzeption der *Top-level Ontologie* an der Prozessmetaphysik Whiteheads oder an jener Reschers orientieren sollte. Zunächst ist festzustellen, dass Reschers Ansatz jenem Whiteheads in keiner Weise ersetzen kann, als Rescher keinen systematischen *Ratio-Empirismus* betreibt; Rescher sucht also nicht in den erfahrungswissenschaftlichen Schlüsseltheorien nach einer empiristischen Universalsynthese, um auf dieser in rationaler Reflexion universale Kategorien zu begründen. Insofern sind Whitehead (1929a) und Bunge (1977a) anders akzentuiert als Rescher (1996, 2000b). Bei den beiden ersten handelt es sich nämlich um revisionäre *Metaphysiken*. Nicht so bei Rescher; denn bei ihm geht es ohne Zweifel um *deskriptive Metaphysik*;⁴⁰⁴³ Rescher kommt nicht über eine Klasse-2A-Metaphysik hinaus. Darin besteht ein entscheidender Schwachpunkt seiner Prozessmetaphysik. Damit zusammenhängend steht außer Frage, dass die Prozess- bzw. Komplexitätsgesichtspunkte in fundamentaler Hinsicht durch Whitehead (1929a) und nicht etwa durch Rescher (1996) begründet werden. Insofern wäre es im Hinblick auf die oben mit M. Weber (2004) aufgeworfene Evaluierungsfrage vermessen, Reschers Prozessmetaphysik den Rang eines neuen Paradigmas einräumen zu wollen bzw. sie annähernd auf eine Stufe mit der Whiteheadschen zu stellen. Vielmehr sollte man sie in revisionärer Neuinterpretation als nützliche Ergänzung sehen, die jedoch substantiell nichts Neues bringt. Denn der kritische Realismus ist dem Whiteheadschen Werk genauso inhärent wie etwa partiell ein konzeptueller Idealismus oder ein begrenzter Rationalismus. Reschers Verdienst ist es jedoch, die Aspekte insbesondere um eine evolutionäre Epistemologie gesondert herauszuarbeiten. Diese Aspekte lassen sich zusammen mit H.A. Simons

⁴⁰⁴³ Vgl. auch Jaworski (2008: 148).

Rationalitatskonzeption wie mit Poppers Kritischen Rationalismus zu einer neuen, am Whiteheadschen *Subjekt-Superjekt* festmachenden prozessmetaphysischen Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie vereinen.

Rescher weist zwar an verschiedenen Stellen zu Recht darauf hin, dass die Prozessphilosophie mehr ist als die Doktrin eines einzelnen Denkers, und tatsächlich reicht sie über Leibniz bis auf Heraklit zurück. Allerdings ist andererseits festzustellen, dass mit Whiteheads (1929a) Klasse-4-Metaphysik eine völlig neue Form von Metaphysik begründet wird, indem erstmals bei ihm die Substanzkategorie rigoros durch die Ereigniskategorie ersetzt wird. Die Metaphysik wird vollends auf die logico-mathematische Basis der *Principia Mathematica* gestellt, und es wird erstmals systematisch ein Ratio-Empirismus, ein echtes Wechselspiel zwischen Metaphysik und Wissenschaft betrieben. Das Ergebnis besteht in einer Umformung der gesamten traditionellen Metaphysik in eine im Sinne des mathematischen Strukturalismus konzipierte techno-wissenschaftliche Ereignis-, Komplexitäts- und Digitalmetaphysik. Diese ist nicht nur mit der modernen Naturwissenschaft, insbesondere mit der *dritten Revolution der Physik* kompatibel, sondern nimmt in einer komplexitäts-, emergenz- wie evolutionsorientierten organismischen Umformung des Leibnizschen Automatenuniversums auch die zentrale *Theorie zellulärer Automaten* in grundlegender Hinsicht vorweg. Indem die Metaphysik den Anspruch auf universale Geltung erhebt, ist Whiteheads Metaphysik die universellste von allen, indem sie mit weitem Abstand eine besondere, exorbitante Integrationskraft besitzt, die gerade für die Integrationszwecke der Informatik unabdingbar ist.

Mit Pkt. 4.2 ist Whitehead in seiner Begründung einer vollständig neuen Weltauffassung in einem Atemzug zu nennen mit Platon, Aristoteles, Leibniz und Kant, und zwar deshalb, als er als fünftes Element in dieser Reihe alle vorgenannten Positionen zu einer Synthese vereint. Dieser Rang gebührt ihm umso mehr, als es sich dabei keineswegs allein um eine metaphysische Synthese handelt. ber diese geht Whitehead weit hinaus, indem seine Kosmologie auch die ratio-empirische Synthese aller Wissenschaften, d.h. aller Erfahrungs- und Formalwissenschaften über einen universalen Strukturalismus vollzieht. Es handelt sich also um die universale Synthese schlechthin, was mit Pkt. 4.2 bisher allenfalls vereinzelt registriert wird. Ohne die Leistungen Dritter diskreditieren zu wollen, gebührt der Whiteheadschen Prozessmetaphysik damit ein vollständig anderer Rang als etwa dem metaphysischen Werk Bunges bzw. Reschers oder der Prozesstheorie W. Sellars'. Insofern steht außer Frage, dass sich die Debatte um die prozessontologisch zu konzipierende *Top-level Ontologie* zunächst an das Ursprungswerk halten sollte, zumal sich eine Digitalmetaphysik weder auf Bunges Materialismus, Reschers Konzeptualismus noch auf W. Sellars' Nominalismus sachgerecht begründen lässt. Es geht um mehr, um die Whiteheadsche Cyber-Physik. Zuses (1982) *Computing Universe* setzt entsprechend voraus, dass das Universum als solches ein logico-mathematisches ist. Darauf bauen moderne Ansätze der Komplexitätsforschung wie etwa jener von S. Lloyd (1997, 2012) genauso auf. Dennoch bietet

die Prozessmetaphysik Reschers gerade im Hinblick auf die Fragen einer *prozessualen Epistemologie* interessante Einblicke. Allerdings kann dies dann weder im reinen Sinne des Konzeptualismus noch im Zeichen der Analytischen Philosophie verstanden werden, wie es Reschers *begrifflicher Idealismus* impliziert. Denn das würde letztlich wiederum im sprachphilosophischen Zugang zur Metaphysik münden, wie er bei Reschers Schülerin Seibt im Rekurs auf W. Sellars offensichtlich wird, und diesen Zugang lehnt Whitehead gerade zu Recht ab.⁴⁰⁴⁴ Dennoch gilt: Während Lewis (1986b) den Bogen der Prozessmetaphysik zur Analytischen Philosophie als Klasse-2P-Metaphysik spannt, eröffnet Rescher (1996) sie als Klasse-2A-Metaphysik.

Wie alle anderen prozessontologischen Ansätze ist auch Reschers Ansatz zweifellos insofern von Relevanz, um sich kritisch mit dem Whiteheadschen System auseinanderzusetzen, dieses auf etwaige Schwächen abzuklopfen und es bei Bedarf weiterzuentwickeln. Doch zunächst einmal ist das Whiteheadsche System an sich zu verstehen – wie weiter unten deutlich wird, besteht dabei selbst bei Rescher als ausgewiesener Prozessmetaphysiker Nachholbedarf. Indessen zeigt sich Reschers Nähe zur Analytischen Philosophie nicht nur mit Blick auf seinen *begrifflichen Idealismus* als solchen, sondern auch konkret bei seiner *Prozess-Semantik*.⁴⁰⁴⁵ Diese gründet auf der Kritik der logischen Ansätze von Russell, Tarski und Quine.⁴⁰⁴⁶ Rescher (1996) sucht seine Prozess-Semantik ausgehend vom Problem nicht-existierender Entitäten zu entwickeln: »How can there possibly be a namable, identifiable, discussible individual – such as the winged horse Pegasus – that does not actually exist?«. ⁴⁰⁴⁷ Mit Verweis auf mentale W2-Objekte (z.B. W2F) irrt Rescher selbstverständlich, wenn er dabei voraussetzt: »To talk about something is surely somehow to claim its reality«. ⁴⁰⁴⁸ Poli (2004) hat Reschers *Prozess-Semantik* zu Recht dahingehend kritisiert, dass sie nicht nur versäumt zu erklären, warum im Problem nicht-existierender Entitäten ihr sachgerechter Ausgangspunkt bestehen soll; vielmehr löse Reschers Ansatz auch nicht ihre spezifischen Probleme. In der Tat ist eine Prozess-Semantik genuin auf die 4D-Perspektive der Prozessmetaphysik auszulegen sowie auf den Umstand, dass die Prozessontologie in einem emergentistischen Universum im Sinne N. Hartmanns (1940) auf eine emergentistische Mehrebenenontologie hinausläuft. Mit Verweis auf Pkt. 6.2.7 baut Poli entsprechend auf N. Hartmanns (1940) Schichtenontologie auf, der mit der Popperschen *Drei-Welten-Lehre* korrespondiert.

Dass Reschers *begrifflicher Idealismus* weder ein sachgerechtes Realitäts- noch ein sachgerechtes Semantikverständnis begründen kann, zeigt sich im Kontext Cyber-physischer Systeme (CPS). Im Zeichen der Digitalmetaphysik ist als *primärer* Ansatzpunkt zu fordern: Bits vor Begriffen; Syntax vor Semantik. Denn die Semantik einer CPSS-adaqu-

⁴⁰⁴⁴ Whitehead misst der sprachlichen Analyse keinen Wert zu; er lehnt sie aufgrund epistemologischer Erwägungen gar rundweg ab, vgl. etwa Whitehead (1929a: 11 f., 137, 157 ff.).

⁴⁰⁴⁵ Vgl. hierzu Rescher (1996: 175 ff.).

⁴⁰⁴⁶ Vgl. *ibid.*

⁴⁰⁴⁷ Vgl. Rescher (1996: 175 f.).

⁴⁰⁴⁸ Vgl. Rescher (1996: 176).

ten Ontologie muss im Sinne von Morse, Whitehead oder des Logischen Atomismus Wittgensteins bei informatorischen Bits und Bytes beginnen, und nicht bei den Begriffen selbst. Denn im *Informationsgehalt* eines Bits besteht auch die kleinste Alternative im *Bedeutungsgehalt*. Indem für die Computer- und Digitalmetaphysik die *Information* fundamental ist, steht auch die Semantik notwendig im Zeichen einer semantischen Informationstheorie, wie in Pkt. 4.2 dargelegt und in Pkt. 6.2.1 mit dem CEP-basierten *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) nochmals aufgegriffen. Mit dem Urstoff der "Information" sind die faktischen *Event Streams* entscheidend, womit der zentrale Wahrmacher in der Korrespondenztheorie besteht. Dass Reschers *Prozess-Semantik* im Zeichen seines *begrifflichen Idealismus* bzw. Konzeptualismus steht, wird auch daran deutlich, dass sein zentraler Wahrmacher auch nicht in der Korrespondenztheorie der Wahrheit besteht, die empirisch gerichtet ist. Vielmehr läuft sein pragmatischer Idealismus auf eine *Kohärenztheorie der Wahrheit* hinaus, wie sie bei Rescher (1973b) im Einzelnen entwickelt wird.

Auch wenn Reschers Prozessmetaphysik in ihren revisionär metaphysischen Grundlagen der Whiteheadschen Tradition verpflichtet ist, indem sie selbst diese Grundlagen nicht legen kann, täuscht Rescher sich in einem überaus zentralen Moment der Whiteheadschen Prozessmetaphysik grundsätzlich. Reschers (1996) Kritik des Whiteheadschen Ansatzes, die zu seiner völlig unberechtigten Diskreditierung nicht unwesentlich beiträgt, basiert nämlich auf dem fundamentalen Irrtum, dass diesem ein *klassischer Atomismus* zugrunde liege,⁴⁰⁴⁹ was gewiss in keiner Weise zutreffend ist.⁴⁰⁵⁰ Wie in Pkt. 4.2 näher erörtert, ist dies deshalb nicht der Fall, weil der Whiteheadsche Atomismus im Sinne des *Logischen Atomismus*, also nicht etwa im physisch *materialistischen*, sondern vielmehr gerade im antimaterialistischen, logico-mathematischen bzw. *strukturalistischen* Sinne zu verstehen ist. Also in genau der Weise, wie er in C.F. von Weizsäckers Interpretation der Quantentheorie zum Vorschein gelangt, indem diese im *Logischen Atomismus* ihren eigentlichen Kern besitzt. Indem dieser logico-mathematische Strukturalismus den Dreh- und Angelpunkt des Whiteheadschen Werks ausmacht, kann Rescher es insgesamt kaum richtig verstanden haben. Auf dieser Fehlinterpretation aufsetzend fährt Rescher (2000b: 12 f.) fort, indem er argumentiert, dass der klassische Atomismus durch die Quantenphysik ad absurdum geführt worden sei (womit sich das Whiteheadsche Werk entsprechend erledigt hätte). Das ist zwar an sich richtig, hat aber nichts mit der Whiteheadschen Prozessmetaphysik zu tun, wie es auch M. Weber (2004) registriert. Wenn die Quantenphysik vielmehr umgekehrt in fundamentaler Hinsicht gerade auf Whitehead aufbaut, ist die Fehlinterpretation Reschers erwiesen. Wenn Rescher den *Logischen Atomismus* bei Whitehead (1929a) nicht erkennt, kann er im Grunde nichts erkennen, indem alles Elementare, angefangen von Whiteheads "Urstoff" der *Information* über seine Cyber-Physik bzw. seinen Automaten als zelluläre *Logical Machines* bis hin zum darauf aufbauendem *"It from bit"* der Quanten-

⁴⁰⁴⁹ Vgl. etwa Rescher (1996: 55, 89 f.).

⁴⁰⁵⁰ Vgl. hierzu auch M. Weber (2004).

physik Wheelers lediglich auf Basis des Whiteheadschen *metaphysischen Logizismus* verstehbar sind. Davon ist aber in der verfehlten Whitehead-Interpretation Reschers keine Rede. Dass Rescher in dieser alles entscheidenden Sache einem grundlegenden Irrtum aufgesessen ist, bemerkt auch die Rescher-Schülerin Seibt (2005), indem sie dem Whiteheadschen Ansatz gerade die Eignung »insbesondere auch zur Interpretation des quantenphysikalischen Bereichs« bescheinigt. In der Tat würde die moderne Physik sich zur metaphysischen Fundierung gerade der Quantenmechanik kaum speziell an Whitehead halten, wenn eine solch grundsätzliche Unvereinbarkeit tatsächlich bestünde.⁴⁰⁵¹ Vielmehr ist im Gegenteil festzustellen, dass die Physik diese Fundierung weder in den zeitlich, jedoch nicht inhaltlich aktuelleren Metaphysiken Bunes oder Reschers sucht noch findet. Also besteht hier offensichtlich eine grundsätzliche Korrekturbedarf wenn Rescher Prozessmetaphysik vollzieht, aber wie viele andere ihre eigentlichen cyber-physischen Grundlagen bei Whitehead nicht versteht. Ausgehend von Plancks Quantenhypothese sind Whitehead, der in die diesbezügliche physikalische Forschungsdebatte selbst involviert ist, nicht nur die früh Quantentheorien bekannt. Vielmehr gilt dies auch für die moderne Quantenmechanik; die grundlegenden Arbeiten etwa von Heisenberg, Schrödinger oder Born sind bereits einige Jahre vor Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik allgemein bekannt. Speziell die jüngeren informationstheoretischen Interpretationen C.F. von Weizsäckers bzw. Wheelers gehen auf die Whiteheadsche Prozessmetaphysik bzw. auf seine faktische Begründung des Logischen Atomismus im Booleschen Sinne zurück.

Ad (10) Während Reschers *Process Metaphysics* besonders auf erkenntnistheoretische Aspekte abstellt, setzt die Prozessontologie der Rescher-Schülerin Seibt andere Akzente. Dieser Ansatz, der in verschiedenen Akzentuierungen bei Seibt (1995) als *Dynamic Mass Ontology* (DYMO), bei Seibt (2001a) als "*Formal Process Ontology*", bei Seibt (2001a, 2002) als *Axiomatic Process Theory* (APT), bei Seibt (2003b) als *Free Process Theory* (FPT), bzw. bei Seibt (2009) als *General Process Theory* (GPT) bezeichnet wird, steht vollends im Zeichen der Analytischen Philosophie. Der Fokus liegt auf der analytischen Ontologie bzw. Metaphysik, womit das Moment der *deskriptiven Metaphysik* bei Seibt sehr viel deutlicher zum Vorschein kommt als bei Rescher. Wenn hier von "Rescher-Schülerin" gesprochen wird, ist folgendes vorauszuschicken: Seibt (1990b) hat zwar bei Rescher in Pittsburgh auf dem Gebiet der Prozessontologie promoviert und mit Rescher (1962) wird deutlich, dass dieser auf diesem Gebiet lange Expertise besitzt. Allerdings erscheint Reschers (1996, 2000b) eigener prozessmetaphysischer Ansatz erst nach Seibt (1990b). Entsprechend überrascht es nicht, dass die eigentlichen prozessontologischen Grundlagen bei Seibt (1990b) primär nicht von Rescher sind. Vielmehr stammen sie allen voran von W. Sellars, der mit Rescher die Philosophiefakultat in Pittsburgh für lange Zeit prägte. Mit W. Sellars nominalistischer Ontologie setzt sich Seibt (1990a) in einer anderen

⁴⁰⁵¹ Siehe hierzu die Verweise in Fn. 3677.

Arbeit ausführlich auseinander.^{4052, 4053} Wesentlich ist dabei der Umstand, dass dem Sellars'schen Naturalismus eine nominalistische Prädikationstheorie wie auch eine prozessontologische Konzeption der Sinneseindrücke inhärent ist. Vor diesem Hintergrund ist W. Sellars' (1981a) *Foundations for a Metaphysics of Pure Process* hervorzuheben; nimmt man diese Arbeit – und insgesamt W. Sellars statt Rescher als Orientierungspunkt – werden die Anfangsgründe der strikt deskriptiven Positionierung Seibts besser nachvollziehbar. Daneben setzt sich Seibt (1990b) jenseits von Aristoteles und Frege mit den in der Whitehead-Tradition stehenden sprachphilosophisch relevanten 4D-Ontologen Russell, Quine, Goodman, und D.K. Lewis auseinander. In kritischer Auseinandersetzung mit diesen Quellen entwickelt Seibt ihre nominalistische prozessontologische Position. Tatsächlich prägend für den Ansatz Seibts sind sie jedoch alle nicht; ursprünglich entscheidend ist vielmehr die universal nominalistische Prozesstheorie W. Sellars' (1979, 1981a).^{4054, 4055}

Der Ontologieansatz von Seibt ist als Klasse-2-Metaphysik zu verstehen, indem es sich nicht um einen revisionären Ansatz handelt und entsprechend auch kein Ratio-Empirismus praktiziert wird. Während die Prozessmetaphysik Reschers in ihren Fundamenten sehr deutlich im Zeichen der Whiteheadschen Metaphysik steht, obwohl es sich auch hier um eine deskriptive Metaphysik handelt, streicht Seibt die Trennung gegenüber dieser Tradition stärker heraus, indem sie betont, dass es sich bei ihr explizit um eine *"nicht-Whiteheadsche" Prozesstheorie* handelt.⁴⁰⁵⁶ Das gilt auch dann, wenn Seibt (2005) die Whiteheadsche Prozessmetaphysik als gegenwärtig "erklärungsstärkste Ontologie" würdigt. Demgegenüber hat ihr eigener Ansatz weder etwas mit spekulativer noch mit technowissenschaftlicher Metaphysik zu tun, sondern ist nach Maßgabe der Analytischen Philosophie sprachphilosophischer Natur. Es handelt sich um eine *Sellarssche Prozesstheorie*.

Mit Blick auf die Forderung nach einer integrierten Ontologiekonzeption, die nicht mehr zwischen einer Ontologie der Philosophie und einer AI-Ontologie trennt, muss der Ansatz von Seibt (2001a, 2003b) deswegen interessant erscheinen, weil er als *General Process Theory* (GPT) eine ähnliche Position bezieht. Tatsächlich zeigt sich die Ontologie hier als *formale Ontologie* in einem Zuschnitt, der die bisherige Grenzziehung zwischen philosophischer und Wissensontologie aufhebt. Damit liegt Seibt ohne Zweifel richtig, und entsprechend ist ihr Ansatz nicht nur als philosophische Ontologie, sondern explizit als Wissensontologie zu verstehen. Dabei stellt Seibt (2001a) ausdrücklich auf die KR-Belange der Informatik ab. Obwohl dieser Ansatz in der Informatik gegenwärtig keine Rolle

⁴⁰⁵² Diese Publikation basiert zu zweidritteln auf Seibts Münchner Masterarbeit bei L.B. Puntel; W. Sellars würdigt sie im Vorwort zu Seibt (1990a) als »one of the best essays on my work that I have ever seen«.

⁴⁰⁵³ Vgl. hierzu auch Seibt (2007).

⁴⁰⁵⁴ Seibt (2010: 47 f., Fn. 52-53) nimmt hingegen von der für Seibt (1990b) konstituierenden Sellars-Fundierung Abstand; die *allgemeinen Prozesse* ihrer Prozesstheorie sieht sie nicht mehr – wie noch bei Seibt (2003b: 24) – mit jenen bei W. Sellars' (1981a) direkt vergleichbar, sondern allein mit den *Typen* bei Zemach (1970).

⁴⁰⁵⁵ Demgegenüber ist W. Sellars (1979, 1981a) für Rescher (1996, 2000b) nicht konstituierend.

⁴⁰⁵⁶ Vgl. etwa Seibt (2003b: 23).

spielt, wird er gelegentlich gar selbst als *Top-level Ontologie* eingeordnet.⁴⁰⁵⁷ Allerdings scheint dies vermessen, da jenseits von Seibt (2001a) kaum auf die tatsächlichen Belange der Informatik und des *Ontology Engineering* (OE) eingegangen wird. Vielmehr liegt der Schwerpunkt auf klassischen ontologischen Fragestellungen, wo er zunächst auch liegen muss. Indessen könnte im Ansatz von Seibt jedoch an sich eine unmittelbare Bezugsbasis für eine prozessontologische *Top-level Ontologie* bestehen. Nicht nur insofern ist auf diesen einzugehen, sondern wiederum auch, um die Adäquanz bzw. Superiorität der Whiteheadschen Position anhand dieser und anderen prinzipiellen Alternativen darzulegen.

Ungeachtet der Unterschiede zu Rescher und insbesondere zu Whitehead vertritt Seibts Prozessontologie in fundamentaler Hinsicht die gleiche Position: An die Stelle aristotelischer *Substanzen* haben *Prozesse* zu treten; Seibt (2005) spricht zu Recht vom *Mythos der Substanz* und greift entsprechend die klassische "Furniture-Ontologie" in grundsätzlicher Weise an. Dabei ist anzumerken, dass nicht nur Rescher, sondern auch Seibt den Whiteheadschen Ansatz falsch interpretiert, wenn Seibt (2005: 224) meint, dass selbst Whiteheads Prozessphilosophie die Auflösung des Substanzparadigmas nicht gelänge.⁴⁰⁵⁸ Richtig ist allerdings, dass genau darin sein fundamentales Verdienst besteht. Denn die aristotelische Substanzkategorie wird samt ihres für die Informatik genauso unheilvollen Hylemorphismus vollständig zugunsten von Whiteheads informatorischer Ereigniskategorie abgeschafft. Insgesamt sollte auch hier nicht übersehen werden, dass letztlich alle prozessontologischen Ansätze, wie auch immer sie sich gegenüber Whitehead abzugrenzen suchen, entwicklungsgeschichtlich letztlich doch immer auf diesen zurückgehen. Denn es ist Whitehead (1929a), der das ereigniszentrische logico-mathematische Prozessparadigma ontologisch begründet, während es in Leibnizens *Monadologie* forschungsbedingt noch aus prozessualisierten Substanzen besteht. Das kann gerade mit Blick auf die aktuellen Entwicklungen in der Analytischen Philosophie nicht in Abrede gestellt werden: Mit Rescher und Seibt sowie den nachfolgend behandelten Ontologien M. Hellers und Siders einerseits, und dem Modalen Realismus von Lewis andererseits wird deutlich, dass sich die in Pkt. 5.5 behandelte Analytische Philosophie in den vergangenen Jahren konzeptionell stark in Richtung der Prozessontologie und dem in Pkt. 6.2.5 erörterten 4D-Paradigma verschoben hat. Die traditionell bei Klasse-2-Metaphysiken vertretenen "Furniture-Ontologien" geraten damit mehr und mehr ins Hintertreffen. Das ist auch auf Seiten der neo-aristotelischen Ansätze festzustellen, wenn P.M. Simons (1998a) oder die jüngere Variante der GFO-TLO mit dem tradierten Substanzparadigma brechen, und sich dem Prozessparadigma zuwenden.

Während die Ansätze von Whitehead, Rescher und Seibt sämtlich Prozessontologien bilden, unterscheiden sie sich nicht nur maßgeblich in metaphysischer bzw. meta-ontologischer Hinsicht, sondern auch kategorial. Seibts Prozesstheorie ist *monokategorial* konzi-

⁴⁰⁵⁷ So etwa bei Herre/Loebe (2005: 1398, Fn. 1) – auf einer Stufe mit DOLCE, GFO, SUMO etc.; vgl. ahnelich Herre/Heller et al. (2006: 56).

⁴⁰⁵⁸ Vgl. ahnelich Seibt (2003b: 23 f.).

piert, wobei die grundlegende Kategorie allerdings weder in *Ereignissen* (Whitehead) noch in *Prozessen* (Rescher) als vielmehr in *Aktivitäten* besteht. Wesentlich ist dabei der Umstand, wie Seibt auf die Bestimmung von Aktivitäten als zentraler Kategorie kommt. Dies geschieht gewiss nicht auf Basis einer empiristischen Universalsynthese, auf der hingegen Whitehead im Zeichen seines *Ratio-Empirismus* die *Ereignisse* erst als die zentrale Kategorie identifiziert. Deskriptive Metaphysiker setzen demgegenüber die Korrespondenz der Normalsprache mit den fundamentalen Strukturen der Realität unbesehen voraus, ohne ihre tatsächliche Entsprechung zu überprüfen. Würden sie diese überprüfen, müssten sie *revisionäre* Metaphysik vollziehen. Dieses naive wie aus Sicht des *cyber-physischen "Reality Computing"* fahrlässige Vorgehen ist völlig inakzeptabel, zumal die Inhalte technologischer Ontologien mit den Inhalten der *Scientific Ontologies* korreliert sind, während technologische Ontologien im Sinne der Technopraxis wiederum in kritischen Prozessen – etwa der Produktentwicklung der Luft- und Raumfahrtindustrie – zum Einsatz kommen. Die CPSS-Adäquanz der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* lässt sich auf diese Weise natürlich nicht gewährleisten; sie fordert Whiteheads revisionäre Metaphysik letztlich zwingend ein. Demgegenüber vollzieht sich das Procedere der Kategorienbestimmung bei Seibt gerade nicht revisionär, sondern mit den Mitteln deskriptiver Metaphysik, nämlich auf Basis der Sprache. Darin ist ein Zentralproblem dieses Ansatzes auszumachen. Tatsächlich macht Seibt (1990b, 2003b) im Zeichen der deskriptiven Metaphysik den Begriff "*activity*" mit Kenny (1963: Ch. 7) und Vendler (1967: Ch. 4) an Aristoteles' linguistischen Test zur Differenzierung von *Enérgeia* und *Kínēsis* fest. Das führt schließlich dazu, dass bei Seibt *Prozesse als Kontinuanten* aufgefasst werden, während Rescher sie im offenbaren Rekurs auf Whiteheads revisionäre Position sachgerecht als *Okkurrenten* konzipiert. Wesentlich ist hier, dass sich Seibts (2001a, 2003b) Prozesstheorie als universale Ontologie versteht; diese zielt einerseits sowohl auf die Zwecke der Philosophie wie auf jene der Informatik; andererseits sowohl explizit auf *Scientific Ontologies* wie auf *Common Sense-Ontologien*.⁴⁰⁵⁹ Indem jedoch bei Seibt *Aktivitäten* selbst explizit als "common sense concept" verstanden werden, folgt daraus die Besonderheit, dass *Scientific Ontologies* im OLP-Sinne tatsächlich über die Alltagssprache erschlossen werden. Gestandene Ontologen wie Quine (1977) aber auch Rescher (2009: 40) lehnen ein solches Vorgehen unter Hinweis auf die semantischen Defizite und Defekte der Alltagssprache zu Recht grundsätzlich ab. Rescher (2005a) akzeptiert dabei den *Common Sense* als solchen, sieht ihn jedoch allein eingeschränkt auf die enge Sphäre der eigentlichen Alltagsrationalität, worin die für die Informatik adäquate Position besteht:

»The credibility of common sense is bound up with the fact that its validity prevails only in a very limited domain, based as it is, on the ordinary course of the everyday life of people-in-general.«⁴⁰⁶⁰

Quine (1977) wie Rescher (2005a, 2009) betonen damit die großen Unterschiede in der Natur des Wissens, die Popper (1972a) im methodologischen Kontext des *Kritischen Rati-*

⁴⁰⁵⁹ Vgl. Seibt (2001a, 2009).

⁴⁰⁶⁰ Rescher (2005a: 55).

onalismus herausarbeitet. W. Sellars ist hingegen in der OLP-Kombination der beiden Wissensarten optimistischer,⁴⁰⁶¹ und darauf gründet offenbar auch Seibt in dieser Sache ihren Optimismus. Allerdings lässt sich dies in methodologischer Hinsicht in keiner Weise rechtfertigen. Es sein denn, man stellte die Möglichkeit des *Kritischen Rationalismus* wie des objektiven Wissens als solches in Frage – was weder bei Quine oder Rescher noch im Zuge von *Scientific Ontologies* in der AI-Praxis der Fall ist. Das Verhältnis beider Wissensarten ist vielmehr ein zu W. Sellars und Seibt diametral umgekehrtes: Indem in integrierten Systemen die Wissenskonsistenz zwischen den verschiedenen Wissensarten strikt zu wahren ist, lässt sich Alltagswissen (Common Sense Knowledge) im Sinne von Hayes' (1979) *Naive Physics* allein im Zeichen einer Vereinfachung der Zusammenhänge aus *Scientific Ontologies* ableiten oder es bezieht sich ausschließlich auf Alltagssachverhalte als solche. Entgegen Smith/Casati (1994) ermangelt es der *Naive Physics* entsprechend weniger an zu intensivierenden *phänomenologischen* Untersuchungen, sondern mit Blick auf die Konsistenz des Wissens wie dem damit zusammenhängenden ontologischen Integrationserfordernis vielmehr an ihrer unmittelbaren Ableitung von der eigentlichen physikalischen regionalen Ontologie. Diese kann nur von der Wissenschaft über die Technologie in den Bereich des *Common Sense* führen, nicht aber umgekehrt. Ein umgekehrtes Vorgehen ist unmöglich, ein isoliertes mit Blick auf das ontologische Konsistenzargument inadäquat. Indem diese Konsistenz zwischen *Scientific Ontologies* und *Technological Ontologies* selbstverständlich ist, gibt es keine Gründe, warum sie es im Sinne der Technopraxis auch nicht zwischen technologischen und praktischen Ontologien sein sollte. Entsprechend kommt in diesem Zusammenspiel dem technologischen Wissen eine Mittlerfunktion zu. Offenbar ist das Ontologieverständnis W. Sellars' bzw. Seibts schon mit Blick auf die *Natur des Wissens* in grundsätzlicher Weise defekt. Richtig bestimmen lässt sich die *Natur des Wissens* mit Popper ohnehin allein auf Basis der in Pkt. 6.2.2 erörterten *revisionären* Metaphysik, indem es allein diese ist, die der wissenschaftlichen Methodologie entspricht. Deskriptive Metaphysiker, also das große Feld linguistisch wie sprachphilosophisch orientierter Ontologen, verstehen jedoch auch diesen zentralen Punkt offenbar nicht, was jedoch in dem für sie oftmals fremden Terrain hochautomatisierter komplexer AI-Systeme als *Reality Machines* fatale Konsequenzen implizieren kann.

Während es sich bei Gruber (1993, 1995) um einen rein linguistischen Ontologieansatz handelt, ist jener Seibts ein sprachphilosophischer. Der Grubersche ist somit klassifikatorisch; jener Seibts hingegen kategorial. D.h. er gibt der Wissensrepräsentation auf sprachphilosophischer Basis eine Struktur vor, von der angenommen wird, dass sie mit der fundamentalen Struktur der Realität korrespondiert. Ob das tatsächlich der Fall ist, lässt sich indessen auf Basis von Seibts deskriptiver Metaphysik selbst gar nicht evaluieren. Das ist selbstverständlich nur auf Grundlage revisionärer Metaphysik möglich, deren Ratio-Empirismus gerade auf diesen Abgleich zielt. Dabei dreht sich die Evaluierung von Seibts Pro-

⁴⁰⁶¹ Vgl. hierzu Pitt (2008).

zessontologie nicht etwa um ein ausdifferenziertes Kategoriensystem, sondern vielmehr um einen monokategorialen Ansatz. Dieser besagt: alles in der Welt ist *Aktivität* bzw. ist jede Welt sprachphilosophisch wie wissensontologisch *als Aktivität* zu fassen. Wenn indessen *Reality Machines* primär durch die Sensorik, dann erst ggf. durch Aktorik charakterisiert sind, lässt sich bereits erahnen, dass Whitehead auch in dieser Sache mit seiner revisionären Ereigniskategorie richtig liegt; nicht Seibt in ihrer deskriptiven Umdrehung. Das legt die Problematik dieses Metaphysiktyps und seine Differenz zur revisionären Variante offen. Wie Gruber (1993, 1995) sieht auch Seibt (2001a) explizit vom Einbezug etwa des *Universalienproblems* und der meisten anderen im Folgenden behandelten ontologischen Dichotomien ab. Ein *monokategorialer* Ansatz kann *per definitionem* kein ausdifferenziertes Kategoriensystem eröffnen. Fragt man indessen, warum alle führenden TLO-Ansätze über solch ausdifferenzierte Kategoriensysteme verfügen, ist die Antwort einfach: bis zu einem gewissen Grad steigert die Ausdifferenzierung eines TLO-Kategoriensystems die Intelligenz von AI-Systemen, während es gleichzeitig ihre Anfälligkeit für Fehlschlüsse reduziert. Insofern stellt ein solch *monokategorialer* Ansatz strategisch keine gute Option dar, indem er die Superintelligenz bei hybrider Agentenarchitektur tendenziell konterkariert. Aber auch unabhängig davon ist die mangelnde Rezeption dieser Ontologiekonzeption in Philosophie wie Informatik bezeichnend, wemngleich sie in ihrem sprachphilosophischen Zuschnitt *en vogue* ist.

Die Vorbehalte, die in Pkt. 3.3.2 gegenüber dem linguistischen OE-Ansatzpunkt deutlich wurden, lassen sich an der Ontologie Seibts nochmals spezifizieren; auf dieser Basis lassen sich auch wichtige Erkenntnisse zur Klärung der konfusen Ontologiedebatte gewinnen. Zunächst ist festzustellen, dass die analytische Ontologie Seibts in keiner Weise sachgerecht zu verstehen ist ohne die nominalistische Ontologie W. Sellars' (1981a), auf die sie direkten Bezug nimmt. Die nominalistische Ontologie W. Sellars' wiederum ist nicht nachvollziehbar ohne die durch Davidsons (1967) *Action Sentences* ausgelöste Debatte um die Ereigniskategorie, die in der Sprachphilosophie lange Zeit kontrovers wie intensiv geführt worden ist. Ausgangspunkt für Davidson (1967) sind jedoch keine linguistischen Ereignisse, sondern letztlich die *empiristischen* wie *naturalistischen 4D-Ereignisse* seines akademischen Lehrers Quine (1960a) bzw. Whiteheads (1929a). W. Sellars (1973a, 1973b) setzt sich ausfurhlich mit Davidson bzw. Quine auseinander; allerdings übersieht er dabei, dass es sich letztlich bei beiden primär um *empiristische* bzw. *naturalistische 4D-Ereignisse* handelt, und nicht primär um *linguistische* Ereignisse. Das gilt ganz besonders dann, wenn ihnen im linguistischen 3D-Trägersinne fälschlich ein reiner Eigenschaftsstatus zugewiesen wird. Denn diese schwerwiegenden Fehlinterpretationen bilden die Ausgangsbasis für linguistisch motivierte Umformungen, die ohne diese Fehlinterpretationen nicht möglich wären. Am Ende solcher Umformungen zeigen sich dann Ereignisse zu Handlungen transformiert, wenn für W. Sellars (1973a: 181) gilt: »Propositions in this sense are events – indeed they are actions«. Vor diesem Hintergrund führt W. Sellars (1981a) aus:

»[T]alk about *events* is a way of talking about things changing. Thus there are no events *in addition* to changing things and persons«. ⁴⁰⁶² Dabei lassen sich bei solchen linguistischen Umformungen auch problemlos temporale Aspekte berücksichtigen, was auch hier zu der Einschätzung führt, dass Ereignisse eliminierbar bzw. in Handlungen transformierbar seien:

»[W]hile, of course, there are events, there *really* are no events, for events are not basic items - atoms - in the furniture of the manifest image. This claim was supported by two lines of thought: (a) we can always retreat from statements which involve event locutions, and which ostensibly make a commitment to a domain of events as objects in the world, thus

A running by Socrates took place
to statements which do not, thus

Socrates ran.

(b) Since (a), by itself, is compatible with the claim that it is events, rather than things, which are primary, the *dominant* consideration was, according to our analysis, that event locutions belong one step up the semantic ladder and refer to linguistic or conceptual items, rather than to items in the world.« ⁴⁰⁶³

Das Ziel solcher relativ aufwändig zu vollziehenden Umformungen besteht mit W. Sellars (1981a) darin, zu einer "*Metaphysics of Pure Process*" zu gelangen, ⁴⁰⁶⁴ die als OLP-Variante genauso dem ontologischen Sparsamkeitsprinzip genügt wie Quines ILP-Variante. Vor diesem Hintergrund wird verständlich, was es genau mit der *General Process Theory* (GPT) Seibts auf sich hat, warum diese *monokategorial* konzipiert ist, und warum diese Kategorie in *Aktivitäten* besteht. Auch wird deutlich, dass es sich bei W. Sellars und Seibt um eine völlig andere Variante von Prozessontologie handelt, als diese mit Reschers (1996) *Prozessmetaphysik* gegeben ist – unabhängig davon, dass gewisse Parallelen hinsichtlich der deskriptiven Metaphysik bestehen. Wenn *Ereignisse* für die Ontologie Quines zentral sind, ist darüber hinaus evident, dass W. Sellars' nominalistische Ontologie genauso "*non-Quinean*" ist, wie Seibts Prozessontologie sich explizit als "*non-Whiteheadian*" versteht. Wenn man schließlich fragt, welcher Position recht zu geben ist, Sellars vs. Quine resp. Seibt vs. Whitehead, ist das objektive Votum evident: solche OLP-Ansätze, darin sind sich Quine (1977) und Whitehead (1929a) einig, führen in ontologisch kategorialer Hinsicht in die Irre.

Damit kommen wir zur Kritik des Ansatzes von Seibt, die hier insofern nicht indirekt sondern direkt zu führen ist, als Seibts Ontologie selbst unmittelbar auf die Zwecke der Informatik zielt. Im Kern muss die Kritik darin bestehen, dass es sich um eine deskriptive, nicht um eine revisionäre Metaphysik handelt, die Klasse-2-Metaphysik ist und damit eine Diskrepanz zum *Ratio-Empirismus* der techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik aufweist. Nun könnte man den Standpunkt vertreten, dass diese Diskrepanz entweder unwesentlich ist, oder zugunsten der Klasse-2-Metaphysik zu entscheiden sei. Doch genau das ist nicht der Fall. Ontologie ist immer kategorial; entscheidend ist jedoch, wie diese Kategorien bestimmt werden. Bei Seibt werden sie nach Maßgabe der deskriptiven Metaphysik *sprachphilosophisch* bestimmt; bei Whitehead hingegen auf *ratio-empirischen*

⁴⁰⁶² Vgl. W. Sellars (1981a: 43), Hvh. im Orig.

⁴⁰⁶³ Vgl. W. Sellars (1981a: 52), Hvh. im Orig.

⁴⁰⁶⁴ Bei dieser bezieht sich W. Sellars (1981a) wiederum explizit auf C.D. Broad (1933: 141-166).

Wege. Demnach ist zu klären, ob dieses unterschiedliche Procedere einen Unterschied macht: Natürlich ist dieser gegeben, denn die sprachphilosophische Bestimmung ist predestiniert für das Auftreten fundamentaler Kategorienfehler. Das ist auch bei Seibt der Fall, und das mit *Aktivitäten* als Zentralkategorie und *Prozessen* als Kontinuanten in gleich doppelter Hinsicht. Das elementare Problem der Ontologie Seibts – wie auch anderer Ontologieansätze auf Grundlage der Klasse-2-Metaphysik – besteht darin, dass sie explizit einen universalen *techno-wissenschaftlichen Anspruch* artikuliert ohne selbst eine universale *techno-wissenschaftliche Ontologie* zu verkörpern. Das ist allein auf Basis einer Klasse-4-Metaphysik möglich. Wenn es um *Scientific Ontologies* bzw. *Technological Ontologies* geht, dann können auch allein wissenschaftliche bzw. technologische Aspekte dafür entscheidend sein wie die zentralen Kategorien zu bestimmen sind. Sprachphilosophische Erwägungen sind dabei völlig fehl am Platze, was nicht nur mit Blick auf die sachgerechte Wissensrepräsentation, sondern insbesondere auch mit Blick auf AI-basierte *"Reality Machines"* zu beachten ist. Nähert man sich auf ratio-empirische Weise dieser Fragestellung, wird auf Basis natürlicher wie sozialer Systeme genauso wie hinsichtlich der Funktionsweise technologischer Systeme mit Whitehead (1922c: 130 f.) klar: »[T]he ultimate fact of nature must [...] be an event«.

Seibt (2004: 127) legt einen breiten Aktivitatsbegriff zugrunde, der sich zum einen (a) offenbar im sprachphilosophischen Sinne in kritischer Auseinandersetzung mit Kenny bzw. Vendler dennoch in der Sphäre aristotelischer Kategorien bewegt.⁴⁰⁶⁵ Denn der Aktivitatsbegriff Seibts umfasst sowohl die Aktivität als auch die Passivität. Die Aktivität bezieht sich dabei auf die Handlungen eines "Agenten" (bei Seibt etwa "running") als auch das aristotelische "Erleiden" eines Mediums (bei Seibt etwa "flowing"). Indem für Seibt die Substanz "Mythos" ist und es um eine völlig substanzfreie Prozessontologie geht, steht außer Frage, dass dies im Sinne von Kenny bzw. Vendler rein linguistisch gemeint ist. Ob-
schon das Aufsetzen der deskriptiven Methode auf der aristotelischen Kategorienlehre zur Behandlung von Okkurrenten ähnlich erfolgt wie bei B. Smith (2005b), ist der Ansatz von Seibt ein analytischer; er ist kein neo-aristotelischer und hat mit dem neo-aristotelischen Ontologischen Sextett bei B. Smith (vgl. Abb. 25) einschließlich seiner Substanzen als Träger nicht viel gemein.⁴⁰⁶⁶ Dabei sieht Seibt im Grunde ganz von den bei Rescher bestehenden revisionären Fundamenten deskriptiver Metaphysik ab und vollzieht allein letztere, und zwar im linguistischen Sinne. Das wird besser nachvollziehbar, wenn Seibts Aktivitatsbegriff sich zum anderen (b) auch auf solche Vorkommnisse erstreckt, die linguistisch auf Basis von Impersonalia beschrieben werden; das ist bei Verben der Fall, die ein expletives 'es' als Subjekt haben. Seibt nennt als Beispiel "it is raining".⁴⁰⁶⁷

Dass es indessen ein Irrtum ist, die *Aktivität* in Seibts strikt monokategorialer Prozessontologie als primäre Kategorie heranzuziehen, ließe sich etwa am Funktionalismus in den

⁴⁰⁶⁵ Vgl. hierzu Seibt (2003b: 24 ff.).

⁴⁰⁶⁶ Das gilt auch für Smithens *immanenten Realismus*, den Seibt nicht teilt, vgl. hierzu etwa Seibt (2001a).

⁴⁰⁶⁷ Seibt (2010: 47, Fn. 52) sieht die Projektion auf solche *Impersonalia* inzwischen kritisch.

Naturwissenschaften genauso illustrieren wie an der Quantenphysik (quantum events, event horizon); man könnte dazu auch das Börsengeschehen oder andere komplexen Systeme heranziehen. Ihre *cyber-physischen* Ereignisse verlangen zunächst einmal ein CPS-bezogenes abstraktes Ereignisverständnis. Dieses ist insofern realistisch, als es sich auf den Popperschen kausalen Drei-Welten-Realismus bezieht. Erst auf Grundlage dieser ratio-empirischen Ereigniskategorie kann es opportun erscheinen, sich über die formale Darstellung Gedanken zu machen. Doch auch Seibt ist wiederum mit Heil (2003: 189) vorzuhalten: »the linguistic tail wagging the ontological dog«. – Genau das wird diesem Ontologieansatz zum Verhängnis. Mit dem Anspruch auf eine Ontologie der Informatik wählen wir den technologischen Gesichtspunkt der Informatik zur Illustration dieses grundlegenden Irrtums: Cyber-physische Systeme (CPS) laufen über die Sensorik in IoX-Umgebungen darauf hinaus, dass alles Geschehen in allen Welten, ob physisch oder virtuell, sich in Form von *Event Streams* vollzieht bzw. als solche perzipiert wird. Insofern lässt sich im MAS- wie dem damit verbundenen CAS-Zusammenhang mit Pkt. 6.2.1 das *Complex Event Processing* (CEP) als fundamentales Paradigma der Informatik bestimmen. Darauf haben die TLO-Kategorien bzw. die Semantik abzustellen, wie es bei dem dort ebenfalls erörterten *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) der Fall ist. D.h. die Kategorien bestimmen sich in fundamentaler Hinsicht an den *technologischen* Sachverhalten, nicht an linguistischen bzw. sprachphilosophischen Aspekten. Analoges gilt selbstverständlich für den wissenschaftlichen Zusammenhang, womit insgesamt die Kategorien ratio-empirisch nach techno-wissenschaftlichen Gesichtspunkten zu bestimmen sind. Mit anderen Worten: auf Basis der Whiteheadschen Klasse-4-Metaphysik.

Weder Prozesse noch Aktivitäten, sondern *Ereignisse* bilden für die Informatik die primäre bzw. fundamentale Kategorie. Aktivitäten fallen dabei unter die Ereignisse, indem gilt: »Actions are viewed as a particular type of events that have an actor, a recipient and an object«. ⁴⁰⁶⁸ Dabei gilt die Primarität von Ereignissen für das Zusammenspiel von Sensorik und Aktorik genauso wie etwa für BPMN-Prozessmodelle, bei denen Ereignisse die Aktivitäten auslösen. Aktivitäten und Prozesse sind zwar genauso von Relevanz, nur sind sie entgegen Seibt und Rescher nicht primär; sie sind mit Whitehead nachgeordnet. Ebenso lässt sich die Verhältnisbestimmung von Ereignis und Objekt nicht ohne diesen techno-wissenschaftlichen Kontext bestimmen. Analoges gilt für die elementare Bestimmung von Prozessen, die kaum sinnvoll am aristotelischen linguistischen Test bei Kenny bzw. Vendler festmachen kann, indem sie dann bei Galton oder Seibt auf *Kontinuanten* hinausläuft. CPSS-adäquat ist eine solche Bestimmung nur dann, wenn sie sich auch auf Computer als "*Reality Machines*" bezieht. Dann aber hat sie natürlich unmittelbar auf die techno-wissenschaftlichen Gegebenheiten abzustellen, woraus die Primarität techno-wissenschaftlicher Ontologien folgt. Neo-aristotelische bzw. sprachphilosophische Überlegungen helfen also insgesamt für Zwecke ihrer kategorialen Bestimmung nicht nur nicht weiter, sondern füh-

⁴⁰⁶⁸ Vgl. Fornara (2011: 31), Hvh. im Orig.

ren vielmehr in die Irre. Indem Normalsprache nicht zwingend mit den fundamentalen Strukturen der Realität bzw. mit den tatsächlichen realen Sachverhalten korrespondiert, werden falsche Schlussfolgerungen in systematischer Weise eröffnet, was bei AI-basierten "Reality Machines" schwerwiegende Konsequenzen nach sich ziehen kann. Der Ontologie der Informatik kann man sich allein über die cyber-physischen Bits und Bytes der Digitalmetaphysik nähern. Doch eine solche verkörpert Seibts OLP-Prozessontologie natürlich nicht. Somit wird insgesamt deutlich, dass Seibts Votum für eine explizit *nicht-Whitehead-sche* Ontologie eine verfehlte Wahl darstellt, indem damit die beste aller ontologischen Alternativen von vornherein ausgeschlossen wird. Diese Superiorität stellt Seibt (2001b: 228) implizit auch noch selbst fest: »The most impressive candidate in contemporary philosophy for an integrated ontology is certainly to be found in Whitehead's *Process and Reality*« – um eine solch *integrierte Ontologiekonzeption* kann es für die Zwecke der Informatik wie der Philosophie allein gehen. Entsprechend sollte Seibts von deskriptiver Position gegebene faire Einschätzung beide Disziplinen aufhorchen lassen.

Ad (11) verkörpert auch die auf Quine bzw. auf D.K. Lewis aufbauende Prozessontologie von M. Heller (1990) keine Digitalmetaphysik, da sie sich allein auf *physische* bzw. *materielle* Objekte bezieht. Entsprechend ist evident, dass ein solcher Ansatz keine Fundierung für ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis stellen kann. Mit Cyber-Physik hat er ebenso nicht zu tun wie mit einem systematischen Aufschluss der "New Physics". Wenn etwa die BORO 4D-Ontology mit Partridge (1996) auf diesen Ansatz im Zuge der TLO-Fundierung rekurriert,⁴⁰⁶⁹ wird das offensichtlich den universalen TLO-Erfordernissen nicht gerecht. Insofern M. Hellers (1990) Ansatz für eine universale TLO-Fundierung nicht in Frage kommt, wird er hier nicht weiter verfolgt.

Ad (12) kommen wir somit schließlich auf die Prozessontologie von T. Sider (2001) zu sprechen. Auf diesen Ansatz wird ebenfalls im Zuge der TLO-Fundierung der BORO 4D-Ontology rekurriert, konkret etwa mit West (2003, 2004) bzw. Stell/West (2004). Es bleibt dabei nicht bei theoretischen Evaluierungen; bei West/Partridge/Lycett (2006) bzw. M. West (2009) wird Siders Vierdimensionalismus auf das Downstream Datenmodell der Firma Shell angewandt. ähnlich praktische Bedeutung besitzt der Vierdimensionalismus Siders (1997) auch im Bereich der EA-Frameworks, indem etwa das TLO-referenzierende *Department of Defense Architecture Framework* (DoDAF) auf diesen rekurriert.⁴⁰⁷⁰ Siders Prozessontologie erfordert einiges mehr an Aufmerksamkeit als jene M. Hellers (1990); zum einen, weil sie universeller konzipiert ist, zum anderen, weil sie in der aktuellen Ontologiediskussion weite Beachtung findet. Das wiederum liegt mit Verweis auf Pkt. 5.5 nicht zuletzt an der herausragenden Stellung der Metaphysik von D.K. Lewis (1979a, 1983, 1986b) in der Analytischen Philosophie. Denn auf dieser baut Sider unmittelbar auf. Allerdings lehnt er dabei gerade den bei Lewis zentralen *Modalen Realismus* ab. Siders

⁴⁰⁶⁹ Vgl. dazu auch West/Partridge/Lycett (2006).

⁴⁰⁷⁰ Vgl. USDOD (2009b: 27).

Ansatz folgt explizit dem *Aktualismus*,⁴⁰⁷¹ und ist als Prozessontologie der Analytischen Philosophie demnach als *Klasse-2A-Metaphysik* zu klassifizieren. Der Ablehnung des Modalen Realismus ungeachtet ist der Kern von Siders Prozessontologie dennoch ein Lewischer: dieser Kern besteht in einer spezifischen 4D-Theorie, nämlich der sogenannten *Stadientheorie* ("stage theory" bzw. "stage view").⁴⁰⁷² West/Partridge/Lycett (2006) wenden diese im Zuge der BORO 4D-Ontology auf Datenmodelle von Shell an. Wenn demgegenüber die Stadientheorie von Lewis bzw. Sider durch die jüngere GFO-TLO explizit abgelehnt wird, kommt wiederum das TLO-Inkommensurabilitätsproblem zum Vorschein. Indem beide TLO-Ansätze explizit im Vierdimensionalismus stehen, also noch nicht einmal gegenteilige Position in der in Pkt. 6.2.5 behandelten Grundsatzdebatte *3D vs. 4D* bezogen wird, ist damit schon die tiefergehende metaphysische Problematik ersichtlich.

In diesem *Exdurantismus* ("stage view") besteht eine Alternative zum *Perdurantismus* ("worm view"), in die sich der Vierdimensionalismus unterteilt. Dabei stellt der durch Sider abgelehnte *Perdurantismus* die Standardvariante des Vierdimensionalismus dar, der *Exdurantismus* hingegen eine weniger gängige Variante. Während auf Lewis' bzw. Siders Stadientheorie im Einzelnen in Pkt. 6.2.5 eingegangen wird, sei hier bereits erwähnt, dass diese auf Lewis' (1979a) *Gegenstücktheorie* (counterpart theory) basiert, die Merricks (2003) in prinzipieller Hinsicht als unhaltbar identifiziert. Sider (2001) versteht sein Ansinnen als "speculative ontology",⁴⁰⁷³ was durchaus analog zu Whitehead als *spekulative Metaphysik* verstanden werden kann. Allerdings ist diese ganz anders akzentuiert als bei Whitehead. Sider (2001) verortet seine Metaphysik selbst unter Bezugnahme auf Strawsons (1959) Differenzierung zwischen deskriptiver und revisionärer Metaphysik:⁴⁰⁷⁴ Während Whitehead *revisionäre* Metaphysik betreibt, und etwa Chisholm *deskriptive* Metaphysik, ist es – nach eigener Aussage – bei Sider (2001) keine von beiden. Im Grunde positioniert er sich damit im ILP-Sinne "zwischen den Stühlen". Dennoch kann das kaum im positiven Sinne als Brückenschlag verstanden werden, weil dieser mit Verweis auf Pkt. 6.2.2 ein echtes revisionäres System voraussetzt. Sein Ansatz ist daher als eine Art aufgeklärte Form deskriptiver Metaphysik zu werten;⁴⁰⁷⁵ er bleibt aber grundsätzlich im deskriptiven Modus. Siders Ansatz besticht dadurch, dass er zumindest im Begründungszusammenhang auf wissenschaftliche Theorien zurückgreift. Vor diesem Hintergrund vertritt Sider zwar die Ansicht, dass er aufgrund des theoretischen Begründungszusammenhangs nicht dem

⁴⁰⁷¹ Vgl. Sider (2001: 41).

⁴⁰⁷² Mit seinem *Vierdimensionalismus* folgt Sider (2001: 11 ff.) der B-Theorie der Zeit, vgl. hierzu Pkt. 6.2.5.

⁴⁰⁷³ Vgl. Sider (2001: xiv).

⁴⁰⁷⁴ Wenn Sider (2001) von "*prescriptive metaphysics*" statt – wie Strawson (1959) – von "*revisionary metaphysics*" spricht, besteht darin nicht unbedingt ein passendes Substitut: zum einen ist mit der Struktur der Sprache auch die deskriptive Metaphysik letztlich präskriptiv; zum anderen geht es im Zuge des *Ratio-Empirismus* gerade um ein *revisionäres* Procedere, hinter dem der fallibilistische Gedanke steht. Andererseits lässt sich argumentieren, dass diese Ersetzung insofern zutreffend ist, als dem durch Einstein (1934: 48) kritisierten und für die analytische Metaphysik typischen *Wolken-Philosophieren* im Zuge des *Ratio-Empirismus* klare Restriktionen bzw. zumindest Orientierungspunkte gesetzt sind.

⁴⁰⁷⁵ Vgl. Sider (2001: xiv): »I follow the descriptive metaphysician in taking ordinary belief about metaphysical matters seriously, but follow the prescriptive metaphysician in aspiring to more than autobiography«.

deskriptiven Lager zugerechnet werden könne, »because four-dimensionalism is obviously an incorrect description of our ordinary conceptual scheme«. Doch ist man mit Strawson (1959) entweder *revisionärer* oder *deskriptiver* Metaphysiker, nämlich insofern, auf welcher Seite mit Pkt. 3.3.2 der eigentliche OE-Ansatzpunkt liegt: Entweder ist dieser im Grundsatz *deskriptiv linguistisch*, oder er ist *revisionär realistisch*, d.h. *ratio-empirisch*. Mit anderen Worten: sind die Kategorien bzw. Klassen rein über die Normalsprache (aristotelische Kategorien, Kantische Hilfskategorien, Common Sense usf.) sprachlich bestimmt, oder verkörpern sie die abstrakt-rationale Fassung einer unter techno-wissenschaftlichen Gesichtspunkten systematisch betriebenen empiristischen Universalsynthese?

Offensichtlich hinkt Siders Nichtzuordnung zur deskriptiven Metaphysik aus zwei Gründen: erstens setzen sich mit Quine und Davidson, mit D.K. Lewis und M. Heller oder mit W. Sellars und Seibt 4D-Prozessontologien mehr und mehr in der Analytischen Philosophie durch. Dabei geht der Vierdimensionalismus in allen Fällen nachweislich auf das Whiteheadsche revisionäre Metaphysiksystem zurück – so auch über Umwege bei Sider. Dabei ist aus verschiedenen Gründen absehbar, dass 3D-Ansätze ins Hintertreffen geraten – nicht zuletzt mit der Ontologie der Informatik. Zweitens ist mit M. West (2009: 234) zu ergänzen: »However, it is perfectly possible to speak 4 dimensionally«. Dennoch basiert das revisionäre Programm nicht nur mit Pkt. 6.2.5 auf dem Vierdimensionalismus, sondern auf der *realistisch*,⁴⁰⁷⁶ d.h. *cyber-physisch* gewendeten – und damit gerade nicht an der defizitären bis defekten Normalsprache festgemachten Frage nach der CPSS-Adäquanz ontologischer Kategorien wie meta-ontologischer Dispositionen. Damit wird klar: Bei Sider geht es in keiner Weise um einen solchen systematischen Ratio-Empirismus und damit nicht um eine Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysik; Whiteheads bzw. Bunges *Ratio-Empirismus* ist für Sider gerade nicht gesetzt. Vielmehr stellt er fest: »my conclusions are largely a priori«,⁴⁰⁷⁷ womit er nicht in Quinescher, sondern in Russellscher Tradition verortet werden kann. Andererseits geht Sider einen ersten Schritt in die richtige Richtung, um die analytische Metaphysik wieder auf den Boden der Tatsachen zurückzuholen, indem er konstatiert: »Science is certainly relevant to metaphysics since inconsistency with a firmly established scientific theory is as good a reason against a theory as one could ask for«. ⁴⁰⁷⁸ Diese Auffassung macht sich Sider (2001: 42 ff.) zu Nutze, wenn er den Presentismus auf Basis der Speziellen Relativitätstheorie zurückzuweisen sucht, was zur Begründung von Siders Vierdimensionalismus essentiell ist.⁴⁰⁷⁹ Für die Ontologie der Informatik greift dieses Ansinnen Siders jedoch zu kurz, indem es nicht allein um eine wissenschaftliche Metaphysik (bzw. Klasse-3-Metaphysik) geht, sondern vielmehr um eine *techno-wissenschaftliche* Metaphysik (bzw. Klasse-4-Metaphysik), die gerade auch die universalen An-

⁴⁰⁷⁶ Im Sinne des *Realismus* der Popperschen *Drei-Welten-Lehre* bzw. von CYPO FOX.

⁴⁰⁷⁷ Vgl. Sider (2001: xiv).

⁴⁰⁷⁸ Ibid.

⁴⁰⁷⁹ Vgl. zu gleichem Ansinnen S. Saunders (2002).

forderungen *cyber-physischer Systemgestaltung* der Technopraxis – speziell der Informatik – mit zu beruckichtigen weiß.

Indessen besteht weder in der Idee einer wissenschaftlich fundierten Metaphysik im Allgemeinen, noch im Rückgriff auf die Relativitätstheorie zur Begründung des metaphysischen Vierdimensionalismus im Besonderen etwas Neues, indem sich dies alles bereits bei Whitehead (1919, 1920, 1922a, 1922b, 1922c, 1929a) findet, und zwar in einer weitaus systematischeren Weise als bei Sider. Auch in dieser Sache liegt die in allen Belangen überlegene Variante also im Original bei Whitehead, nicht etwa bei Sider. Wenn Sider in der Analytischen Philosophie gerade für seinen Vierdimensionalismus gerühmt wird, ist es umso merkwürdiger, dass das Original durch Sider (2001) an den relevanten Stellen nicht einmal erwähnt wird.⁴⁰⁸⁰ Das gilt auch dann, wenn es jenseits von Siders darauf aufgesetzter fragwürdiger Stadientheorie steht, die wiederum vom Quine-Schüler D.K. Lewis stammt. Dass jeglicher Hinweis fehlt, dass die ratio-empirische Begründung des metaphysischen Vierdimensionalismus in seiner empiristischen Herleitung von der Relativitätstheorie gute achtzig Jahre vor Sider durch Whitehead längst vollzogen wird, ist als handwerklicher Mangel zu werten. Allerdings ist die fehlende Würdigung des Whiteheadschen Werks mitsamt seiner epochalen Verdienste – bis auf Ausnahmen wie jener Seibts – durchaus als typisch in den Reihen der Analytischen Philosophie zu konstatieren. Denn Whiteheads revisionäre Position und der damit verbundene OE-Ansatzpunkt steht im direkten Gegensatz zur defekten Position der deskriptiven Metaphysik mitsamt ihrem ebenso defekten linguistischen OE-Ansatzpunkt. Dass Whitehead unerwähnt bleibt oder gar diskreditiert wird, ist dann nachvollziehbar, wenn er den linguistischen bzw. sprachphilosophischen Zugang zur Ontologie gerade aus guten Gründen ablehnt. Somit besteht auch hier ein tatsächlicher Bedarf, das Whiteheadsche Werk im Kontext der ontologischen Erfordernisse cyber-physischer Systeme mit Pkt. 4.2 zu rehabilitieren. Das gilt umso mehr, als die durch Shields (1996, 2003) ausgemachte Schnittstelle zwischen Prozessphilosophie und Analytischer Philosophie in keiner Weise am Whiteheadschen Metaphysikkern vorbeikommt. Das gilt gerade auch für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, indem diese die CPSS-Adäquanz ontologisch zwingend einfordert.

Insgesamt betrachtet werden drei wesentliche Unterschiede zwischen den spekulativen Ontologie- bzw. Metaphysikansätzen Siders und Whiteheads deutlich: (i) bei Whitehead geht es um Kosmologie und damit um das systemische Ganze; Sider hingegen betreibt *Stückwerktechnologie* zum Zwecke der offenbar notwendigen fundamentalen Aktualisierung der Analytischen Philosophie. Diese ist durchaus vor dem Hintergrund von Shields (1996, 2003) zu sehen, da die Analytische Philosophie im Kern – jenseits der Stadientheorie – durch den Whiteheadschen (1920, 1929a) ereigniszentrierten Vierdimensionalismus modernisiert wird. Siders Stückwerktechnologie begründet sich nicht nur durch den Ver-

⁴⁰⁸⁰ Das Whiteheadsche Werk wird bei Sider (2001: 3, Fn. 2; 75) allein auf Whitehead (1920) reduziert und nur kurz in zwei relativ belanglosen Zusammenhängen erwähnt.

zicht auf einen systematisch betriebenen *Ratio-Empirismus* als vielmehr durch den Umstand, dass Sider – wie Whitehead – Ereignisse und Objekte zulässt, jedoch ihre genaue Verhältnisbestimmung im Begründungszusammenhang im Unklaren bleibt. Wenn auch Sider den Stellenwert erfahrungswissenschaftlicher Schlüsseltheorien betont, hat dieser Kern mit erfahrungswissenschaftlichen Theorien zu korrespondieren, weil *Scientific Ontologies* ansonsten Makulatur sind. Das wichtige Zusammenspiel zwischen universaler und regionalen Ontologien wird in Siders Verzicht auf den Ratio-Empirismus zwangsläufig nicht berücksichtigt. Ohne dieses Zusammenspiel ist jedoch jede Ontologiekonzeption problematisch bzw. in ihrer Universalität eingeschränkt, weil sie nicht die sachgerechte Repräsentation von *Scientific* resp. *Technological Ontologies* zulässt. Vielmehr müssten diese auf Basis von Siders "ordinary conceptual scheme" aufbauen, was jedoch als defekt bzw. defizitär zu werten ist. (ii) Ein systematischer *Ratio-Empirismus* ist nur bei Whitehead gegeben und gestaltet sich dort als echtes "Interplay" zwischen Metaphysik und Wissenschaft bzw. Technologie. (iii) Whiteheads *Procedere* zielt auf ein in sich konsistentes und transdisziplinär mit allen Wissenschaften, allen Technologien und aller Praxis korrespondierendes Kategoriensystem; bei Sider (2001) geht es hingegen um deskriptive Metaphysik, die sich nach wie vor im OLP-Sinne auf ein "ordinary conceptual scheme" beschränkt, dessen traditionelle Fehler Sider zu korrigieren sucht. Insgesamt steht damit außer Frage, dass auch der Metaphysikansatz Siders jenen Whiteheads nicht annähernd ersetzen kann. Denn für die Ontologie der Informatik kommt es im Sinne der Computer- bzw. Digitalmetaphysik gerade auf die durch Sider nichterfüllten Aspekte an. Die fundamentale prozessontologische Referenzbasis ist also auch nach diesem letzten Alternativentest im Whiteheadschen System zu sehen.

Alle hier behandelten Prozessontologien einschließlich der Ansätze von D.K. Lewis, Rescher, W. Sellars, Seibt, M. Heller sowie Siders sind für die Ontologieforschung überaus wertvoll. Denn die tatsächlich beste Ontologiekonzeption lässt sich nur bestimmen, wenn es dazu Koordinaten gibt. Alle Ansätze verdeutlichen in der angezeigten komparativen Diskussion, worin die kritischen Fragen bestehen und worin sich ihre prozessontologischen Gemeinsamkeiten begründen. Letztlich reichen alle Ansätze – ungeachtet ihrer großen Heterogenität und Individualität – auf Whitehead zurück, indem dieser den Vierdimensionalismus im Zeichen des ontologischen Ereignis- und Prozessparadigmas begründet und damit das tradierte Substanzparadigma ersetzt. Es ist Seibt anzurechnen, dass sie auf diese Tatsache in hinreichendem Maße verweist. Mit Pkt. 1.1 besteht die große Konfusion in der Ontologiefrage offenbar nicht nur zwischen dem Substanz- und Prozessparadigma, sondern sie setzt sich jeweils auch noch innerhalb dieser Paradigmen fort. Wie ebenfalls in Pkt. 1.1 betont, war und ist diese Vielfalt für die Philosophie nie ein ernsthaftes Problem. Mit der Ontologie der Informatik ändert sich dies jedoch elementar, indem für Zwecke der erforderlichen semantischen Interoperabilität im IoX-Hyperspace ein Fortbestehen der großen Konfusion in der Ontologiefrage inakzeptabel wird. Eine vollumfängliche semantische

M2M-Interoperabilität setzt im Zuge der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, bei der im Zeichen der ontologischen Interdependenz alles mit allem interagiert, die Klärung der Ontologiefrage und damit die Beseitigung ihrer großen Konfusion voraus. Gibt es kein einheitliches Ontologieverständnis, kann es auch keine vollumfängliche semantische Interoperabilität geben. Ein einheitlicher, CPSS-adäquater Ontologiebegriff wie eine integrierte Ontologiekonzeption sind vielmehr als Grundvoraussetzung für die Integrationszwecke der Informatik im CPST- bzw. IoX-Hyperspace zu erachten. Echte Lösungen dazu gibt es genauso wenig wie zur Überwindung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems als solchem. Zumeist wird nicht einmal das Problem an sich erkannt; tiefere philosophische Kompetenz fällt mit tieferer IT-Kompetenz bei gleichzeitig tieferer Kenntnis des breiten Spektrums intelligenter IoX-Anwendungsszenarien und ihrer Automatisierungsprobleme selten zusammen. Das ändert jedoch nichts an der Existenz dieser elementaren Problematik, deren potentielle Auswirkungen bei vollautomatisierten Systemen in kritischen Prozessen kaum im Detail antizipierbar sind. Dabei ist evident, dass es im Sinne McCarthys (1995) nur genau *einen "general world view"* geben kann, indem es die Metaphysik als Weltauffassung ist, die im Zeichen der *Top-level Ontologie* sämtliche Kategorien in Auswahl und Verhältnisbestimmung wie alle meta-ontologischen Aspekte bestimmt. Solange hingegen eine fundamentale Heterogenität in den Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen gegeben ist, bleibt eine vollumfängliche semantische Interoperabilität im IoX-Hyperspace im Sinne der Heavyweight-Ontologie unmöglich.

Ausgehend von der in Pkt. 5.2 bis Pkt. 5.6 herausgearbeiteten Erkenntnis, wonach eine metaphysische Fundierung einer CPSS-adäquaten *Top-level Ontologie* nicht auf der Substanzmetaphysik gründen kann, erfolgte in diesem Pkt. 5.7 die um die Debatte um die zentrale Ereigniskategorie zentrierte Auseinandersetzung mit dem Spektrum prozessontologischer Ansätze. Im Zuge dieser Evaluierung wurde deutlich, dass eine CPSS-adäquate prozessmetaphysische Fundierung letztlich allein auf eine techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik hinauslaufen kann, die zugleich Computer- bzw. Digitalmetaphysik ist. Im Zuge der Reflexion der unterschiedlichsten Prozessontologien ist deutlich geworden, dass es gegenwärtig nur einen sachgerechten Ansatz gibt, nämlich die Kosmologie Whiteheads. Dabei handelt es sich zugleich um jene Prozessmetaphysik, auf die letztlich alle anderen Prozessontologien ungeachtet ihrer großen Heterogenität entwicklungsge-
schichtlich zurückgehen. Das Original hat also nichts an seiner Richtigkeit verloren; vielmehr erscheint es erforderlich, es in eine besser verständliche Variante zu übersetzen, wie es gerade für eine *ereigniszentrische, prozessontologische Top-level Ontologie* erforderlich wird. Damit wird insgesamt deutlich, dass sich auch die CPSS/SEA-orientierte kritische Evaluierung und Selektion der einzelnen TLO-Theorieanwärter an der einzig CPSS-adäquaten Klasse-4-Metaphysik, namentlich der Whiteheadschen Prozessmetaphysik orientieren muss. Das im siebten Teil vollzogene *Requirements Engineering* hat diese Klasse-4-Metaphysik entsprechend in der Spezifikation der universalen Anforderungen der Infor-

matik vorauszusetzen. Analoges gilt, wenn es um die Frage einer TLO-Synthese geht; auch diese hat auf dem Fundament der Whiteheadschen Prozessmetaphysik als techno-wissenschaftlicher Klasse-4-Metaphysik, die zugleich Digitalmetaphysik ist, aufzubauen. Analoges gilt für CYPO FOX als integrierter Ontologiearchitektur. Indem dieses metaphysische Fundament mit dem CPST- bzw. IoX-Hyperspace korrespondiert, ist es auch dauerhaft stabil. Dessen ungeachtet ist es Whitehead (1929a), der im Sinne des *Ratio-Empirismus* die stetige Infragestellung bzw. Reflexion jeden, und damit auch seines eigenen metaphysischen Systems als wissenschaftstheoretisch notwendiges *Procedere* explizit einfordert.

5.8 Zwischenfazit: IoX-Hyperspace, Cyber-Physik und IoX-adäquate Ontologie

»A representation is called metaphysically adequate if the world could have that form without contradicting the facts of the aspect of reality that interests us.«

— John McCarthy/Patrick J. Hayes (1969: 469)

Wenn das Gros der Informatiker die Informatik nicht im ursprünglich universalen Sinne Leibnizens auffasst, ist es um die Philosophie nicht besser bestellt: das Gros der Philosophen versteht die Philosophie nicht im ursprünglich kritischen Sokratischen bzw. dialektischen Sinne Platons, sonst würde sie anders praktiziert. Sie ist gewiss nicht lediglich Sprachkritik, genauso wenig wie sie nicht bloß Phänomenologie ist. Wittgenstein liegt richtig, wenn er die Philosophie als Tätigkeit begreift, als Reflexion; nicht als Doktrin. Allerdings geht es um Reflexion im Ganzen, und damit um eine andere Ebene als bei diesem. Auch ist Philosophie durchaus systematisch in dem Sinne, dass alle Philosophie von einem Ganzen ausgeht, von der Metaphysik als *Erster Philosophie*. Um diese kommt keine Philosophie umhin; metaphysische Dispositionen sind jeder Philosophie inhärent. Aber darum muss es in der Philosophie zuvorderst gehen, um den metaphysischen Diskurs, um die neutrale unvoreingenommene Reflexion der Systeme, die am universalen Status der Metaphysik festmacht und in der Reflexion der fundamentalen Strukturen aller Welten entsprechend eines techno-wissenschaftlichen Anschlusses erfordert. Doch darum geht es bis dato kaum; die Philosophen denken in ihren Systemen, in ihren Schulen und bleiben regelmäßig ihren Dogmen verhaftet. Zwar bedürfen die einzelne Systeme des Auf- und Ausbaus, doch im Ganzen muss es um das genaue Gegenteil davon gehen: um schöpferische Zerstörung der Gedanken, um rigorose Kritik, denn allein auf diesem Wege, im Vollzug der Philosophie als Tätigkeit, in der unbestechlichen Reflexion kann die Philosophie als Disziplin überleben. Demgegenüber bedeutet ein Festhalten an Dogmen Stillstand; sie werden ihr zum Verhängnis.

Der Umstand, dass McCarthys (1995) Hilfsersuchen an die Philosophie entweder von dieser nicht gehört oder im Ganzen nicht verstanden wurde, ist symptomatisch für eine degenerierte Disziplin, die keine wirklichen Antworten auf wesentliche Fragen besitzt. Die Tatsache, dass mit Whitehead genau jenes Werk mit Pkt. 4.2 zunächst zu rehabilitieren ist, auf dessen Basis sich alle wesentlichen Antworten entwickeln lassen, besagt ein übriges.

Dass seine Mächtigkeit unverstanden blieb, dass man seinen Antimaterialismus bekämpfte oder ihm einen Naturalismus bescheinigte, zeigt auf, dass die Philosophie nicht reif ist für das Zeitalter synthetischer Realität. Philosophie wird nicht jenseits von Dogmen praktiziert, nicht als Tätigkeit, womit sie sich schließlich selbst erledigt hat. Als Disziplin verstanden, betreibt sie gegenwärtig in erster Linie Nachlassverwaltung. Umgekehrt ist keine echte Metaphysik *en vogue*, keine, die tatsächlich all ihre Teile systematisch begründen könnte. Dabei wird sie im Zeitalter artifizierlicher Automaten resp. synthetischer Realität mehr denn je gebraucht; aber dazu wie zur Computerphilosophie im Speziellen hat die Philosophie jenseits von Ausnahmen wie jener Mainzers kaum wirklich etwas zu sagen. Das liegt an ihrem verfehlten Selbstverständnis. Philosophie als Tätigkeit muss den dialektischen Diskurs der Systeme suchen, ihr Für und Wider herausstellen, und schließlich bei prinzipieller Heterogenität der Axiome stets auf ihre Synthese pochen. Das aber kann allein auf einer tatsächlich universalen Grundlage gelingen. In diesem Sinne zeichnen sich die Systeme von Leibniz und Whitehead in besonderer Weise aus, indem sie genau auf diese Synthese zielen, was wiederum ihre besondere Mächtigkeit bedingt. Dass aber gerade diese Systeme in den philosophischen bzw. ontologischen Diskursen der Informatik kaum eine Rolle spielen, zeigt auf, dass es hier genauso am philosophischen Grundverständnis ermangelt wie umgekehrt dem Gros der Philosophie am technologischen. Slomans (1978) Prophezeiung, wonach jeder nicht mit den fundamentalen, d.h. metaphysischen bzw. epistemologischen Voraussetzungen der AI-Technologie vertraute Philosoph Gefahr läuft, der professionellen Inkompetenz bezichtigt zu werden, ist mit der philosophischen Synthese bei Leibniz und Whitehead nicht von der Hand zu weisen; sie hat sich im Grunde als richtig herausgestellt.

Die in diesem fünften Teil vollzogene Reflexion hat gezeigt, auf welcher Basis versucht wird die philosophische Grundlegung der Informatik zu realisieren. Auch dabei bleibt man regelmäßig in der einen oder anderen Denkschule; die TLO-Theorieanwärter bringen diese Dogmatik in die Informatik. Das ist anders auch gar nicht möglich, allerdings verlangt ihre prinzipielle Heterogenität auch hier einen gänzlich anderen Umgang mit den Ansätzen in dem oben beschriebenen Sinne. Das gilt umso mehr, als die einzelnen Schulen sehr viel enger zusammenhängen, als manch Ontologe es wahrhaben will. Ohne die elementaren Grundlagen bei Platon und Aristoteles, Leibniz und Kant, sowie schließlich der Totalsynthese bei Whitehead lässt sich keine in der Diskussion um die philosophische Grundlegung der Informatik bemuhnte Strömung verstehen. Zwischen Philosophie und Informatik besteht letztlich eine enge Interdependenz, die umso mehr hervortritt, je mehr die AI-Disziplin zum Kern von letzter avanciert. Mit diesem Kern besteht eine zweite elementare Agentenklasse, womit die Informatik im Sinne von Minsky (1997: 25) für die Philosophie überaus wesentliche Einsichten vermitteln kann. Das gilt im Grunde in jeder Hinsicht; es betrifft die Intelligenz und Kognition genauso wie etwa Repräsentationssprachen; ihre Relevanz besteht von der Ontologie, Epistemologie und Methodologie bis hin zur formalen Logik.

Mit Sloman/Scheutz (2002) muss es sowohl in der Philosophie wie in der AI-Disziplin in fundamentaler Hinsicht um den Vergleich der Agentenklassen bzw. Agentenarchitekturen gehen. Mit Cyber-physischen Systemen, Artefakten der synthetischen Realität und erweiterter Realität geht es um die fundamentalen Strukturen der Realität als solche, um Metaphysik. Welcher Philosoph will die Position Minskys (1997: 25) heute noch bestreiten?

Im Zeichen McCarthys (1963a: 66) läuft die Informatik zweifellos auf *Superintelligenz* maschineller Agenten hinaus, was wesensnotwendig ist, wenn autonome Systeme in komplexen Systemen bei kritischen Prozessen alle kognitiven Funktionen übernehmen. Von tatsächlicher *Superintelligenz* wird aber erst die Rede sein können, wenn maschinelle Agenten nicht nur lernen, sondern tatsächlich in dem Sinne verstehen, dass sie zur Einheit der Erkenntnis befähigt sind. Reflexive Intelligenz ist mit Verweis auf Pkt. 1 entsprechende Vorbedingung für Superintelligenz der dritten AI-Generation. Mit ihr muss die Philosophie sehr viel stärker ins Spiel kommen, als es bisher geschieht. Erforderlich ist die konkrete Umsetzung eines philosophischen Systems im Ganzen, wie es mit dem CPST- bzw. IoX-Hyperspace offensichtlich wird. Davon sind Informatik und Philosophie heute noch ein gutes Stück entfernt, doch setzt wirkliche Intelligenz der Maschinen dies unwillkürlich voraus. IoX-adäquate Ontologie ist meta-ontologisch wie kategorial disponiert, womit sie immer im Leibnizschen Sinne als *metaphysica generalis* zu verstehen ist, über die sich die Wissensontologie im Zeichen des IMKO *OCF* begründet. Auf allen philosophischen Grundlagen, die hier reflektiert wurden, lässt sich die notwendige philosophische Fundierung nicht errichten. Vielmehr ist das Gegenteil der Fall: setzt man auf diese Ansätze, so versperren sie systematisch den Zugang zum eigentlich erforderlichen "*general world view*", auf dessen Grundlage eine fortschrittliche, um den AI-Kern zentrierte Informatik aufbauen kann. Dennoch sind die hier diskutierten Ansätze elementar, wenn es gilt, die eigentliche *Metaphysik der Informatik* herauszuarbeiten. Denn die Gesamtsicht auf all diese Ansätze lässt erkennen, wie die tatsächliche Metaphysik der Informatik beschaffen sein muss – und wie nicht.

Mit Blick auf die Integrationszwecke der Informatik muss Einigkeit bestehen nicht nur bezüglich der adäquaten Konzeption der fundamentalen Strukturen Cyber-physischer Systeme und damit der physischen Realität. Vielmehr ist dies damit auch hinsichtlich der Wissensstrukturen erforderlich, indem sie sich an der Realisation einer prinzipiellen *Einheit des Wissens* orientieren muss. Indem dies allein mithilfe der metaphysischen Kategorien gelingen kann, die bei der Klärung der fundamentalen Strukturen cyber-physischer Welten identifiziert werden konnten, ist evident, auf welche Weise dies nicht gelingen kann: Die strukturelle Entsprechung der Integrationszwecke der Informatik kann weder über den Naturalismus Quines noch über den Materialismus Bunges gelingen, denn weder der Naturalismus noch der Materialismus verkörpern eine *transdisziplinäre* Einheitsidee. Natürlich lässt sich eine solche Einheitsidee auch nicht etwa über die Analyse der Sprache herstellen. Insofern ist evident, dass das richtige Metaphysikverständnis auch nicht in der deskriptiven

Metaphysik Strawsons (1959) bestehen kann, indem auch sie diese Einheitsidee nicht zu verkorpeln versteht. Mit Pkt. 6.2.2 ist diese Einheit allein über die *revisionäre Klasse-4-Metaphysik* herstellbar. Das Transdisziplinaritätsmoment kann nur durch eine Metaphysik realisiert und gewährleistet werden, die tatsächlich universal ist, d.h. alle Diskursuniversen und alle Domänen transzendiert. Die Domänen sind dabei wissenschaftlicher, technologischer wie als universale Entscheidungslogik praxeologischer Natur.⁴⁰⁸¹ Insofern wird offensichtlich, dass weder ein sprachphilosophischer noch materialistischer Zugang zur Ontologie diese Transdisziplinarität eröffnen kann. Vielmehr ist diese Transdisziplinarität unmittelbar an die Cyber-Physik gekoppelt, indem es um Erfahrungs- wie Strukturwissenschaften geht, um Naturwissenschaften wie um Simons (1969) *Sciences of the Artificial*.

Indem Cyber-physische Systeme (CPS) *Systeme* bilden, ist weder eine Reduktion auf ihren materialistischen noch auf ihren idealistischen Part möglich. Es geht um die Cyber-physischen Systeme als solche und damit um Systemontologie; mit der Struktur dieser Systeme um Relationenontologie, mit dieser um komplexe Systeme. Mit ihrem Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit wiederum um den CPST-Hyperspace im Ganzen, der die Ontologie mit CYPO FOX als *Vier-Welten-Ontologie* impliziert. Eine techno-wissenschaftliche Einheit, die immer auch eine Einheit der Technopraxis bedeutet, kann es nur geben, wenn auch die Metaphysik eine *techno-wissenschaftliche* Metaphysikvariante repräsentiert, die zugleich Computer- bzw. Digitalmetaphysik ist. Alle in diesem fünften Teil behandelten philosophischen Ontologien resp. Metaphysiken werden dieser indessen nicht im Ansatz gerecht. Alle philosophische Ontologie, selbst die durch McCarthy (2000) favorisierte Quines, scheitert letztlich bereits an den Erfordernissen der Cyber-Physik bzw. am kausalen CPS-Systemaspekt. Keine einzige Philosophie ist auf diese Cyber-Physik angelegt, außer die Leibniz-Whiteheadsche. Die Ontologie der Informatik ist umgekehrt jedoch genauso Ontologie der Philosophie. Mit der synthetischen Realität, die faktisch ist, muss die ganze Tradition in jeder Hinsicht umdenken. Die synthetische Realität ändert alles. Mit ihr lässt sich weder die Philosophie von der Wissenschaft, Technologie und Praxis trennen, noch in Bezug auf kausal in die Realität eingebundene Artefakte behaupten, dass kein objektives Wissen möglich ist. Mit diesem wird wiederum deutlich, dass auch die platonistische Position allein nicht hinreichend ist; es kommt auf ihre Kombination mit der aristotelischen an, wie es dem Leibnizprogramm bzw. dem Ratio-Empirismus Whiteheads entspricht. Insofern ist ein streng positivistischer Modus der Ontologie im Sinne der Welt 1 (W1A) im Sinne von *Scientific Ontologies* zwingend und im Zeichen des technologischen Zugangs zur synthetischen Realität begründbar. Mit der insgesamt erforderlichen Inkorporation der aristotelischen in die platonische Position und des im Sinne der Cyber-Physik

⁴⁰⁸¹ Eine solch *universale Entscheidungslogik* stellt sich als Problemlösungsverfahren für eine Klasse gleichartiger Aufgaben dar, die aus einer eindeutig definierten, endlichen Folge von Operationen bestehen. Das *Entscheidungsproblem* ist mit Hilbert/Ackermann (1928: 73) dann »gelöst, wenn man ein Verfahren kennt, das bei einem vorgelegten logischen Ausdruck durch endlich viele Operationen die Entscheidung über die Allgemeingültigkeit bzw. Erfüllbarkeit erlaubt«, ohne Hvh. des Orig.

überwundenen Cartesischen Dualismus erreicht die Philosophie ein neues Stadium. Wenn die synthetische Realität als faktisch behandelt werden muss, ist die Cyber-Physik in der Metaphysik gesetzt, womit gilt: Alle Vor-Leibnizsche Philosophie ist *ad acta* zu legen, denn sie ist in der Weise, in der ihre Positionen korrekt sind, in dieser als Symbiose aufgegangen. Indem es bei der Cyber-Physik synthetischer Realität unmittelbar auf eine aktuelle empiristische Universalsynthese bzw. den Ratio-Empirismus techno-wissenschaftlicher Metaphysik ankommt, ist immer der aktualisierte Leibniz zu bemuhlen, d.h. die Whitehead-sche Prozessmetaphysik. Auf diese müssen alle Disziplinen, allen voran die Informatik rekurren, wenn mit McCarthys (1995) "*general world view*" im relationalen Automatenuniversum die *Belief Revision* aller Agenten und Agentenklassen ansteht.

6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien

»[T]he design options for top-level ontologies are identical to the ontological choices discussed in the branch of philosophy called metaphysics [...].«

— Luc Schneider (2003c: 121)

Wie die vorausgehenden fünf Teile offenbaren, lässt sich die Ontologiefrage – vermeintlich – auf höchst heterogene Weise bestimmen, indem sie sich auf gänzlich disparaten Philosophien und unterschiedlichen "Urstoffen" des Universums begründen lässt. Was für die philosophische Ontologie zutreffend ist, setzt sich auf der Ebene der *Top-level Ontologie* als oberste Ontologieebene der Informatik im Zeichen des Spektrums heterogener TLO-Theorieanwörter unvermittelt fort. Das betrifft zum einen mit Pkt. 6.1 die fundamentalen meta-ontologischen Entscheidungen sowie mit Pkt. 6.2 die darauf aufbauenden meta-ontologischen Dispositionen in speziellerer Hinsicht. Die fundamentalen Fragen der Meta-Ontologie lassen sich dabei im Kontext *Cyber-physischer Systeme* (CPS) mit Verweis auf die in allen fünf Teilen geführten ontologischen resp. metaphysischen Debatten auf folgende drei zentrale Ausgangsfragen verdichten:

- (i.) Sollte eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption auf den klassischen Objektontologien, die auch als "Furniture-Ontologien" bezeichnet werden, aufbauen oder vielmehr auf ereigniszentrischen Prozessontologien? Diese grundlegende Diskussion wird den Gegenstand von Pkt. 6.1.1 bilden.
- (ii.) Kann eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption rein auf Materie fixiert sein, wie es etwa die Bunesche Ontologie in der Existenz- und damit Realitätsfrage impliziert? Sollte demgegenüber das rein Immaterielle wegweisend sein? Kann die Lösung dieses Gegensatzes im aristotelischen Hylemorphismus bestehen, der einen festen Form-Materie-Verbund zur Konsequenz hat? Oder ist vielmehr die Lösung im Strukturalismus zu sehen, mit dem die Form-Materie-Dichotomie überwunden wird, indem beides auf eine universale Basis gestellt wird, in der gleichzeitig das Fundament einer tatsächlich universalen Ontologie auszumachen ist? Darauf wird in Pkt. 6.1.2 einzugehen sein.
- (iii.) Mit den ersten beiden Fragen ist die dritte bereits im Kern beantwortet, nämlich jene, ob einfache Klassifikationen für eine CPSS-adäquate Ontologie ausreichend sind oder ob sie vielmehr zwingend einer Kategorialanalyse bedarf? Diese Frage lässt sich grundsätzlich dahingehend entscheiden, dass eine CPSS-adäquate Ontologie im Sinne der Heavyweight-Ontologie eine Kategorialanalyse voraussetzt. Doch um was für Kategorien geht es dabei? Sind damit ontische oder epistemische Kategorien gemeint; linguistische, mathematische oder metaphysische? Stehen diese Kategorien in einem Bezug zur Ontologie der Erfahrungswissenschaften? Haben sie in einem dezidierten Bezug zur Komplexitätsfrage zu stehen, wie es etwa bei Grossmann (1992) der Fall ist? Handelt es sich um Kategorien, die wie bei Aristoteles im Kontext der Substanzmeta-

physik stehen, oder geht es wie bei Rescher (1996) demgegenüber explizit um Prozesskategorien? Und schließlich: wenn für die CPSS-adäquate Ontologie mit der Top-level Ontologie ein solches Kategoriensystem vorauszusetzen ist, wie ist dieses im Rekurs auf die jeweilige philosophische Bezugsbasis sachgerecht zu eröffnen? Sind mit Blick auf die Frage der Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis in Pkt. 4.4 Objekte oder Ereignisse primär? Diese Fragen werden in Pkt. 6.1.3 weiter aufzuhellen sein.

Indessen reichen die Probleme der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* über diese drei elementaren Fragekomplexe weit hinaus. Vielmehr sind in Pkt. 6.2 ff. eine ganze Reihe meta-ontologischer Dispositionen zu bestimmen, die auf den fundamentalen meta-ontologischen Entscheidungen in Pkt. 6.1 ff. aufbauen. In Pkt. 1.1 wurde die *fundamentale Änderungsproblematik* der Ontologiearchitektur diskutiert; sie ist insbesondere deshalb gegeben, weil die Ontologie nicht nur prinzipiell jedes Feld der Informatik durchdringt, sondern weil sie vielmehr all ihren Modellen und Systemen, Strukturen bzw. Architekturen, ihren Technologien und Werkzeugen bis hin zu ihren Programmier- bzw. Repräsentationssprachen sowie ihren Logikkalkülen inhärent ist. Das betrifft dabei nicht allein die Frage der Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis bzw. den Gegensatz von Objekt- vs. Ereigniszentrismus. Mit Blick auf diese *fundamentale Änderungsproblematik* ist zu überprüfen, ob alle in Pkt. 6.1 ff. bzw. Pkt. 6.2 ff. vorgenommenen meta-ontologischen Grundsatzentscheidungen bzw. Dispositionen mit jener Ontologiearchitektur konform gehen, die die *Superintelligenz* der dritten AI-Generation im Zeichen vollumfänglicher semantischer Interoperabilität verlangt. Diese Frage wird abschließend in Pkt. 6.3 aufgegriffen, indem alle Ontologieforschung einem Ziel verpflichtet ist, das allein in einer echten Adäquanz aller Ontologie in Bezug auf *Cyber-physische Systeme* (CPS) einerseits, und in Bezug auf die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) andererseits zur vollendeten Entfaltung von *Artificial Superintelligence* (ASI) bestehen kann. Denn mit McCarthy (1963a: 66) läuft die Informatik direkt darauf hinaus, wenn Computer als *Reality Machines* resp. maschinelle Agenten sich in den komplexen Ereignisströmen der Whiteheadschen Cyber-Physik so intelligent wie möglich verhalten müssen. Wenn McCarthy (2008: 737 f.) den Unterschied zwischen einfacher ANI- und AGI-Intelligenz in fundamentaler Hinsicht darin ausmacht, dass erste weniger wissenschaftliche und philosophische Präsuppositionen besitzt als letztere, dann setzt sich dies mit zunehmender Intelligenz genauso fort: Die Konsequenz besteht darin, dass *Artificial Superintelligence* (ASI) umfassendste metaphysische Präsuppositionen erforderlich macht, nämlich ein in sich geschlossenes Metaphysiksystem, das von der richtigen Auffassung cyber-physischer Realität über die Kenntnis wesentlicher metaphysisch durchgängiger wie transdisziplinär verankerten *Scientific Ontologies* bis zu einer superintelligenten Agenten- und Ontologiearchitektur reicht. Mit anderen Worten setzt die Realisierung von *Artificial Superintelligence* (ASI) den vollen Zugriff auf die Metaphysik der Informatik voraus, wie umgekehrt ASI für

den Kern der Informatik in einem zunehmend intelligenten CPST- bzw. IoX-Hyperspace prägend wird. Die Disziplin wird also *Artificial Superintelligence* (ASI) nur dann erreichen können, wenn sie sich ihrer eigentlichen metaphysischen Fundamente wie der eigentlichen Bedeutung ihres Leibnizschen Ursprungs im Sinne des Leibnizprogramms gewahr wird: wenn sie die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik und ein darauf aufsetzendes *Ontological Computing* in allen fundamentalen Fragen aller ontologisch interdependenten Integrationsszenarien einheitlich voraussetzen versteht.

Gewiss lässt sich die Debatte um Superintelligenz in der einen oder anderen Hinsicht kritisch führen, was auch erforderlich ist. Andererseits sollte nicht übersehen werden, dass Computer, die nunmehr zu *cyber-physischen "Reality Machines"* avancieren, die mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, schon in koordinativer Hinsicht in keiner Weise auf dem in dieser Sache inferioren Niveau menschlicher Intelligenz verhaftet bleiben können. So gesehen implizieren *Cyber-physische Systeme* (CPS) nicht nur das Erfordernis der Realisierung einer *Smart Enterprise Architecture* (SEA), sondern sie verlangen unter kognitiven Aspekten nach *Superintelligenz*, auf die die Ontologiearchitektur entsprechend in MAS/CAS-Hinsicht explizit auszulegen ist. Dabei steht außer Frage, dass Superintelligenz nicht allein auf AI-Aspekte wie *Deep Learning* einzuschränken ist, sondern dass es neben dem *Lernen* vor allem um das *Verstehen* und damit um eine *Inkontextsetzung* des Erlernen gehen muss. Für superiore maschinelle Agenten reicht das Erlernen von Sachverhalten nicht aus; sie fordern vielmehr das Verstehen für die Einheit ihrer Erkenntnis. Dazu benötigen gerade auch maschinelle Agenten Kategorien, die zugleich ihr Wissen strukturieren. Dabei ist die Besonderheit zu beachten, dass es sich um CPS-Agenten handelt, die ihrerseits Teil der synthetischen Realität sind. Demnach muss ihr Wissen jenes objektive Wissen inkorporieren, auf dessen Basis der Bau solcher technologischer Systeme an sich basiert und ihre nahtlose Einfügung in die physische Realität möglich wird. Es geht also um Wissen im Popperschen Sinne. Die Einheit der Erkenntnis setzt auch bei maschinellen Agenten reflexive Intelligenz voraus; in dieser Hinsicht gibt es bei kognitiven "Leibnizschen Agenten" keine Intelligenz ohne Wissen, und kein Wissen ohne transdisziplinäre Struktur, ohne Kategorien. Entsprechend ist die maschinelle Agentenwelt keineswegs reine Mathematik i.S. des mathematischen Strukturalismus, worauf das *Deep Learning* weist; vielmehr geht es um echtes fallibles Wissen über diese Strukturen, was entsprechend auf die fundamentalen Strukturen, mithin auf die Metaphysik verweist. Superintelligenz der dritten AI-Generation ist entsprechend nicht einzulösen ohne die Voraussetzung der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* (IMKO OCF) und der integrierten CYPO FOX Ontologiearchitektur als Mehrweltenontologie. Insofern ist mit der Superintelligenz der dritten AI-Generation auch die Idee hybrider Agentenarchitekturen neu zu beleben, die dann jedoch ebenfalls mit dem IMKO OCF auf eine neue Basis zu stellen ist. Diese muss im Zeichen der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* auf eine *neue Informationstheorie* hinauslaufen, die im

CEP/SCEP-Sinne von Pkt. 6.2.1 physisch-syntaktisch wie in der TLO-Referenz zugleich semantisch ist.⁴⁰⁸²

6.1 Fundamentale meta-ontologische Entscheidungen

»Ontologies are becoming increasingly important for software and knowledge processing. Communication between different areas and the semantic foundation of domain knowledge require a uniform framework based on an interdisciplinary, general ontology, a so-called top-level or foundational ontology.«

— Heinrich Herre/Barbara Heller (2006: 108)

Wie in den Grundlegungen in Pkt. 3.1 festgestellt, gibt es vier *fundamentale* meta-ontologische Entscheidungen, die nur eine "Entweder-oder-Entscheidung" zulassen. Diese Entscheidungen stehen im fundamentalen Zusammenhang *metaphysischer* Ontologie: (i) das in Pkt. 6.1.1 behandelte Votum für den Gegensatz von *Ontologie des Seins vs. Ontologie des Werdens*; (ii) den in Pkt. 6.1.2 erörterten Widerstreit von *Form vs. Materie*; (iii) der in Pkt. 6.1.3 näher untersuchte Gegensatz *Kategorialanalyse vs. einfache Klassifikation* samt ihrer transdisziplinären Wissenschaftsadäquanz; sowie (iv) die bereits im Zuge von Pkt. 4.1 sowie vor dem Hintergrund der Quine-Kritik in Pkt. 5.1 partiell erörterte Frage, ob die Ontologie die Metaphysik *notwendig* voraussetzt. Zu dieser letzten Frage wurde bereits grundlegende Erkenntnis erzielt, nämlich mit Pkt. 4.1, dass Metaphysik *möglich* ist und mit Pkt. 4.2, dass sie für die Informatik sachgerecht allein als *Klasse-4-Metaphysik* vorauszusetzen ist. Ferner wurden mit Pkt. 5.1 im Zuge der Diskussion der alternativen Gegensätze *starker Naturalismus vs. Metaphysik* die Grenzen des ersteren und die Vorteile von zweiter aufgezeigt. Auch wurde deutlich, dass entgegen McCarthy (2000) in Quines Naturalismus keine ontologische Basis für die Informatik gesehen werden kann. Ferner ist die Wesensnotwendigkeit der Metaphysik allein dann zu konstatieren, wenn es sich um eine *ratio-empirische Metaphysik* handelt. Allerdings spielt diese bis auf die Ausnahme von zwei TLO-Ansätzen bislang in der Informatik im Grunde keine Rolle, wobei allein die Sowa-TLO als *Klasse-4-Metaphysik* die richtige metaphysische Basis wählt, während die BWW-TLO als *Klasse-3-Metaphysik* ihren metaphysischen Erfordernissen nicht gerecht werden kann.

Die Frage, ob die Ontologie die Metaphysik im Zeichen der *Meta-Ontologie* tatsächlich *notwendig* voraussetzt, geht jedoch noch einen Schritt weiter. Für die richtige Orientierung in der Ontologiedebatte ist gerade sie entscheidend, und so sollte sie formuliert werden: nämlich im binären Sinne, die entweder nur ein klares "Ja" oder ein klares "Nein" als Antwort zulässt und dabei die Kernproblematik in objektiv nachvollziehbarer Weise auf den Punkt bringt. Darauf zielen die *fundamentalen* meta-ontologischen Entscheidungen im Folgenden ab, wenn diese immer auf eine "Entweder-oder-Entscheidung" hinauslaufen. Der Diskurs zur Beantwortung dieser Frage gestaltet sich einfach, indem lediglich erstens zu bestimmen ist, ob es zulässig sein kann, die *Ontologie* insgesamt unabhängig von der

⁴⁰⁸² Somit sollte diese im Zeichen von Fiorini et al. (2013) ebenfalls auf der *Top-level Ontologie* gründen.

Meta-Ontologie und kategorialen Festlegungen zu praktizieren. Zweitens ist zu klären, ob die Metaphysik zur Disposition der Meta-Ontologie wie der kategorialen Festlegungen *notwendig* vorauszusetzen ist. Bei der Klärung des ersten Schritts ist zu berücksichtigen, dass die Ontologie nicht nur an sich ein Weltmodell repräsentiert, sondern – etwa auch mit der Grammatik der Alltagssprache – mindestens implizit immer ein *fundamentales* Weltmodell voraussetzt.

Zwar verkörpert jedes *semantische Netz* so gesehen eine *Ontologie*, jedoch ist beides gerade nicht gleichsetzbar, indem erstes als solches nichts mit der eigentlichen philosophischen Reflexion gemein hat. Ein semantisches Netz ist nichts weiter als ein *linguistisches* Konstrukt. Die ganze OLP-Tradition samt der linguistischen Wende bauen auf irrigen Annahmen auf; selbst Wittgenstein (1953) verkörpert gerade explizit nicht das, was später mit Ryle und Austin als "Oxford Philosophy" propagiert wird. Denn die Feststellung des frühen Wittgenstein, dass alle Philosophie "Sprachkritik" sei,⁴⁰⁸³ gilt auch für den späten Wittgenstein. Man kann es mit ihm auch umgekehrt halten, wonach alle ontologische "Sprachkritik" *Philosophie als Tätigkeit* ist; sie ist Sache philosophischer Reflexion. Dann aber muss es im Zeichen einer integrierten Ontologiekonzeption insgesamt gerade auch um die Frage und den Stellenwert streng wissenschaftlicher Sätze gehen, ohne dabei den *Common Sense* menschlicher Agenten aus den Augen zu verlieren. Letzteres umso mehr, als es einen wie immer gearteten *Common Sense* auch bei *Artificial Societies* gibt, was bereits mit dem *Commitment-Based SOA* (CSOA) bei M.P. Singh et al. (2009) beginnt und im Leibnizischen Automatenuniversum prinzipiell ähnliche Gestalt annehmen kann wie bei menschlichen Agenten. Dennoch geht es dann auch hier um die *soziale Realität* als Welt 4, nicht um die cyber-physische Realität des CPST-Hyperspace im Ganzen. Mit dem CPST-Hyperspace kommt man nicht um die Differenzierung der vier Welttypen von CYPO FOX umhin, wenn es um eine *Mehrweltenontologie* gehen muss. Denn darauf läuft die Ontologie der Informatik hinaus, wenn es im CPST- bzw. IoX-Hyperspace bei ontologischer Interdependenz *gleichzeitig* um *Scientific Ontologies*, um technologische Ontologien im Sinne von darauf aufbauenden *Engineering Artifacts* sowie um alltagssprachliche Artefakte des *Common Sense* geht. Mit dem *U-PLM-Referenzszenario* ist der Umstand ihrer unmittelbaren ontologischen Interdependenz im Zeichen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* direkt nachvollziehbar. Demnach ist mit Pkt. 5.5 Wittgenstein (1921, 1953) *insgesamt* zu erörtern, wenn "Sprachkritik" zu vollziehen ist, und diese bezieht sich naturgemäß auf die Sprache; dann erst auf die Frage ihrer Korrespondenz zur jeweiligen Welt. Dabei ist klar, dass Ontologie im Ganzen weitaus mehr ist als Sprache, wenn diese lediglich Mittel zur *Repräsentation* der Ontologie als Welt bzw. Weltsicht ist; dieser sprachlichen Repräsentation muss aber die eigentliche ontologische Analyse immer vorausgehen. "Sprachkritik" ist nicht Satzkritik, sondern Kritik der Sprache in ihrem faktischen Repräsentationsvermögen, d.h. in ihrer Korrespondenz zur jeweiligen Welt. Umgekehrt ist die Ontologie

⁴⁰⁸³ Vgl. Wittgenstein (1921: § 4.0031).

ihrerseits mehr als die kritische sprachliche Reflexion naturwissenschaftlicher Sätze, indem wiederum an den metaphysischen Vorbedingungen solcher Sätze anzusetzen ist.

Mit Kuhn (1962) sind in allen Wissenschaften, gerade auch in den Naturwissenschaften konkurrierende Paradigmata existent: Denn das, »what the members of a scientific community, and they alone, share«,⁴⁰⁸⁴ sind primär, d.h. in fundamentaler Hinsicht *metaphysische Dispositionen* über die relevanten Welten und ihre Erfassbarkeit, insbesondere bezüglich der Realität als solche. Wie die konkurrierenden TLO-Theorieanwörter offenbaren, sind es letztlich diese, die für die Disparität der Ansätze bzw. Perspektiven verantwortlich zeichnen. Also muss ihre Synthese auch genau hier ansetzen. Dabei ist es ein grundsätzlicher Irrtum anzunehmen, dass die Normalsprache metaphysikfrei sei; sie ist es nicht; genauso wenig wie jede Idealsprache, die auf höchst verschiedenen Logikkalkülen (SC, EC usw.) aufsetzen kann. Der ganze Wittgenstein (1921, 1953) zeigt dies gerade in ILP- wie OLP-Hinsicht umissverständlich wenn auch ungewollt auf, indem mit D. Miller (1977) oder Diamond (1991) der *Tractatus* voller metaphysischer Sätze steckt, während das bei den *Sprachspielen* natürlich nicht anders ist. Denn diese entsprechen der *Commonsense Metaphysics* bei Hobbs et al. (1987) bzw. der *Natural Language Metaphysics* bei E. Bach/Chao (2012), die ihrerseits unter Strawsons (1959) *deskriptive Metaphysik* fallen, die wiederum mit K. Fine treffender als "*naive Metaphysics*" bzw. "*shallow metaphysics*" bezeichnet werden kann.⁴⁰⁸⁵ Denn sie bilden *Ersatzmetaphysiken*, die ihrerseits indizieren, dass sich das Problem der Metaphysik allein auf der metaphysischen Ebene selbst lösen lässt. Diese Lösung besteht im Whitehead-Popperschen Sinne darin, alle metaphysischen Systeme in ihrer Eigenschaft als *Erster Philosophie* einer aussagekräftigen ratio-empirischen Kritik zu unterziehen. Indessen ermangelt es in der Ontologiedebatte gerade an solcher Kritik, ohne die sich diese Debatte indessen in keiner Weise sinnvoll führen lässt. Im Ergebnis ist damit die große Konfusion erklärt, die insbesondere die eigentlichen Ontologiezwecke der Informatik maßgeblich konterkariert. Demnach kann die Lösung allein in der Freilegung der *Metaphysik der Informatik* bestehen, womit wiederum an ihren faktischen Ursprüngen bzw. eigentlichen metaphysischen Grundlagen anzusetzen ist. Das eigentliche Problem entpuppt sich dann letztlich darin, dass die Disziplin sich mit ihrer Digitalmetaphysik nie in der erforderlichen Weise beschäftigt hat und damit ihre Ursprünge entweder verkennt oder diese im Kern missverstanden hat.

Richtig verstehen lässt sich all das allein mit Leibniz, von dem auch alles ausgeht, indem alle für die Informatik in irgendeiner Weise relevanten philosophischen Ontologien faktisch auf dessen metaphysischen Logizismus aufbauen. Das gilt für Husserl wie für Whitehead, Russell und damit für sämtliche Schüler, und damit auch etwa für Wittgenstein, Carnap oder Quine. Das gilt selbst für Kants (1800) Regeluniversum sowie seinem Agenten, der mit Kants (1781) epistemologischer Position in seiner spezifischen Agenten-

⁴⁰⁸⁴ Vgl. Kuhn (1974: 460).

⁴⁰⁸⁵ Vgl. K. Fine (2016) bzw. Moltmann (2014).

welt aus guten Gründen besonders betont wird, sich im Ganzen des Automatenuniversums jedoch ungeachtet seiner besonderen kognitiven Intelligenz relativiert. Besondere Stellung kommt ihm nicht nur mit Kant als vielmehr insbesondere mit Leibniz selbst zu, indem es bereits bei diesem um *artifizielle Automaten* geht, die durch menschliche Agenten über cyber-physische Technologien im Sinne der späteren Kybernetik entwickelt werden. Denn damit geht es nicht nur um die spezielle Agentenwelt und ihre Diskrepanz zur Metaphysik als Zensoramt wie bei Kant, sondern um das technologische Agens als spezielles Vermögen der Ratio dieser Agentenklasse. Denn mit ihm verändert sich die Realität als solche im Zeichen der *synthetischen Realität*; erst diese qualitativ wie quantitativ maßgebliche Ausweitung des Automatenuniversums besitzt die eigentliche metaphysische Relevanz. Wenn sich nicht nur mit dem anderen "Urstoff", nämlich mit der *Information* und damit dem platonistischen Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit, sondern mit der genauso bereits mit Leibnizens artifiziellen Automaten gegebenen synthetischen Realität die ontologische Kernfrage "*Was gibt es?*" in entscheidender Weise ändert, zeigt sich wiederum die metaphysische Relevanz für die Ontologie. Es sind Leibnizens artifizielle Automaten, die mit Pkt. 4.6 die *Ontologie der Artefakte* genauso einfordern wie das erweiterte Realitätsverständnis, das in dieser platonistischen Linie über Whitehead bis zu Poppers Welt 3 gesetzt ist. Entsprechend ist es konsequent, wenn die Ontologiefrage genau in der Weise behandelt wird, wie sie Leibniz im Sinne der späteren Cyber-Physik Whiteheads adressiert. Das gilt nicht zuletzt auch gerade für alle ILP- und OLP-Positionen, indem diese insbesondere auf Russell, Carnap und Wittgenstein zurückgehen, die ihrerseits der Leibniz-Whiteheadschen Kosmologie verpflichtet sind.

Mit Leibnizens antimaterialistischer Metaphysik ist die Ontologie als solche immer *metaphysica generalis*, indem sie für alle Welten, insbesondere für die aktuelle Welt im Zeichen der Kosmologie Bestand haben muss. Sie muss aber auch mögliche Welten eröffnen können, wie es nicht zuletzt die Ontologieanforderungen der Informatik zeigen. Erst auf Basis des Automatenuniversums als solches geht es um Automaten, dann um Automatenklassen. Mit den informatorischen Prozessen im Universum ist Alles im Automatenuniversum *Information Processing*; in diesem Sinne ist der Informationsbegriff der Informatik entsprechend primär zu verstehen, indem seine semantische Dimension erst nachgelagert intelligenten Automaten zugänglich ist. Daraus folgt, dass die Semantik der eigentlichen Metaphysik im Sinne des IMKO *OCF* folgt; umgekehrt gilt wiederum: »metaphysics constrains semantics«. Gleichzeitig ist alles *Computing* immer *Ontological Computing*, indem dieses genauso wie Daten und Information im cyber-physischen Sinne der *metaphysica generalis* zu verstehen ist, während das Wissen erst mit der wissensontologischen Sphäre der Agenten ins Spiel gelangt. Entsprechend nachgelagert sind die speziellen Agentenklassen bei kognitiven Automaten zu behandeln. Diese Agentenklassen sind wiederum ihrerseits höchst differenziert zu betrachten, wie es das große Spektrum maschineller Agenten offenbart. Speziell bezogen auf die menschliche Agentenklasse, die im Ganzen des Leibni-

zens Automatenuniversums betrachtet einen speziellen Aspekt bildet, kann dann die Husserlsche Phänomenologie ergänzend ins Spiel kommen. Wittgensteins "Sprachkritik" ist noch spezieller, wenn es bei ihm um nicht mehr als um die Repräsentationssprache dieser menschlichen Agentenklasse geht. So gesehen zeigt sich die höchst unterschiedliche Mächtigkeit von dem, was gemeinhin als "Ontologie" bzw. "Metaphysik" verstanden wird, sofort. Damit wird auch deutlich, wie wenig qualifiziert sich zu den verschiedensten Ontologieentwürfen Stellung nehmen lässt, wenn die Einordnung in das große Ganze fehlt, wie sie allein bei Leibniz und Whitehead gegeben ist. Denn die Analyse Wittgensteins ist zwar aufschlussreich, im Ganzen des Leibnizschen Automatenuniversums jedoch völlig unzureichend. Denn die Reflexion der Repräsentationssprache ist selbstverständlich nicht nur in Bezug auf den CPST-Hyperspace im Ganzen, sondern genauso vor dem Hintergrund sämtlicher intelligenter Automatenklassen zu vollziehen. Das läuft auf Minskys (1997: 25) Argument hinaus, indem mit *cyber-physischen "Reality Machines"* die philosophischen Fragen neu zu stellen sind. In der Tat stellt sich Wittgensteins "Sprachkritik" völlig anders dar, wenn man sie auf sämtliche Agentenklassen bezieht. Analoges gilt für die Phänomenologie Husserls; auch diese ist nicht universal entwickelt, wie es jedoch das Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt* im Sinne Leibnizens wie der Kantischen Agentenwelt erfordert.

Alle philosophischen Fragen sind auf den Leibniz-Whitehead-Konnex zu beziehen, indem dieser die ganze Philosophie von ihren Anfängen bis zu Descartes obsolet macht.⁴⁰⁸⁶ Bzw. stellt er diese auf eine neue Basis, indem er nicht nur den Cartesischen Dualismus metaphysisch überwindet, sondern auch den Gegensatz der platonistischen und aristotelischen Position auf eine metaphysische Synthese bringt. Der Leibniz-Whitehead-Konnex ist die Synthese der Philosophie, und entsprechend sind alle philosophischen Fragen auf diesen zu beziehen; nicht mehr auf das, was durch diesen obsolet geworden ist oder überwunden wird. Der Leibniz-Whitehead-Konnex ist auch Ursprung aller Strukturwissenschaften, allen voran jener, die auf das zentrale Informationsmoment fixiert ist. Wenn die Ontologie der Informatik bei Leibniz und nicht etwa bei Gruber (1993, 1995) begründet wird, sollte die Disziplin sie auch so konzipieren. Dann muss der "*linguistic turn*", der durch elementare Fehlinterpretationen von Kant, Wittgenstein und anderen mit der *deskriptiven* Metaphysik vollzogen wurde, mit C.B. Martin/Heil (1999) durch einen *erneuten "ontological turn"* ersetzt werden, was mit einer metaphysischen Neubestimmung einhergeht. Diese führt zu Leibniz bzw. zum durch Whitehead aktualisierten Leibnizprogramm zurück, das durch die ratio-empirische revisionäre Klasse-4-Metaphysik verkörpert wird. Vor diesem Hintergrund sollte die Informatik *semantische Netze* nicht länger mit *Ontologien* verwechseln; sie sollte erste für das nehmen was sie sind, nämlich in der Variante Grubers (1993, 1995) nicht mehr als eine OLP-basierte Repräsentationssprache. Eine Repräsentationsspra-

⁴⁰⁸⁶ Das konstatiert auch Whitehead (1929b: 88) selbst: »The various cosmologies have in various degrees failed to achieve the generality and the clarity at which they aim. They are inadequate, vague, and push special notions beyond the proper limits of their application«, wobei exemplarisch auf die Cartesische Metaphysik verwiesen wird.

che wird strenggenommen nicht einmal der epistemischen Ontologie gerecht, indem es bei dieser im Sinne Husserls um alle kognitiven Momente gehen muss. Vor allem ist eine Repräsentationssprache keine Ontologie; vielmehr baut erste auf letzter auf, wobei die Ontologie wiederum ihrerseits meta-ontologisch bzw. kategorial disponiert ist. Ein semantisches Netz verkörpert letztlich als solches kein echtes Weltmodell bzw. verstellt den dazu erforderlichen Zugang, indem die eigentliche ontologische Analyse durch die an sich unhaltbare *Harmonie-These* der deskriptiven Metaphysik in unzulässiger Weise substituiert wird. Die *Harmonie-These* wäre zunächst im Zuge der Wittgensteinschen "Sprachkritik" zu zerlegen und faktisch zu belegen, was ungeachtet ihrer zentralen Bedeutung nie vollzogen wurde. Es wäre auch nicht möglich. Denn die These ist falsch, indem sie dem Leibniz-Whiteheadschen cyber-physischen Realitätsverständnis in keiner Weise gerecht wird.

Die Informatik hat dieses Leibnizsche cyber-physische Realitätsverständnis und kein anderes voraussetzen und gleichzeitig zu berücksichtigen, dass darin in Bezug auf die soziale Realität ein objektiver Idealismus einzubetten ist, wie ihn Wheeler (1988, 1990, 1994) im Kontext der Quantenphysik umreißt und ihn Rasmussen (1992) darauf aufbauend in der artifiziellen Welt vertritt. Wesentlich ist dabei, dass diese soziale Realität nicht mehr ist als eine erweiterte Agentenwelt; sie ist die Welt 4, die auf den Symbolen und institutionellen Regelmechanismen als soziale Artefakte der Welt 3 aufbaut, mit der Welt 2 als subjektiver Agentenwelt interagiert bzw. getragen wird, und insgesamt auf dem physischen Fundament der Welt 1 steht. Aber nicht nur die *Harmonie-These* ist als solche falsch, sondern das ganze damit zusammenhängende methodologische Vorgehen ist wissenschaftstheoretisch wie praxeologisch unhaltbar. Ihre Differenz besteht gerade darin, dass die Ontologie letztlich immer die *Meta-Ontologie* und kategoriale Festlegungen impliziert. Entsprechend lässt sich gute von schlechter Ontologie unterscheiden. Gute, sachgerecht konzipierte Ontologie vollzieht diese Reflexion im Zuge ihrer TLO-Referenz *explizit*, während schlechte, inferiore Ontologie diese Basis unreflektiert lässt, sie ihr dennoch *implizit* immer inhärent ist. Damit ist sie allerdings ungeklärt, was als operative Grundlage autonom agierender RAI-Systeme genauso inakzeptabel ist wie für alle Zwecke konzeptueller Modellierung. Insofern ist der erste Teil zur Klärung der Frage, ob die Ontologie die Metaphysik *notwendig* voraussetzt, bereits positiv beantwortet. Der zweite Teil, d.h. ob die Metaphysik zur Disposition der Meta-Ontologie wie der kategorialen Festlegungen *notwendig* voraussetzen ist, lässt sich allein vor dem Hintergrund des tatsächlichen Vollzugs der im Folgenden behandelten meta-ontologischen Entscheidungen klären. Das beginnt mit der Beantwortung der genannten drei weiteren *fundamentalen* meta-ontologischen Entscheidungen und setzt sich anschließend mit Pkt. 6.2 ff. im Zuge des Diskurses nachgeordneter meta-ontologischer Kriterien sowie mit Pkt. 6.3 im Zuge der meta-ontologischen Spezifikation bei intendierter *Superintelligenz* der dritten AI-Generation fort. Entsprechend ist sie erst im Zwischenfazit in Pkt. 6.4 abschließend beantwortbar.

6.1.1 Event Streams der Cyber-Physik: Objekt- vs. Prozessontologie

»Das Gewordene ist immer ein Ganzes geworden. Mithin darf man, wenn man das Ganze nicht zum Seienden rechnet, weder Sein noch Werden als seiend bezeichnen.«

— Platon ([Soph.]: 245)

Wenn mit P.M.S. Hacker (1979: 240) gilt: »Permanence and change of things is the source of endless metaphysical debate«, lässt sich mit der ersten der drei fundamentalen meta-ontologischen Entscheidungen unmittelbar auf dem dritten, vierten und fünften Teil aufsetzen: Mit CYPO FOX in Pkt. 3.5, dem Streit um Klasse-3- und Klasse-4-Metaphysiken in Pkt. 4.1 sowie der ebenso offenen Frage der Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis in Pkt. 4.4 ist deutlich geworden, dass eine metaphysische Fundierung für Cyber-physische Systeme (CPS) wie insgesamt für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in Form einer metaphysischen *Top-level Ontologie* unabdingbar ist. Zwar ist mit den vorstehenden Teilen bereits eine deutliche Tendenz ersichtlich, in welche Richtung eine für die Informatik sachgerechte metaphysische Fundierung gehen muss. Allerdings ist dies aus dem Grunde näher zu begründen, wenn die dargelegte Position in weiten Teilen der Disziplin bis heute völlig anders gesehen wird: Wenn das dargelegte Votum in Richtung *ereigniszentrischer* Ansätze geht, zeichnen sich demgegenüber gängige Ansätze gerade durch eine Orientierung in Richtung des *objektorientierten* Paradigmas aus. Das gilt für viele Bereiche, von der konzeptuellen Modellierung bis hin zur Mereologie. Das trifft auf die populären linguistischen Ontologieansätze zu, insbesondere auf jenen Grubers. Genauso gilt dies für die meisten TLO-Theorieanwärter. Tatsächlich sind hier fast ausnahmslos die Ansätze *objektorientiert* bzw. *primär objektorientiert*; alle führenden TLO-Ansätze sind objektzentriert. Mit einer *primären Objektorientierung* ist gemeint, dass neben Objekten zwar auch Ereignisse bzw. Prozesse vorkommen, doch ist bei solchen Ansätzen genauestens zu analysieren, wie die Ereignisse bzw. Prozesse konzipiert sind. Denn hier bestehen größte Unterschiede, die sich zwar erst im Detail offenbaren, dennoch letztlich die Inkommensurabilität der TLO-Ansätze begründen.

Da es andererseits Ausnahmen gibt, d.h. Ontologie- bzw. TLO-Konzepte, die dezidiert als *ereigniszentrierte* Ansätze zu werten sind, kann auf ihre nähere Diskussion kaum verzichtet werden. Ereignisse werden bereits in jeder prozess- bzw. agentenbezogenen AI-Konzeption benötigt, was jedoch in einer Reihe von Ontologiekonzepten grundsätzlich übersehen wird. Das erscheint umso problematischer, als jede zeitgemäße universale Ontologiekonzeption gerade auch auf agentenbasierte AI-Ansätze bzw. MAS anwendbar sein muss. Bei MAS-basierten CPS lässt sich dies mit Pkt. 3.5 dabei allein über eine *Mehrwellenontologie* realisieren. Das fundamentale Defizit einer fehlenden Ereignisorientierung ist entsprechend im größeren Zusammenhang zu sehen. Das gilt auch insofern, als mit dem *Complex Event Processing* (CEP) ein zentrales Paradigma der Informatik besteht, das genauso ereigniszentrisch ist und gerade im CPSS- bzw. IoX-Kontexten in der ontologiegestützten SCEP-Variante an Bedeutung gewinnt. Mit Pkt. 6.2.1 wird deutlich, dass MAS-

und CEP-Ansätze nicht nur korrespondieren, sondern auch spezifische meta-ontologische Anforderungen für die TLO-Theorieanwärter zur Konsequenz haben. Offenbar besteht größerer Klärungsbedarf, wenn Informatiker und Philosophen mit Busse/Humm et al. (2015) in einem als Syntheseversuch gedachten Positionspapier auch heute noch die Ontologie unzulässig auf bestimmte Ansätze einzugrenzen suchen: »[i]n both disciplines, the world is described by *substances* and their *properties*«. ⁴⁰⁸⁷ Da es in diesem Positionspapier einerseits explizit um die *Top-level Ontologie* geht, andererseits im Zuge der I40-Initiative genau auf dieses Positionspapier in grundsätzlicher Weise verwiesen wird, ⁴⁰⁸⁸ erscheint ihre Explikation gerade in cyber-physischen Kontexten geboten.

Tatsächlich aber sind Teile der AI-Disziplin wie auch der Philosophie sehr viel weiter, wenn die Frage *Objekt- vs. Prozessontologie* gestellt wird. Hervorzuheben ist dabei, dass sie gerade auch in der AI-Disziplin genau gegensätzlich zu Busse/Humm et al. (2015) beantwortet wird, etwa bereits im genau zwanzig Jahre älteren AI-Standardwerk von Russell/Norvig (1995), das im Zeichen Whiteheads (1920) auch alle *Dinge bzw. Objekte* im 4D-Sinne als *Ereignisse* behandelt. ⁴⁰⁸⁹ Analoges gilt bspw. mit Blick auf die ebenso zwanzig Jahre älteren Untersuchungen von Bickhard/Terveen (1995), die genau diesen Streit um die Substanz- resp. Objektontologie vs. Prozessontologie auf AI-Grundlage und jener der Kognitionswissenschaften vor dem Hintergrund kognitiver Robotik und damit den anspruchsvollsten Cyber-physischen Systemen (CPS) thematisieren. Dabei kommen Bickhard/Terveen (1995) auf Basis des Interaktivismus zum Ergebnis, dass die auf Selbstidentität abstellende Ding-, Substanz- oder Objektontologie mit Blick auf die Modellierung von Emergenz und anderer Komplexitätsaspekte notwendig durch eine Prozessontologie zu ersetzen ist. ⁴⁰⁹⁰ Diese und ähnliche Positionen bleiben jedoch bei Busse/Humm et al. (2015) unberücksichtigt. Offensichtlich ist also ihre Behauptung, wonach sich die Ontologie in beiden Disziplinen ausschließlich um die Substanz drehe, unrichtig wie irreführend. Mehr noch: mit dem in Pkt. 6.2.1 behandelten *Complex Event Processing* (CEP) wird deutlich, dass diese Sichtweise darüber hinaus unhaltbar ist. Das gilt natürlich ebenso für die Philosophie, wo bereits mit Heraklit vs. Parmenides dieser Streit in der Antike beginnt und sich bis heute fortsetzt. Natürlich ist es genau dieser Streit, der zur Klärung von McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" von erster Relevanz ist. Indem die Frage *Objekt- vs. Prozessontologie* mit die grundlegendste aller ontologischen Fragen darstellt, indem sie sich unmittelbar im Anschluss an die ontologische Kernfrage "*Was gibt es?*" stellt, erfordert ihre Beantwortung eine entsprechende Sensibilität. Denn die Objekte, die Gegenstand von Objektontologien sind, wären keineswegs richtig verstanden, wenn diese in moderner Lesart etwa als *Smart Objects* verstanden würden, also als Objekte, die nicht nur in *Event Streams* stehen, sondern die als Knoten in Netzwerken umfassende Relationa-

⁴⁰⁸⁷ Vgl. Busse/Humm et al. (2015: 39), Hvh. im Orig.

⁴⁰⁸⁸ Vgl. BMWi (2016b).

⁴⁰⁸⁹ Russell/Norvig (1995) beziehen sich auf Hayes' 4D-Position; diese geht *de facto* auf Whitehead zurück.

⁴⁰⁹⁰ Vgl. hierzu auch Bickhard (2003, 2010).

lität besitzen, also intern wie extern vernetzte Entitäten darstellen. Denn so sind die Objekte in solchen Ansätzen gerade nicht konzipiert.

Die Objektontologie ist vielmehr im Sinne ihrer alternativen Bezeichnungen zu erschließen, nämlich als Ding- bzw. Substanzontologie – auch wenn nicht jedes Objekt eine Substanz darstellt. Umgekehrt ist jedoch zu konstatieren, dass natürlich auch Prozessontologien Objekte aufweisen, nur sind sie hier grundlegend anders konzipiert. Wenn es also gilt, die Konzeption von Objekten in Objektontologien zu verstehen, sind dazu drei Aspekte besonders ausschlaggebend: (i) der Begriff "*Ding*", (ii) die "*Substanz*" mitsamt ihrer Selbstidentität und Relata, (iii) der Gegensatz des Seienden als Sein und als Werden, also *Sein vs. Werden*. Um einen sachgerechten Zugang zur Ontologiefrage zu ermöglichen, sind diese drei Aspekte näher zu hinterfragen und zu konkretisieren. Ad (i) ist der Begriff "Ding" für das Verständnis der Objektontologie insofern wesentlich, als er deutlich macht, dass es dabei gleichermaßen um ein linguistisches oder um ein davon teils grundsätzlich abweichendes substanzmetaphysisches Ontologieverständnis gehen kann. Im ersten Fall bildet das "Ding" mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 den Referenten im semiotischen Dreieck der Linguistik. Die meisten *Common Sense-Ontologien* orientieren sich primär an Dingen. Im OLP-Sinne ist dann damit zumeist umgangssprachlich ein *Gegenstand* gemeint, und der bezeichnet wiederum eine *körperliche Sache*; d.h. es geht nicht etwa um die oben erwähnte auf *Entitäten* bezogene Lesart. Dann aber liegt auch hier bereits eine explizite Spezifikation vor, indem im OLP-Sinne Immaterielles im Allgemeinen genauso wenig unter das "Ding" fällt wie etwa Ereignisse. Der zweite Fall gestaltet sich ungleich komplizierter, indem das "Ding" genauso im substanzmetaphysischen Zusammenhang stehen kann, nämlich insofern, als die "*Furniture of the World*" an "*Things*" orientiert sind. Natürlich sind Objekte im Sinne von "Dingen" für die Ontologiediskussion von überaus großer Relevanz, gerade auch für die Diskussion um die TLO-Anwörter. Um ein konkretes Beispiel zu bemühen: die Bungesche Ontologie wurde bereits als "*Furniture*"-Ontologie identifiziert. Dass es um die darauf aufbauende BWW-TLO nicht anders – bzw. nicht besser – bestellt ist, bedarf mit der metaphysischen Fundierung aller Top-level Ontologie keiner weiteren Begründung. Dabei wird etwa mit der BORO 4D-Ontology ersichtlich,⁴⁰⁹¹ dass es dazu grundsätzliche Alternativen gibt, die im Zeichen der Prozessontologie stehen.

Ad (ii) In Substanzontologien werden bestimmte Dinge als "*Substanz*" kategorisiert, wobei es nicht nur verschiedene Arten von Substanzen gibt, sondern diese in den unterschiedlichen Ansätzen erheblich differieren: sie sind bei Aristoteles, bei Spinoza, Descartes, Berkeley oder etwa Leibniz völlig disparat konzipiert, indem sie elementarer Teil spezifischer philosophischer Systeme mit teils vollkommen abweichenden metaphysischen bzw. epistemologischen Positionen sind. Als Beispiel sei die Cartesische Zwei-Substanzenlehre angeführt, die im Zeichen ihres Dualismus zwischen Geist und Materie differenziert. Demgegenüber existieren im Solipsismus Berkeleys lediglich geistige Substanzen,

⁴⁰⁹¹ Vgl. etwa Batres et al. (2007) sowie Stell/West (2004).

die das Universum in einer extremen Spielart eines subjektiven Idealismus auf die Vorstellungen des Subjekts reduziert.⁴⁰⁹² Natürlich haben nicht nur Leibnizens prozessualisierte Substanz der Monadologie, sondern neben der aristotelischen Substanzlehre auch jene von Descartes oder Berkeley mehr mit der Informatik zu tun als man es auf den ersten Blick vermuten würde. Während es bei Berkeley in Richtung eines extremistisch-idealistischen Cyberspace geht, wie er zuweilen thematisiert wird, ist der Cartesische Dualismus von unmittelbar praktischem Belang. Denn er ist in der Tradition Galileis letztlich für das verantwortlich, was in Pkt. 3.2.2 als klassisches CM-Verständnis grundsätzlich kritisiert wurde. Nämlich dass die konzeptuelle Modellierung im Allgemeinen noch auf einem überholten Cartesischen Weltverständnis aufbaut, indem es eine *Subjekt-Objekt-Dichotomie* zugrundelegt, und entsprechend das intelligenzbefähigte Subjekt nicht, oder allenfalls als passiven Part der Objektwelt modelliert. Für autonome CPS ist diese Sichtweise indessen nicht haltbar, indem bei kognitiven Systemen *dem Prinzip nach* nicht mehr zwischen wahrnehmendem Subjekt und wahrgenommenem Objekt differenziert wird. Mit anderen Worten liegt vielen CM-Ansätzen noch eine mechanistische Weltauffassung zugrunde, die ungeachtet verschiedener Vorläufer zentral auf Descartes (1637, 1644a) zurückgeht.⁴⁰⁹³ Denn das *mechanisierte Weltbild* Galileis läuft auf *tote Materie* hinaus, was das Moment ständigen Wandels und stetigen Werdens konsequenterweise ausblendet.⁴⁰⁹⁴ Diese CM-Ansätze korrespondieren tatsächlich mit jenen *Top-level Ontologien*, die zu ihrer ontologischen Evaluierung herangezogen werden. Indem diese in ihrem Kern ebenfalls auf dem Substanzgedanken aufbauen, können kaum Defekte bzw. Defizite bzgl. der fundamentalen Strukturen der Welten bzw. Realität geltend gemacht werden. Mit CPSS bzw. IoX-Umgebungen ändern sich jedoch die Anforderungen, wenn intelligente Systeme selbst zum interaktiven Part der realen Sphäre avancieren. Entsprechend sind diese Systeme selbst *elementarer* Teil des modellierten Diskursuniversums, womit offensichtlich die Modellierung gewissermaßen auf den Kopf zu stellen ist. Dann kann offenbar auch nicht mehr von "to-

⁴⁰⁹² Für Berkeley (1710) entscheidend ist das *esse-est-percipi-Prinzip*, wonach die Substanz deshalb allein *Subjekt* oder *Geist* sein kann, weil es nur vorstellende aktive, und vorgestellte passive Dinge gibt, die nicht für sich existieren können sondern eines Trägers bedürfen, vgl. Berkeley (1710: § 89, 91). Ideen können also nicht ohne den Geist als Träger existieren, vgl. Berkeley (1710: § 135). Es ist allein der Geist, der erkennt, wahrnimmt und in dem Ideen existieren können, wobei das Sein einer Idee im Wahrgenommenwerden besteht, vgl. Berkeley (1710: § 2). Es gibt daher keine andere Substanz als Geist oder das, was wahrnimmt, vgl. Berkeley (1710: § 7). *Geist* ist dabei »ein einfaches, unteilbares, tätiges Wesen, das *Verstand* genannt wird, wenn es Ideen wahrnimmt, und *Wille*, wenn es Ideen hervorbringt oder in anderer Weise in bezug auf sie handelt«, vgl. Berkeley (1710: § 27). Qualitäten der Materie sind demgegenüber nichts anderes als Sinnempfindungen oder Ideen, die nur in einem *Geist* existieren, der sie wahrnimmt, vgl. Berkeley (1710: § 78).

⁴⁰⁹³ Vgl. zur *mechanistischen Philosophie* etwa Fierz (1972: 67 ff.), I.B. Cohen (1980), Gabbey (1993), Osler (1994: 201 ff.), Dear (1998) sowie Hooykaas (2003).

⁴⁰⁹⁴ Es war Galilei, der die Astronomie des Kopernikus auf die irdische Welt übertrug und damit den Menschen wie alles andere Lebendige resp. Organismische aus der Naturtheorie auszuschließen suchte. Das Universum war für Galilei, Kepler und Epigonen ein Universum einzelner physikalischer Körper, bar jeden Lebens. Es war ein Universum, das ontologisch als eines aufgefasst wurde, das aus *toter Materie* besteht. Siehe hierzu im Einzelnen Whitehead (1925), Toulmin (1961, 1990), Mainzer (1992c), Stein (1993) sowie Mittelstraß (1995).

ter" bzw. "dummer" Materie ausgegangen werden; vielmehr bricht der Cartesische Dualismus mit dem Vordringen kognitiver Robotik bzw. CPS in die reale Sphäre in sich zusammen; er ist nicht mehr haltbar. Denn Geist und Materie lassen sich nicht mehr länger dichotom behandeln, indem alles im Sinne von Kants (1800) bzw. Feynmans (1967, 1982, 1986) *Regeluniversum* eins ist. Wenn mit CPS von *aktiver und intelligenter Materie* auszugehen ist, indem physische Materie mit Multisensorsystemen und AI-Technologien zu einem *System* verschmilzt, wird nicht nur die *Subjekt-Objekt-Dichotomie*, sondern auch insgesamt der Cartesische *Dualismus von Geist und Materie* hinfällig. Doch machen beide letztlich den Grundcharakter des zwar überholten, jedoch noch immer vertretenen klassischen CM-Verständnisses aus.

Indem sich die ontologische Evaluierung von CM-Ansätzen durch neo-aristotelische Ansätze dominiert zeigt, ist auch das Problem der *Selbstidentität* der Substanz herauszustellen.⁴⁰⁹⁵ Sie genügt sich in gewisser Weise selbst; von daher kann sie nicht in einem umfassenden Komplexitätsgefüge stehen. Mit Verweis auf Pkt. 5.2 kommt es vor diesem Hintergrund nicht von ungefähr, dass die Substanz in der aristotelischen Substanzontologie keine Relationen aufweist, sondern davon grundlegend differente *Relata*. Insofern handelt es sich bei dieser Substanzontologie um einen grundsätzlich anderen Ansatz als bei Whiteheads Prozessontologie, da diese explizit eine *Relationenontologie* verkörpert.⁴⁰⁹⁶ Der Gegensatz von *Relata* vs. *Relationen* ist also für das Objektverständnis wesentlich; insofern lassen sich auch die *Smart Objects* in IoX-Umgebungen nicht als Objekte im Sinne der aristotelischen Substanzmetaphysik verstehen, indem sie in ein umfassendes internes wie externes Relationengefüge eingebettet sind. Damit weisen sie auf die Relationenontologie Whiteheads, bei der alle Entitäten im Zeichen ewigen Wandels *komplexer Entitäten* stehen.

Substanzontologien, die sich heute in Gestalt von Objektphilosophien zeigen, gehen mit Identität und Wandel gänzlich anders um als Prozessphilosophien resp. Prozessontologien: Prozessontologien behandeln *Identität* (i.S. zeitlicher Einheit) auf der Basis von *Wandel* resp. *Veränderung* (i.S. zeitlicher Vielfalt), während Objektontologien genau umgekehrt Wandel resp. Veränderung auf Grundlage der Identität zu konzipieren suchen. Hier wird also grundsätzlich die Identität von Objekten vorausgesetzt und versucht, auf dieser Basis mit Wandel, d.h. dem Wandel der Objekte, umzugehen. Demgegenüber wird in der Prozessontologie genau umgekehrt der stetige Wandel vorausgesetzt, um dann auf dieser Grundlage die Identitätsbedingungen von Objekten zu untersuchen.⁴⁰⁹⁷ Insgesamt betrachtet ist entscheidend, ob McCarthys (1995) "*general world view*" eine Substanz- oder eine Prozessphilosophie zugrunde liegt, wie sie sich mit Rescher (1996) wie folgt differenzieren:

⁴⁰⁹⁵ Vgl. hierzu Wiggins (1980, 2001).

⁴⁰⁹⁶ Auch D.E. Christensen (1989: 28) charakterisiert sie als »a metaphysics of relations«; vgl. zu dieser etwa Whitehead (1938: 140): »Nature is a theatre for the interrelations of activities. All things change, the activities and their interrelations«.

⁴⁰⁹⁷ Vgl. hierzu im Kontext *intelligenter Automaten* Lambert/Scholz (2007).

Substance Philosophy	Process Philosophy
Discrete Individuality	Interactive Relatedness
Separateness	Wholeness (Totality)
Condition (Fixity of Nature)	Activity (Self-Development)
Uniformity of Nature	Innovation / Novelty
Unity of Being (Individualized Specificity)	Unity of Law (Functional Typology)
Descriptive Fixity	Productive Energy, Drive, etc.
Classificatory Stability	Fluidity and Evanescence
Passivity (Being Acted Upon)	Activity (Agency)

Abb. 36:⁴⁰⁹⁸ Substanz- vs. Prozessphilosophie nach Rescher

In vermeintlich "offizieller" Lesart wird *Ontologie* noch immer mit dem Substanzgedanken verknüpft, etwa bei E.J. Lowe (2005). Dennoch ist die Frage der Substanz auch unter Vertretern der klassischen Ontologie umstritten: E.J. Lowe (2006b) vertritt in seiner neo-aristotelischen Ontologie etwa die Ansicht, dass die Substanzkategorie weder eliminierbar sei noch sich auf eine andere Kategorie reduzieren ließe. Vielmehr gelte es, den ontologischen Status der Substanz zu verteidigen.⁴⁰⁹⁹ Andere, etwa K. Campbell (1990) oder Simons (1994) vertreten demgegenüber die Position einer solchen Reduzierbarkeit *individueller* Substanzen. Analoges gilt mit Blick auf die Reduzierbarkeit auf *nicht-substantielle Universalien*, wie sie Armstrong (1997: 65-68) als "*Kinds*" befürwortet. Entscheidend ist das Kriterium der *ontologischen Unabhängigkeit der Substanz*.⁴¹⁰⁰

Es gilt zu reflektieren, woher der Substanzbegriff kommt, der in der vorsokratischen Substanzphilosophie des Parmenides von Elea seinen antiken Ursprung besitzt,⁴¹⁰¹ und überraschenderweise selbst im Kontext der *Top-level Ontologie* der Informatik bisher kaum in Frage gestellt wird. Geschieht dies, wird schnell deutlich, dass das tradierte Substanzdenken in seinem Abstellen auf die Selbstidentität in erster Linie theologischen, anthropologischen oder aber naiven naturphilosophischen Weltansichten geschuldet ist.⁴¹⁰² Tatsächlich legen Strukturwissenschaften wie die Informatik als *Wissenschaften vom Komplexen* das Gegenteil nahe, nämlich dass eine Entität gerade nicht für sich in einer alles überdauernden Selbstidentität selbständig für sich existiert, sondern dass es vielmehr um *komplexe Entitäten* geht, also mit zusammengesetzten bzw. zusammengeführten Entitäten, die als Vielheit von Entitäten temporär in einer bestimmten Gestaltkonstellation verharren, aber im Sinne kausaler Wechselspiele dennoch prinzipiell stetigem Wandel und Veränderung unterliegen. Demgegenüber widerspricht die *Idee einer Substanz* als Idee einer Entität, die selbständig existiert und als solche selbstidentisch bleibt, dem Gedanken komplexer Entitäten in geradezu diametraler Weise. Dies auch deshalb, weil sich Ontologien in U-PLM-Systemen gerade wesentlich auf Prozesse und Workflows beziehen, nicht zuletzt auch im Sinne stetiger produktiver Umwandlungs- resp. Umformungsprozesse.

⁴⁰⁹⁸ Quelle: Rescher (1996: 35).

⁴⁰⁹⁹ Vgl. E.J. Lowe (2006b: 25 f.).

⁴¹⁰⁰ Vgl. Rosenkrantz/Hoffman (1991) sowie E.J. Lowe (2006b: 109).

⁴¹⁰¹ Vgl. hierzu etwa Popper (2001), insbes. S. 320.

⁴¹⁰² Vgl. hierzu etwa Loux (1978), die Revisionen in Trettin (2005) sowie Gutschmidt (2008).

Nicht nur mit Blick auf die wissenschaftliche Ontologie,⁴¹⁰³ sondern gerade auch in Bezug auf die Informatik stellt sich die Frage, ob das Konzept der Substanz nicht insgesamt entbehrlich ist. Vielmehr ist zu hinterfragen, ob das tradierte Substanzdenken für die naturgemäß auf das Prozessuale abstellende Informatik – wie auch für die moderne Wissenschaft insgesamt – nicht gänzlich in die Irre führt: Worin sollte speziell in der Informatik – aber auch in der Wissenschaft insgesamt – denn nun konkret die *Substanz* als allen Wandel in aller Zeit überdauernder *selbstidentischer* Entität bestehen? In Bits und Bytes kaum, genauso wenig wie in Atomen und Bosonen oder etwa in Neuronen als spezialisierten Zellen und Genen als chemischen Makromolekülen usf. Wittgensteins Substanz als logisches Atom ist derart verschieden vom gängigem Substanzverständnis, dass er es mit seiner Nutzung endgültig *ad absurdum* führt. Demgegenüber bricht Whitehead in seiner eigentlichen Begründung des Logischen Atomismus nicht umsonst gerade mit dem Substanzkonzept. Denn es ist mit diesem sinnlos geworden, indem prinzipiell nichts per se selbstidentisch ist, außer unter der Ausnahme, dass sich die strukturalistischen Ordnungsmuster in genau der gleichen Weise reproduzieren. Insofern ist es konsequent, an Stelle der objektzentrischen Substanz die ereigniszentrische *actual entity* treten zu lassen. Wheelers "*It from bit*" ist ein Whiteheadsches; und jedes Bit ist im binären Sinne gerade nicht selbstidentisch, sondern verkörpert das genaue Gegenteil davon.

Was für die Cyber-Physik universal gilt, lässt sich im Cyberspace anhand der Whitehead-Quineschen Pixeltheorie verdeutlichen, wenn im Pixelraster Objekte ereigniszentrisch emergieren, reproduziert werden bzw. wieder vergehen. Bei 1-Bit pro Pixel kann das Pixel entweder den Schaltzustand "on" oder "off" aufweisen.⁴¹⁰⁴ Objekte setzen sich dabei entsprechend aus den einzelnen Bildpunkten bzw. logischen Atomen zusammen. Werden die Schaltzustände auf das gesamte Pixelraster bezogen, stellt sich im übertragenen Sinne der in Pkt. 4.4 mit Quine und Nietzsche thematisierte ontologische Gegensatz von *Dasein* vs. *Nichtsein* dar. Reduziert man gedanklich ein Diskursuniversum auf ein einziges Pixelraster, dann sind im übertragenen wie vereinfachten Sinne beim "*All-ist*" alle Pixel im Schaltzustand "on", beim "*None-ist*" alle auf "off", während beim "*Some-ist*" manche auf "on", der Rest auf "off" ist. Dieser Bezug zwischen der Pixeltheorie und dem ontologischen Existenzkriterium ist insofern gerechtfertigt, als sich die cyber-physische Dimension der ersten direkt im metaphysischen Sinne eröffnen lässt: denn in Frage steht dann jene "*basic metaphysics*", die mit M.J. Cresswell (2010) die "*pixel reality*" begründet. Dabei versteht er diese in dem Sinne, wie sie hier skizziert wird: Denn mit der "*pixel reality*" ist natürlich nicht die eigentliche 2D-Struktur des Pixels im Pixelraster gemeint.⁴¹⁰⁵ Mit "*pixel reality*" ist auch nicht das räumliche virtuelle bzw. physische Volumenpixel (Voxel) gemeint, um das es bereits mit Pkt. 1.5.1 im Kontext der 3DP-Technologie ging. Denn damit

⁴¹⁰³ Vgl. hierzu etwa Popper/Eccles (1977), Prigogine/Stengers (1984) sowie Prigogine (2000b).

⁴¹⁰⁴ Vgl. zur *Pixel-Bit-Relation* Fn. 4947.

⁴¹⁰⁵ Ein Pixel besitzt diese 2D-Struktur lediglich in Bezug auf seine visuelle Grundstruktur im Pixelraster (pixel grid), d.h. ohne Farbspektrum; auf RGB-Basis wird hingegen auf eine 3D-Matrix zurückgegriffen.

wäre man bloß in der *res extensa* bei Descartes, nicht aber im cyber-physischen Prozessuniversum Whiteheads. Entsprechend verwundert es nicht, wenn M.J. Cresswell (2010) die "*basic metaphysics*", die die fundamentalen Grundstrukturen der "*pixel reality*" adressiert, explizit an Quines *4D-Events* festmacht. Allerdings vergisst er dabei den eigentlich entscheidenden Hinweis, dass sich die "*basic metaphysics*" natürlich nicht bei Quine selbst findet, sondern dass sie jene ist, die von seinem Lehrer Whitehead stammt.

Cresswells (2010) "*basic metaphysics*" wird also durch Whiteheads (1929a) Prozess-, Struktur- bzw. Komplexitätsmetaphysik gestellt. Man kann es auch mit Zuse (1993) halten, der in Bezug auf sein *Computing Universe* vom *Cellular Structured Space* spricht, und dieser ist wiederum im *cyber-physischen "Reality Computing"* des CPST- bzw. IoX-Hyperspace dann richtig ausgelegt, wenn er auf Grundlage von Whiteheads (1929a) zellulären Automaten im raumzeitlichen Strukturuniversum konzipiert wird. Auf Basis seiner 4D-Entitäten, bei denen im ereigniszentrischen Reproduktionssinne im Gegensatz zur Quine *Objekte* als gesonderte Kategorie abgegrenzt werden, geht es dann weder um *Pixel* oder *Voxel*, sondern um *Doxel*, also um virtuelle bzw. physische *dynamische Voxel* (*Doxel*). Mit anderen Worten ist die "*pixel reality*" genauer betrachtet eine "*doxel reality*", die jene synthetische Realität der Cyber-Physik begründet, um die es bereits im Zuge der 4DP-Technologie in der Darlegung des *U-PLM-Referenzszenarios* unter Pkt. 1.5.1 ging. Dabei besitzt diese 4DP-Technologie insofern metaphysische Relevanz, als auf ihrer Grundlage unmittelbar einsichtig wird, was die Metaphysik unter *Mixed Reality* genau zu verstehen hat. Mit Pkt. 5.8 ist evident, dass mit der faktischen Existenz synthetischer Realität alle Metaphysik veraltet bzw. unbrauchbar ist, die diese *Mixed Reality* nicht adressieren kann. Denn darauf kommt es mit dem Existenzprinzip kausaler Wirksamkeit bei Cyber-physischen Systemen an. Vor dem Hintergrund der "*pixel reality*" bzw. "*doxel reality*" lässt sich schließlich bestimmen, inwiefern der "*All-ist*", der "*Some-ist*" resp. der "*None-ist*" richtig liegt: Die Sichtweise des "*All-ist*" ist insofern legitim, als er Platonist ist und als solcher auf das Pixel- bzw. Doxelraster, also auf das mathematische Universum als solches weist. Bereits beim Pixelraster wird deutlich, dass sich die Form von Objekten nicht nur durch den Schaltzustand "on", sondern genauso durch "off" begründet. So gesehen ist jedes einzelne Pixel des Pixelrasters ontologisch maßgeblich; beim durch Quine adressierten physischen Doxel stellt sich entsprechend die Relevanz des »material content of any portion of space-time« dar, den Quine (1976b: 859) vor dem Hintergrund des Wechselspiels von aktueller und möglichen Welten erörtert. Der "*Some-ist*" ist demgegenüber nicht Platonist, sondern Positivist, dessen Sichtweise in Bezug auf physische Naturobjekte auf die aristotelische Position hinausläuft. Diese ist genauso legitim wie die erste. Demgegenüber ist der "*None-ist*" weder Platonist noch Positivist, sondern Nihilist, und kann als solcher die ganze Diskussion nicht verstanden haben. Denn seine Sichtweise gründet auf einer speziellen Philosophie, die an einer einzelnen Automatenklasse und deren Befindlichkeiten, nicht aber am Automatenuniversum im Ganzen ansetzt. Wenn aber die metaphysische

Diskussion am falschen Ende ansetzt, bleibt der techno-wissenschaftliche Zugang zur "*pixel reality*" bzw. "*doxel reality*" notwendig versperrt.

Indem die Selbstidentität von Entitäten in wissenschaftlicher Reflexion einen immer weniger ontologisch relevanten Gesichtspunkt darstellt, überrascht es nicht, wenn der Substanzbegriff in jüngeren Ontologieansätzen zugunsten eines allgemeinen Entitätsbegriffs immer mehr in den Hintergrund rückt. Dieser ist jedoch genauso für Prozessontologien markant, stellt also kein konstituierendes Prinzip dar. Es ist nicht damit getan, das Substanzkonzept einfach durch ein allgemeineres Entitätskonzept zu ersetzen, wie es bei zahlreichen im Kern substanzontologischen Ansätzen vermehrt zu beobachten ist. Führende Ontologen wie P.M. Simons (1998a) haben den Niedergang des Substanzgedankens längst registriert:

»Suddenly it begins to look as though substance, far from being a widely applicable commonplace, is a concept rarely if ever fulfilled, an idealized limit of little or no use to metaphysics. This conclusion should I think be accepted. Future metaphysics worthy of the name will need to be revisionary, and the concept *substance* will feature within it, at best, as a derivative construct. It is premature to say how such a future revisionary metaphysics will look, but it will need to both accommodate the advances of science as well as provide the platform for showing how we and our commonsense knowledge, including the knowledge of what have been thought of as individual substances, have a place within the same overall scheme. Substance will not be simply discredited, but its role as a fundamental metaphysical primitive is gone forever.«⁴¹⁰⁶

Indessen zieht Simons (1998a) daraus nicht die notwendigen Konsequenzen, wenn er das okzidentale Substanzdenken richtigerweise in Frage stellt. Denn es gilt zu bedenken, dass in der Selbstidentität der Entitäten und ihrem *sich selbst Genügen* letztlich das konstituierende Prinzip nicht nur der Substanzontologie selbst besteht, sondern auch der *Ontologie des Seins* an sich. Da es sich hier um eine meta-ontologische "Entweder-oder-Entscheidung" handelt, muss dann, wenn sich diese Sichtweise als inadäquat bzw. als widersprüchlich mit der modernen Wissenschaft herausstellt, an ihre Stelle notwendig die *Ontologie des Werdens* als Alternative treten. Das hat Prigogine (2000b: 834) bereits für die Physik eingefordert. Tatsächlich sind es gerade die Substanzontologien, durch die sich die meisten *Top-level Ontologien* heute geprägt zeigen, wie es im Zuge der Kritik der philosophischen Ontologien im fünften Teil deutlich wurde. Der Substanzgedanke ist dabei für die auf der Bungeschen Substanzontologie basierenden BWW-TLO als verbreiteteste Top-level Ontologie der CM-Sphäre genauso prägend wie für die BFO-TLO als verbreiteteste Top-level Ontologie der AI-Sphäre. Die BFO stellt in ihrem *SNAP-Modus* eine *Ding-, Substanz- oder Objektontologie* dar. Smith und Grenon lassen die BFO in ihrem *SNAP-Modus* in explizitem Bezug auf die aristotelische Ontologie auf dem *Substanzgedanken* fußen.⁴¹⁰⁷ Für die *Substanzen*, die sie synonym mit "*Objekt*" oder "*Ding*" setzen, gelten folgende fünf für Substanzmetaphysiken typische Charakteristika von 3D-Objekten:

- i. es handelt sich um *metaphysisch unabhängige Entitäten*; sie besitzen also in Bezug zu anderen Entitäten Autonomie;
- ii. sie besitzen qualitative Eigenschaften, die sich wandeln können;

⁴¹⁰⁶ Simons (1998a: 250), Hvh. im Orig.

⁴¹⁰⁷ Vgl. hierzu sowie zum Folgenden Grenon/Smith/Goldberg (2004).

- iii. es handelt sich um Wandel widersetzende *selbstidentische Entitäten* bzw. um endurantistische Entitäten;
- iv. sie sind räumlich lokalisiert;
- v. es handelt sich um selbstverbundene Ganzheiten mit physischen Grenzen, die sie von anderen Substanzen trennen.

Ad (iii) Der dritte Aspekt ist ebenso charakteristisch für das sachgerechte Verständnis der Objektontologien. Es geht hier um den Unterschied von *Sein vs. Werden*, indem Objekt- bzw. Substanzontologien eine *Ontologie des Seins* darstellen, während es sich bei Prozessontologien um eine *Ontologie des Werdens* handelt. Tatsächlich macht sich auch dieser dritte Aspekt in der Informatik bemerkbar, indem das objektorientierte Paradigma zumindest in seiner ursprünglichen Form ganz im Zeichen der Ontologie des Seins aufgefasst wird. Nämlich als Paradigma, das sich durch eine *auf Beständigkeit* orientierte Perspektive auszeichnet, die in evolvierenden Kontexten autonomer CPS in ihrer Adäquanz offensichtlich grundsätzlich in Zweifel zu ziehen ist. In Pkt. 1.5.1 wurde bereits die Frage eröffnet, ob für U-PLM-Systeme eine *Ontologie des Werdens* zwingend ist. Sie lässt sich dahingehend beantworten, dass mit dem für U-PLM-Systeme charakteristischen Innovationsaspekt bzw. der Entstehung von Neuem sowie dem Lebenszyklusgedanken eine *Ontologie des Werdens* genauso zwingend ist wie für die evolvierenden CPS-Kontexte. Es handelt sich dabei nicht um eine Option, sondern um eine Grundnotwendigkeit. Analoges gilt für die realitätsbezogene Informatik insgesamt. Gleiches lässt sich mit Verweis auf die *Evolutionäre Erkenntnistheorie* auch in epistemologischer Hinsicht sagen, womit deutlich wird, dass Poppers *Drei-Welten-Lehre* insgesamt im Zeichen einer *Ontologie des Werdens* steht. Damit kann McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" nicht sachgerecht in statisch-mechanistischer Interpretation als Weltmodell des "Seins" verstanden werden, wie es für die Substanzmetaphysik kennzeichnend ist. Denn diese verkörpert mit Bickhard/Terveen (1995: 327) "*bad metaphysics*", wenn es um CPS-Kontexte geht.

Für die spezifisch evolutionären CPS-Kontexte gilt, dass die drei Kernprinzipien der organismischen Weltauffassung, nämlich Evolution, Selbstorganisation und Emergenz mit-samt der von ihnen unmittelbar ableitbaren Tatbestände zwingend durch die Metaphysik adressierbar sein müssen. Mit Simons (1998a) liegt die Zukunft in dieser Sache in einer *revisionären wie wissenschaftlichen* Metaphysik, die nicht am Substanzdenken festmacht. Entsprechend ist für alle Entitäten eine evolutionäre Interpretation anzulegen; es geht um das Weltmodell des "Werdens" und somit um Prozessmetaphysik. Damit ist letztlich auch die Natur der Automatentheorie charakterisiert, in der immerzu neue Ordnungsmuster auftreten. Insgesamt ist also sowohl mit Blick auf die CM- als auch auf die AI-Ontologie in den *Diskursuniversen* mit Whitehead (1938: 46) schlussendlich nichts verstanden, ohne dass alle Erscheinungen, alle Entitäten und somit alle Objekte in einen *prozessualen* Zusammenhang gebracht werden. Die *Frage nach Sein oder Werden* ist damit im Kontext Cyber-physischer Systeme (CPS) entschieden: die *klassischen Ding-, Substanz- bzw. Ob-*

jektontologien, auf denen sowohl das klassische CM-Verständnis als auch das klassische AI-Verständnis im Zeichen entsprechend tradierter Top-level Ontologien gründet, sind durch die *postklassische Prozessontologie* notwendig zu ersetzen. Damit hat die Informatik insgesamt auf einer *genuin prozessontologischen Top-level Ontologie* aufzubauen.

Vor dem Hintergrund des erzielten Resultats, dass der CPS-Ereigniszentrismus zwingend die Prozessontologie voraussetzt, lässt sich auf Basis der Klasse-4-Metaphysik im ratio-empirischen Rückgriff auf die Komplexitätsforschung eine Rekapitulation des bisher erreichten Stands vollziehen: In Pkt. 3.2 ff. sowie in Pkt. 3.3 ff. wurden sämtliche Widerstreite, die bisher in der Ontologiedebatte für große Konfusion sorgten, aufgelöst: Die bisher elementaren *Widerstreite von CM- und AI-Ontologien, von philosophischer und linguistischer Ontologie* bzw. *von realistischer und linguistischer Ontologie* wurden beseitigt. Der Weg zu einer sachlichen Debatte um die *Top-level Ontologie* ist damit geräumt. Mit Pkt. 3.4 ist deutlich geworden, dass die notwendige Neudefinition des Ontologieverständnis der Informatik auf eine *realistisch* fundierte, integrierte *Mehrweltenontologie* hinauslaufen muss, die verschiedene Ontologietypen genauso eröffnet wie mögliche Welten. Sie muss auf Basis eines klassisch philosophischen Ontologieverständnis sowohl die Erfordernisse der CM-Ontologie wie damit verbunden der AI-Ontologie im jeweils postklassischen Zuschnitt berücksichtigen. In einer solchen Mehrweltenontologie stellt die *Top-level Ontologie* das "*ontological backbone*" dar, das für die Durchgängigkeit zwischen den Welten sorgt und sie auf einer einheitlichen Meta-Ontologie gründen lässt. In Pkt. 3.5 wurde diese Ontologiekonzeption mit *CYPO FOX* entwickelt. Dabei wurde insgesamt deutlich, dass eine *die CM- wie AI-Sphäre integrierende, philosophisch fundierte realistische Ontologie* mit der Top-level Ontologie als universalem Referenzpunkt notwendig auf eine *metaphysische Fundierung* hinauslaufen muss. In Pkt. 4.1 wurde dargelegt, dass das einzig für diese Zwecke sinnvolle wie vor allem auch wissenschaftstheoretisch legitimierbare Metaphysikverständnis in der *techno-wissenschaftlichen Metaphysik* bestehen kann.

Es handelt sich im Zeichen des *Ratio-Empirismus* dabei um einen vollkommen anderen Metaphysiktypus als jenem, auf dem die Metaphysikkritik Kants, Wittgensteins, Schlicks, Carnaps oder Quines aufbaut. Dieser Kritik ist mit dem *Ratio-Empirismus* der wissenschaftlichen Metaphysik der Boden entzogen. D.h. die in Pkt. 3.3.2 insbesondere mit Carnap deutlich gewordenen Vorbehalte linguistischer Ontologen gegenüber der Metaphysik stellen sich in Wirklichkeit nicht. Ebenso deutlich ist dieser Umstand in Pkt. 5.1 mit Quine hervorgetreten; mit seinem Realismus akzeptiert er die bewusstseinsunabhängige Existenz der Außenwelt, worauf jeder Empirismus in der Gesamtschau der erzielten Resultate letztlich auch kommen muss. Ein sachgerechtes Wissenschaftsverständnis setzt im Sinne Poppers diese fundamentale metaphysische Annahme voraus. Dann verlangt das genauso im Raum stehende Streben nach der *Einheit der Wissenschaften* auch im Sinne Poppers und Whiteheads das Voraussetzen von *Kosmologie*, und damit eines metaphysisch Ganzen. Kaum jemand in Wissenschaft, Technologie oder Praxis wird diese *Kosmologie* als An-

satz- bzw. Zielpunkt heute ernsthaft in Frage stellen wollen. Denn mit Popper (1959: 15) wie mit der damit korrespondierenden *Kosmologie* Whiteheads (1929a) gilt, dass alle Wissenschaft, Technologie und somit auch Technopraxis *Kosmologie* ist, und insofern auf ein metaphysisches Ganzes gerichtet ist. Mit Poser (1988: 120) sollte dabei ihr primäres Ziel darin bestehen, *diesen* Kosmos zu begreifen, und nicht für irgend denkbare, für mögliche Welten geltende Gesetze zu finden. Mit diesem gemeinsamen Ziel kann es weder zwischen Philosophie und den Wissenschaften, noch zwischen der Ontologie der Philosophie und jener der Informatik eine Spaltung geben. Vielmehr ist die Metaphysik als Erste Philosophie untrennbar mit den Wissenschaften verknüpft; insbesondere über die *Top-level Ontologie* auch mit der Informatik. Anders gewendet benötigt alle Wissenschaft als Kosmologie das metaphysische Ganze, nämlich als grundlegendste aller Hypothesen, als System metaphysischer Annahmen, das jeder Wissenschaftspraxis notwendig implizit oder explizit vorgeschaltet ist. Sie benötigt die ratio-empirische Universalsynthese als Resultat zum kosmologischen Gesamtverständnis, das sich jedoch nicht induktiv, sondern im Sinne eines hypothetisch-spekulativen Systems allein deduktiv realisieren lässt.

Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik ist dabei jedoch nicht rein spekulative Metaphysik, wie sie für die reine oder exakte Metaphysik kennzeichnend ist, die durch Whitehead abgelehnt wird. Vielmehr steht dieses spekulative System strikt im *Ratio-Empirismus* Whiteheads, und ist somit fallibel. Die *Einheit der Wissenschaften* ist entsprechend nicht, wie gewöhnlich und auch noch bei Quine wie weiten Teilen der Komplexitätsforschung *methodologisch* zu verstehen, sondern vielmehr mit der Kosmologie als *ontologische Einheit*. Es handelt sich damit gleichzeitig um eine *Einheit der Erkenntnis* und im transdisziplinären Sinne der Wissensontologie um eine *Einheit des Wissens*, deren Erreichbarkeit die Informatik methodisch-ontologisch zu eröffnen bzw. auf Dauer sicherzustellen hat. In diesem Sinne kann im Vorgriff auf Pkt. 5.1 Quines (1981: 21) "*robust realism*" natürlich nicht im methodologischen Einheitssinne auf einen Naturalismus verkürzt werden, wie es bei ihm der Fall ist. Das auch in dem Sinne, als dieser mit der in Pkt. 6.2.7 dargelegten Notwendigkeit einer im transdisziplinären Sinne stehenden multiplikativen Verfasstheit der Top-level Ontologie wie insgesamt mit einer sachgerecht verstandenen *emergentistischen Mehrebenenontologie* inkompatibel ist. Allerdings haben die Komplexitätsforschung wie die Informatik diese vorauszusetzen. Ein *spekulativer Rationalismus* ist notwendig, um im Sinne der Einheit der Erkenntnis und des Wissens ein transdisziplinäres Gesamtsystem begründen zu können; eine solch metaphysische Theorie ist wissenschaftstheoretisch ebenso zulässig wie jede andere Hypothese der Wissenschaft.

Im Zeichen des in der wissenschaftlichen Metaphysik im Sinne ihres *Ratio-Empirismus* angelegten Wechselspiels mit den Erfahrungswissenschaften ist eine solche metaphysische Theorie nicht nur im Sinne Poppers kritikabel, sondern sie wird darüber hinaus in seinem Sinne auch falsifizierbar. Indem im kosmologischen Sinne eine *ontologische Einheit* zu realisieren ist, kommt nicht nur der *Top-level Ontologie* als Referenzebene aller *formalen*

Ontologie der Informatik eine fundamentale Bedeutung zu, sondern insbesondere der *Metaphysik* in ihrer gleichermaßen *transdisziplinären* Funktion als Referenzebene aller *regionalen resp. materialen Ontologie* sämtlicher Wissenschaften. Es handelt sich also in beiden Fällen um die transdisziplinären Integratoren der jeweiligen ontologischen Einheit, wie sie ultimatives Ziel von CYPO FOX als *kombinierter metaphysischer Multi-Wissensontologie* ist. In ihr ist jede metaphysische Objektwelt im Sinne entsprechender Diskursuniversen wissenschaftlich repräsentierbar. Insofern gilt für die *integrierte metaphysische Wissensontologie* mit Verweis auf Pkt. 3.5 die Äquivalenzthese, die sich letztlich allein über eine mit der insgesamt Metaphysik unmittelbar korrespondierenden *metaphysischen Top-level Ontologie* der Informatik legitimieren lässt.

Vor diesem Hintergrund stellt sich nicht mehr die Frage, *ob* die Top-level Ontologie *metaphysisch* zu fundieren ist, sondern allein noch, *wie* sie im Einzelnen zu begründen ist. Dabei ist evident, dass es sich um eine *wissenschaftliche* Metaphysik handeln muss. Allerdings ist damit noch der konkrete Zuschnitt einer solchen wissenschaftlichen Metaphysik unklar. Indem die Ontologie eine *Theorie der Objekte* verkörpern, besteht mit der *Natur der Objekte* die wichtigste aller Fragen offensichtlich darin, ob die Objekte in einem Sein oder in einem Werden stehen, ob es sich also um *Objekte des Seins*, oder um *Objekte des Werdens* handelt. Damit ist die entscheidendste aller Fragen im Zuschnitt techno-wissenschaftlicher Metaphysik jene nach klassischer Objekt- vs. Prozessontologie. Dabei ist die klassische Objektontologie fundamental mit der klassischen Ding- oder Substanzmetaphysik identisch. Dieser letztlich entscheidendsten Frage lässt sich auf einfache Weise annähern, indem außer Zweifel steht, dass wissenschaftliche Metaphysik in ihrem Kern einen Ratio-Empirismus repräsentiert, auf dessen Basis jeder konkrete Zuschnitt der einzelnen Metaphysikvarianten nicht nur unmittelbar kritikabel, sondern letztlich auch fallibel wird. Dabei ist klar, dass sich wissenschaftliche Metaphysik nur dann einwandfrei praktizieren lässt, wenn auch die Konsequenzen eines solchen Fallibilismus strikt gehandhabt werden: als inferior identifizierte Metaphysiken sind auch *ad acta* zu legen.

Damit gehört das Spielfeld zunächst den Empiristen, und zwar nicht nur den Erfahrungswissenschaften in der wissenschaftlichen Sphäre, sondern im Sinne der Multiontologie als integrierter Ontologiekonzeption gleichermaßen den empirischen Bedingungen resp. Anforderungen der technologischen Sphäre: Indem in Pkt. 4.1 dargelegt wurde, dass im Sinne des Ratio-Empirismus techno-wissenschaftlicher Metaphysik ein *universales cyber-physisches Evolutionsparadigma* als metaphysische Grundhypothese vorauszusetzen ist, sind damit entsprechende Implikationen für die Ontologie verbunden. Die Ontologie ist als *Theorie der Objekte* notwendig in einem *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigma* zu entwickeln. Das gilt nicht nur im rationalistischen Sinne für das spekulative System, das insbesondere auf die Momente des Wandels und der Komplexität abzustellen hat. Vielmehr ist dies auch im empiristischen Sinne vorauszusetzen, nämlich mit Verweis auf allgemein akzeptierte erfahrungswissenschaftliche Theorien einerseits, sowie auf die

empirisch feststellbaren Bedingungen technologischer Prozesse andererseits. Im Sinne allgemeiner Restriktionen von Umwandlungs-, Produktions- oder sonstigen Transformationsprozessen ist die grundlegende Berücksichtigung des Evolutionsmoments auch hier zwingend einzufordern. Speziell für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist dieses Moment mit dem Referenzszenario insofern zwingend, als U-PLM-Systeme in elementarer Weise auf dem Lebenszyklusgedanken aufbauen. Insofern sind die in Pkt. 3.4 genannten neun allgemein akzeptierten ontologischen Prämissen, die Chandrasekaran et al. (1999) herausarbeiten, um folgende fünfzehn evolutionsontologische Prämissen zu ergänzen:

1. Objekte sind Gegenstand universaler cyber-physischer Evolutionsprozesse, indem für alle Welten die Gültigkeit des *Evolutionsmoments* zu unterstellen ist;
2. Objekte sind mit ihrer prozessualen Transformation i.S. von *Objektlebenszyklen* aufzufassen; sie besitzen ein (emergentes) Entstehen, haben ein Werden sowie ein Vergehen;
3. Ereignisse stehen nicht für sich isoliert, sondern als *prozessuale Ereignisse* in einem kausalen Wechselspiel, in das Objekte involviert sind;
4. Indem Objekte allein prozessual zu verstehen sind, ist Ontologie nicht nur *Theorie der Objekte*, sondern mit dem Primat der Prozesse zuvorderst *Theorie der Prozesse* (Prozessontologie);
5. Indem sich Objekte verändern, sind sie Teil eines *aktiven Universums*; indem dies *indeterminiert* geschieht sind sie Teil eines *kreativen Universums*; indem sie sich selbst verändern sind sie Teil eines *selbstorganisatorischen Universums*, hier gelten entsprechende Randbedingungen;
6. es gibt *ewige* Objekte;
7. Objekte sind nicht notwendig material; sie sind immer formal; eine universale Behandlung von Objekten ist allein auf Basis *formaler Objekte* möglich;
8. Objekte sind *organisiert*; sie besitzen eine Struktur bzw. Strukturiertheit; sie verfügen über interne wie externe systemische Relationen; sie haben eine System/Umwelt-Grenze und stehen mit ihrer Umwelt in interaktiver Beziehung;
9. Der Wandel von Objekten vollzieht sich *evolutiv*, nicht determiniert-mechanistisch; insofern sind Objekte im universal-metaphysischen (nicht im spezifisch-biologischen) Sinne mit Kant (1790) als *Organismen* aufzufassen;
10. Objekte sind entweder einfach oder komplex; handelt es sich um *komplexe Objekte*, sind sie organismisch zusammengesetzt und weisen eine Teil/Ganzes-Beziehung auf;
11. Mit Blick auf universale Neuerung, Emergenz und Innovationsprozesse gibt es nicht nur *aktuelle Objekte*, sondern i.S. von Entitäten möglicher Welten auch *mögliche Objekte*;
12. Aktuelle Objekte sind *raum-zeitlich instantiiert*; sie stehen im Zeichen von Objektlebenszyklen immer im ganzen Werdeprozess;

13. Für aktuelle Objekte gilt der natürliche Zeitpfeil resp. Historizität; ihre Trajektorie ist bestimmt durch Anfangsbedingungen; ihre Entwicklungsverläufe sind irreversibel und pfadabhängig;
14. Es gibt *kognitionsbefähigte Objekte*; in diesen Fällen entfällt die klassische *Subjekt-Objekt-Dichotomie*; Subjekte sind i.S. des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* Bestandteil der Natur;
15. Kognitionsbefähigte Objekte sind *adaptiv*, unterliegen artifiziieller resp. natürlicher *Selektion*; in ihrem Entwicklungsverlauf steigern sie ihre Komplexität.

6.1.2 Cyberworlds und Strukturwissenschaft: Zur Frage Form vs. Materie

»[A] percept in which we cannot perceive a structure nevertheless often has a structure, i.e. that the apparently simple is often complex.«

— Bertrand Russell (1927a: 386)

Klasse-3- und Klasse-4-Metaphysiken unterscheiden sich darin, dass allein letztere alle Metaphysiktypen in sich zu vereinigen vermögen. Das ist insofern möglich, als sie nicht nur wie Klasse-3-Ansätze *wissenschaftliche Metaphysiken* darstellen, sondern darüber hinaus auch *technologische Metaphysiken* verkörpern. Denn es handelt sich um jene Metaphysiken, die als digitalistische Ansätze auch den Cyberspace zu adressieren vermögen und damit insgesamt das notwendige metaphysische Fundament Cyber-physischer Systeme (CPS) bilden können. Klasse-4-Metaphysiken vereinigen auch die niederen Metaphysikklassen, also die Klasse-1- bzw. Klasse-2-Metaphysik in sich, nämlich insofern, als sie als Mehrweltenmetaphysiken spekulativ sind auch in dem Sinne, dass sie in allen Welttypen auch *mögliche Welten* modal adressieren können. In diesem Sinne inkorporieren sie auch alle Aspekte der *analytischen Metaphysik*; allerdings mit dem entscheidenden Vorteil, dass diese insgesamt in eine tatsächlich universale Metaphysikkonzeption eingebettet ist. Die analytische Metaphysik lässt sich zwar zur Klärung der fundamentalen Strukturen im Cyberspace heranziehen, doch geht sie insofern an den Belangen Cyber-physischer Systeme (CPS) vollkommen vorbei, als sie keinen sachgerechten Zugang weder zu diesen noch zur realen physischen Welt eröffnen kann. Denn dies ist kaum auf Basis eines alleinigen Rationalismus möglich. Vielmehr ist dazu offenbar ein *Ratio-Empirismus* insofern zwingend, als die metaphysischen Positionen nicht im dauerhaften Widerspruch zu jenen stehen können, die sich aus den Ergebnissen der erfahrungswissenschaftlichen Praxis ableiten lassen. Dies wurde mit Pkt. 5.5 in der Kritik der analytischen Metaphysik weiter vertieft. Mit Blick auf den realen CPS-Teil ist also mindestens eine Klasse-3-Metaphysik zwingend, während es sich bei der analytischen Metaphysik lediglich um eine Klasse-2-Metaphysik handelt. Davon ausgehend laufen Cyber-physische Systeme (CPS) schließlich insofern notwendig auf eine Klasse-4-Metaphysik hinaus, als sie sich allein auf dieser Basis in *technologischer* Hinsicht erschließen lassen. Vor diesem Hintergrund wird der Widerstreit von *Form vs. Materie* entscheidend, indem es diese sind, die wesentlich den Unterschied

zwischen Klasse-3- und Klasse-4-Metaphysiken bestimmen. Diese Differenz hängt dabei mit dem in Pkt. 6.1.1 geführten Diskurs um *Prozess vs. Substanz* insofern unmittelbar zusammen, als Prozess bzw. Ereignis prinzipiell als *formale* Momente behandelt werden, während die Substanz in den meisten Ansätzen als *materiale* Substanz konzipiert ist. Genau so erklärt sich auch der fundamentale Unterschied zwischen dem Bungeschen Ansatz als Klasse-3-Metaphysik und dem Whiteheadschen als Klasse-4-Metaphysik.

Wenn Metaphysik die fundamentalen Strukturen der Welt, insbesondere der Realität, klären will, kommt sie insofern nicht an Cyber-physischen Systemen (CPS) vorbei, als diese mit zu den Welten und mindestens in ihren kausalen Rückkopplungen mit zur Realität gehören. Insofern gilt, dass nicht nur die Ontologie zwingend das Kriterium der CPSS-Adäquanz zu erfüllen hat, sondern natürlich auch die Metaphysik. Alle Metaphysiken, die auf "*nontoy worlds*" zielen, müssen somit notwendig auf Klasse-4-Metaphysiken hinauslaufen. Damit ist die Differenz zwischen Klasse-3- und Klasse-4-Metaphysiken zu bestimmen, was wiederum selbst allein im metaphysischen Diskurs bewerkstelligbar ist. Wenn sich nicht nur die Ontologiediskussion, sondern auch die Metaphysikdiskussion um die *Existenz Cyber-physischer Systeme (CPS)* zentrieren muss, wird schnell deutlich, warum der Widerstreit von *Form vs. Materie* entscheidend wird: Denn *physische* Systeme sind gerade als materielle Systeme "real", *Materie* ist für ihre Existenz konstituierend, worauf Bunges Metaphysikposition gerade abstellt. Cybersysteme lassen sich hingegen nicht universal über Materie erschließen, sondern *in dieser Universalität* allein über die *Form* als Gegenpart. Offenbar besteht damit auch im CPS-Kontext ein echter Widerstreit, den es aufzulösen gilt. Dabei ist gerade mit Blick auf den Cyberspace bzw. die virtuelle CPS-Seite wie mit Verweis auf alle logikbasierte Steuerung der physischen Sphäre festzustellen, dass Form primär als *funktionale Form* zu interpretieren ist. Entsprechend lässt sich Form im Sinne des Funktionalismus im *abstrakten* logico-mathematischen bzw. digitalistischen Sinne als losgelöst von der Materie verstehen; Form korrespondiert mit Funktion, wobei letztere auf Basis der mathematischen Logik beschreibbar ist. In diesem Sinne ist Ontologie *Funktionenontologie*, wie sie bereits Rombach (1965) konzipiert, und wie sie heute in moderner Gestalt mit Verweis auf Pkt. 4.6 für die *Ontologie der Artefakte* etwa in der dort erwähnten *Ontologie der Funktionen* eine integrative Rolle spielt. Offenbar spricht auch dieses Argument für die Klasse-4-Metaphysik, indem allein eine techno-wissenschaftliche Metaphysik im Zeichen der CYPO-Ontologiekonzeption die wissenschaftlichen Gesichtspunkte Rombachs (1965) mit den in Pkt. 4.6 technologisch-funktionalistischen Aspekten in ein tatsächlich *universales* Schema überführen kann. Darin besteht eine Grundvoraussetzung jeder *integrierten Ontologiekonzeption*.

In den Schritten zur Auflösung ist erstens herauszustellen, dass die Metaphysikposition Bunges gewiss nicht unberechtigt ist, wenn er die Existenzfrage an der Materie festmachen will. Natürlich kommt keine ernstzunehmende Metaphysik um den Aspekt der Materie umhin. Wenn die Existenz der Außenwelt vorausgesetzt wird, ist letztlich auch Materie

vorausgesetzt; gleiches ist auch für jede emergentistische Ontologie kennzeichnend. Insofern, und nur insofern gilt mit Johansson (1989), der in expliziter Analogie zu Bunge argumentiert, ein *'irreductive materialism'*.⁴¹⁰⁸ In genau dieser Hinsicht wird er auch etwa durch Whitehead (1929a) oder Popper (2002b) geteilt; denn beide setzen wie Bunge oder Johansson natürlich genauso eine materielle Außenwelt voraus wie auch einen Emergentismus, der sich von tieferen, materiellen Ebenen zu höheren entwickelt. Nimmt man jedoch diesen Emergentismus ernst, müssen auch alle ontologischen Ebenen bzw. Schichten im Sinne Hartmanns, Poppers oder Whiteheads als "real" erachtet werden, und nicht nur die unterste, materielle Ebene. Darin, insbesondere in der Realitätsfrage der Welt 3, liegen die divergenten Positionen begründet. Wenn dieser Streit gerade auch vor dem Hintergrund Cyber-physischer Systeme (CPS) zu sehen ist, wird deutlich, dass er sich letztlich leicht auflösen lässt, nämlich auf Basis integrierter Ontologiearchitekturen wie *CYPO FOX*, die für CPS generell vorauszusetzen sind.

Vor diesem Hintergrund lässt sich auch auf Basis der auf Aristoteles zurückgehenden *Form-Materie-Dichotomie* konstatieren,⁴¹⁰⁹ dass alle Klasse-1- wie Klasse-2-Metaphysiken in dem Sinne als unzulässig einzustufen sind, als sie keinen empirisch-rationalen Zugang zur Materie zulassen. Wie will man auch die fundamentalen Grundstrukturen der Realität klären, ohne dass man sich im empirischen Sinne mit der Materie an sich auseinandersetzt? Weil das für diese beiden niederen Metaphysikklassen unmöglich ist, sind sie kategorisch abzulehnen. Bunge besitzt vor diesem Hintergrund mit seiner Klasse-3-Metaphysik, seinem *Ratio-Empirismus* und seiner materialistischen Existenzdefinition recht gegenüber Klasse-1- und Klasse-2-Metaphysikkonzeptionen. In diesem Sinne ist mit Mainzer (1996) die Wesentlichkeit von *Materie* herauszustellen, ohne die sich die reale Welt *in grundlegender Hinsicht* nicht verstehen lässt. Das gilt mit Mainzer (1994a) gerade auch mit Blick auf den für die Informatik insgesamt entscheidenden Komplexitätsgesichtspunkt, zu dem auch Atmanspacher (1994: 178) konstatiert: »Complexity is a concept that has its origin in physics and primarily relates to properties of the material world«. Schließlich lässt sich die Rolle der *Materie* im Zuge des *Ratio-Empirismus* etwa mit Mainzer (1995: 106 f.) an einem konkreten Beispiel illustrieren, nämlich insofern, dass sich der *Quantencomputer* auf der Grundlage der *Quantenmechanik* begründet, womit es zunächst einmal um die Dynamik von Elementarteilchen und verbundene Aspekte geht.

Tatsächlich ist die aristotelische *Form-Materie-Dichotomie* bis heute relevant; mit der in Pkt. 5.2 behandelten (neo-) aristotelischen Substanzontologie gerade auch für die formale Ontologie: So baut Galtons (2000a) *two-level ontology* auf ihr auf.⁴¹¹⁰ Aber ist Galtons (2000a) Ontologiekonzeption mit dieser aristotelischen *Form-Materie-Dichotomie*

⁴¹⁰⁸ Es sei darauf hingewiesen, dass Johansson dennoch andere Positionen als Bunge vertritt, was etwa an seinem *Pattern realism* deutlich wird, vgl. hierzu Johansson (1998).

⁴¹⁰⁹ Diese *Form-Materie-Dichotomie* ist für die aristotelische Philosophie zentral, indem die endlichen Substanzen zwei verschiedene Prinzipien repräsentieren, nämlich Stoff bzw. *Materie* (gr. *hýlē*) und *Form* (gr. *morphḗ*), was in der Neuscholastik entsprechend als *Hylemorphismus* bezeichnet wird.

⁴¹¹⁰ Vgl. hierzu insbes. Galton (2000a: 110).

indessen tatsächlich CPSS-adäquat? – Man wäre vielleicht auf den ersten Blick geneigt, diese Frage zu bejahen, indem mit Verweis auf die obigen Ausführungen sowohl Materie als auch Form für CPS entscheidend sind, und Galtons (2000a) *two-level ontology* gerade auch dichotom konzipiert ist. Allerdings zeigt sich genauer besehen, dass bei der Beantwortung dieser Frage weiter auszuholen ist. Denn in Wahrheit steht Galtons (2000a) *two-level ontology* im Geiste von Klasse-3-Metaphysiken, nicht aber in jenem der Klasse-4-Metaphysik. Denn wie bei Aristoteles oder Bunge ist auch bei Galton (2000a) alle *Form* in der *Form-Materie-Dichotomie* auf *Materie* bezogen. Insofern steht Form in all diesen Ansätzen in einem materialistischen Form-Verständnis, womit sich insgesamt sagen lässt, dass es sich um Ansätze handelt, die grundsätzlich im Zeichen eines *materialistischen* bzw. *naturalistischen* Metaphysikverständnis stehen, das einen entsprechend engen Bezug zu den Naturwissenschaften eröffnet. Die aristotelische *Form* kann also – im grundlegenden Unterschied zu den Platonischen *Ideen* – nicht für sich existieren, sondern nur das aus Form und Materie Zusammengesetzte.⁴¹¹¹ Wenn sich etwa der frühe Putnam (1973) im Zeichen des Funktionalismus in der Philosophie des Geistes mit seiner Separierung der Form vom Materiellen explizit auf Aristoteles beruft und ihn gar als Vorläufer seiner eigenen Position ausweist, basiert dies offensichtlich auf einem Irrtum.⁴¹¹² Vielmehr kann mit einem solchen Funktionalismus allein die weiter unten erörterte *strukturalistische Form* im Whitehead-Russellschen Sinne gemeint sein.

Cyber-physische Systeme (CPS) benötigen demgegenüber ein grundsätzlich anderes Verständnis von Form, nämlich eines, das insofern weder materialistischem noch naturalistischem Charakters sein kann, als sich Form nicht allein auf *Materie* beziehen lassen können muss, sondern genauso auf *Artefakte*, wie sie für die in Pkt. 4.6 behandelte *Ontologie der Artefakte* unabdingbar sind. Mit anderen Worten ist ein Formverständnis erforderlich, das sich nicht nur auf physische Welten sowie auf cyber-physische Welten beziehen lässt, sondern auch auf reine Cyberwelten. Denn das ist für ein integriertes Ontologieverständnis wie für ein universales Ontologiekonzept unabdingbar. Insofern kann ein CPSS-adäquates Formverständnis nicht an den *Naturwissenschaften* orientiert sein, sondern es kann allein im Zeichen der *Strukturwissenschaften* stehen, wie sie weiter unten näher thematisiert werden. Es stehen damit nicht unmittelbar *spezifische Erfahrungswissenschaften* im Fokus, sondern vielmehr die *Formalwissenschaften* als ratio-empirischer Mittler techno-wissenschaftlicher Metaphysik.

Vor diesem Hintergrund wird der grundlegende Unterschied zwischen Klasse-3- und Klasse-4-Metaphysiken nochmals deutlich: Klasse-3-Metaphysiken machen als *wissenschaftliche Metaphysiken* an den *Erfahrungswissenschaften*, insbesondere an einem Natu-

⁴¹¹¹ Vgl. hierzu auch Mainzer (1996: 87).

⁴¹¹² Aristoteles führt hierzu aus: »Notwendig also muß die Seele ein Wesen als Form(ursache) eines natürlichen Körpers sein, der in Möglichkeit Leben hat. Das Wesen aber ist Vollendung (Entelechie). Also ist sie Vollendung eines solchen Körpers«, vgl. Aristoteles ([An.]: II 1, 412a), und weiter heißt es: »Wenn man nun etwas Gemeinsames von jeder Seele sagen soll, so ist sie wohl die erste Vollendung eines natürlichen, organischen Körpers«, vgl. Aristoteles ([An.]: II 1, 412b).

ralismus, teilweise konkret an einem Materialismus fest. Demgegenüber zeigen sich Klasse-4-Metaphysiken als *techno-wissenschaftliche Metaphysiken* durch die *Formalwissenschaften* geprägt. Darin besteht auch der grundlegende Unterschied zwischen der Bungeschen (1977a) und der Whiteheadschen (1929a) Metaphysikkonzeption. Erste ist in ihrer erfahrungswissenschaftlichen Orientierung materialistisch, zweite in ihrer formalwissenschaftlichen Orientierung *antimaterialistisch*.⁴¹¹³ Oder anders gewendet: Bunge kommt als theoretischer Physiker von der Physik zur Metaphysik; Whitehead hingegen als Mathematiker von der Mathematik und mathematischen Logik. Dabei ist offensichtlich, dass es keine gute Idee ist, Cyber-physische Systeme (CPS) über eine primär erfahrungswissenschaftlich verstandene Physik erschließen zu wollen, während sie im Sinne der Automaten- und Systemtheorie allein mit formalwissenschaftlichen Ansätzen sachgerecht adressierbar sind. Das Formverständnis ist hier also ein anderes, nämlich ein strukturwissenschaftliches, wie es aus Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* hervorgeht, wenn Whitehead (1920) wie Russell (1927a: 400 f.) *Materie* als "*system of events*" auffassen. Denn dieses "*system of events*" ist als *Form* bei Whitehead wie bei Russell keineswegs im aristotelischen Sinne zwingend materiebezogen. Vielmehr orientiert sich Whitehead (1934b: 294 f.) hier an Platon. Das eröffnet die Möglichkeit, *Form* im strukturwissenschaftlichen Sinne strukturalistisch-universal zu verstehen, indem dieses "*system of events*" weiter unten im Sinne von Hartmann (1912) konsequent als *prozessuale Form* auszulegen ist. Das geht darauf zurück, dass der *universale Strukturalismus* mit Pkt. 4.2 in Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik als *organismischer Relationenontologie* rigoros im Zeichen des Evolutions- und Komplexitätsparadigmas steht, das durch ihn in *universaler Gestalt* begründet wird. Dieser universale Strukturalismus geht dabei so weit, dass Russell (1927a) gerade auch die *Physik als Strukturwissenschaft* versteht, was mit Blick auf die letztlich festzustellende physikalische Prägung des Bungeschen Ansatzes besonders aufschlussreich erscheinen muss. Das gilt zumal nicht nur Russell (1927a) wie sein akademischer Lehrer Whitehead diese Sichtweise vertritt, sondern nach ihnen auch Carnap (1928a), Eddington (1939) sowie schließlich C.F. von Weizsäcker (1974).⁴¹¹⁴ Natürlich steht Wolframs (2002) *New Kind of Science* genauso in dieser strukturalistisch-komplexitätsorientierten Tradition. Für das bisherige Verständnis der Physik als Leit- oder Grundlagendisziplin ist diese Auffassung natürlich von größter Bedeutung, deren letztliche Konsequenz indessen allein mit Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik richtig offensichtlich wird. Vor diesem Hintergrund steht außer Frage: selbst wenn man – entgegen der Whiteheadschen Praxis – unbedingt an der Substanzkategorie festmachen wollte, dann wäre sie nicht im Sinne von Aristoteles, Bunge oder Galton als materielle Substanz zu verstehen; vielmehr fiel sie mit Weizsäcker (1974: 361) in dieser strukturwissenschaftlichen Sichtweise »unter den Ober-

⁴¹¹³ Dieser *Antimaterialismus* ist nicht mit einem *ontologischen Immaterialismus* zu verwechseln.

⁴¹¹⁴ Vgl. Russell (1927a: 390), Carnap (1928a: 20) sowie Eddington (1939: 142).

begriff Form«. Demgegenüber ist bei Bunge (1977a) genau umgekehrt die Form immer Eigenschaft einer Substanz, und diese ist wiederum ein materielles Ding.

Wie dargelegt, ist die Bungesche Position inhaltlich insofern nicht zwingend falsch, als es Materie im *physikalischen* Sinne gibt. Was sie aber in letzter Konsequenz tatsächlich ist, was sie also gerade auch *metaphysisch* ist, haben wir in Pkt. 5.3 geklärt. Es hat sich gezeigt, dass die Bungesche Position für eine tatsächlich *universale* Metaphysikkonzeption ungeeignet ist. Entsprechend muss es gelten, speziell auch die Bungesche Klasse-3-Metaphysik in die Klasse-4-Metaphysik zu inkorporieren. Das ist insofern problemlos möglich, als die Klasse-4-Metaphysik in ihrer CPSS-Adäquanz als Mehrweltenontologie konzipierbar ist; mit Pkt. 3.5 speziell in Gestalt von CYPO FOX. Dann steht außer Frage, dass für alle vier Welten die Whiteheadsche Position gilt, nämlich dass diese im Zeichen der *strukturalistischen Form* zu konzipieren und zu verstehen sind. Dabei ist allein die Welt 1 die materiale Welt, womit in dieser die aristotelische *Form-Materie-Dichotomie* gilt, jedoch nicht als untrennbarer Hylemorphismus, wie ihn Bunge oder Galton zugrundelegen.⁴¹⁵ Vielmehr ist ungeachtet des strikt geltenden Form-Materie-Bezugs mit Whitehead (1920) wie Russell (1927a: 400 f.) die *Materie* als "*system of events*" im Zeichen strukturwissenschaftlich prozessualer Form zu konzipieren. Und in diesem Sinne lassen sich dann alle vier Welten auch über eine einheitliche *metaphysische Top-level Ontologie* erschließen, die sich durch den Strukturalismus der Klasse-4-Metaphysik geprägt zeigt. Das gilt gerade auch dann, wenn mit dem strikten Form-Materie-Bezug außer Frage steht, dass in einer *ganz spezifischen materialen* Instantiierung die Grundvoraussetzung für das Funktionieren eines Systems bestehen kann. Daraus folgt gleichzeitig, dass etwaige physikalisch gegebene Beschränkungen einer multiplen Realisierbarkeit nicht in Abrede gestellt werden dürfen. Dabei ist festzustellen, dass sich diese Argumente uneingeschränkt mit jenen für den *Ratio-Empirismus* decken.

Die weiter unten thematisierten Strukturwissenschaften sind im Allgemeinen *methodologischen* Charakters; sie stehen also weder im expliziten Zeichen der Metaphysik noch in jenem der Ontologie. Dennoch gibt es diesen Bezug natürlich mindestens implizit. Insofern bietet sich mit Hartmann (1912) und Whitehead (1929a) eine ergänzende Bestimmung als *prozessontologische Strukturwissenschaft* an. Tatsächlich ist *Form* nicht etwa im Sinne beliebiger *Struktur* zu verstehen, bzw. Struktur nicht als beliebige Form. Vielmehr gehen mit Verweis auf Pkt. 4.1 die Strukturwissenschaften und die Komplexitätsforschung Hand in Hand. Dann wird deutlich, dass Whitehead wie Russell mit ihrem durch die *Principia Mathematica* inspirierten strukturwissenschaftlichen Formverständnis als "*system of events*" richtig liegen, indem Struktur als *prozessuale Form* zu verstehen ist, oder umgekehrt Form als *prozessuale Struktur*, mithin als komplexe Struktur. Bereits mit N. Hartmann (1912: 41), der wie Whitehead im Zeichen der *Neuen Ontologie* steht, lässt sich »die

⁴¹⁵ Vgl. zum Problem des Zusammenhangs zwischen *Form und Materie* auch Ingarden (1965: 39 ff.).

Form nicht ohne den Prozeß verstehen«, genauso, wie man »den Prozeß nicht ohne die Form erkennen kann«. Dazu stellt Hartmann weiter fest:

»Diese beiden untrennbaren Gegenbegriffe [von Form und Prozess, A.d.V.] durchziehen die Lebenserscheinungen alle, von den niedersten bis zu den höchsten. Nie treten sie isoliert auf, und immer sind sie derart miteinander verwoben, daß man die Form nicht ohne den Prozeß verstehen, den Prozeß nicht ohne die Form erkennen kann. Das Leben ist überall und in jeder Hinsicht ebenso sehr Form als Prozeß. [...] Das Schwergewicht freilich liegt hierbei schließlich auf dem Prozeß als solchem. Denn [...] die Form hat ihre Bedingungen, aus denen sie sich erbaut, im Prozeß. Wir kennen die lebendige Form nicht anders als im Prozeß begriffen und im Prozeß entstehend; daher muß dieser ein ‚formbildender‘ oder ‚morphogenetischer‘ sein. Nur so ist die Form Ausdruck der Lebendigkeit, die den Systembegriff des Organismus zu dem sich selbst erbauenden System spezialisiert.«⁴¹¹⁶

Vor diesem Hintergrund lässt sich Whiteheads *universaler Strukturalismus* in Pkt. 4.2 besser verstehen, wenn dort mit Whyte (1951, 1955a, 1955b, 1969a, 1969b, 1973) die Aspekte der Form und Ordnungsstruktur im Zeichen von Whytes *Formative Process* Erörterung finden. Für Cyber-physische Systeme ist dieser universale Strukturalismus als *prozessualer Form* die Brücke zwischen der *Metaphysik der Natur* und der *Metaphysik des Artifi­ziellen*, wie sie in Klasse-4-Metaphysiken angelegt ist. Als einheitlich konzipierte strukturalistische Form überbrückt sie die Kluft zwischen Aristoteles' realistischer Welt des Konkreten und Platons idealistischer Welt des Abstrakten,⁴¹¹⁷ bzw. jene zwischen der Popper­schen Welt 1 und der Welt 3, wie insgesamt aller vier Welten von CYPO FOX.

Was den Widerstreit von *Form vs. Materie* anbetrifft, besteht ein direkter Zusammen­hang zu der in Pkt. 4.6 behandelten *Ontologie der Artefakte* (W3-Ontologie). Denn sie be­ziehen sich im Sinne Bunges zwar in erster Linie auf Technologien, aber nicht ausschließ­lich. Denn zum einen zielen sie auch auf die wissenschaftliche Reflexion sozialer Prozesse, indem etwa Institutionen ebenfalls Artefakte darstellen, die für alle sozialwissenschaftliche Theoriebildung von Relevanz sind. Da neben Technologien und Erfahrungswissenschaften auch die Formalwissenschaften nicht ohne W3-Objekte auskommen, wird deutlich, dass unter die W3-Disziplinen auch die *Strukturwissenschaften* fallen, wie sie insbesondere in folgenden Disziplinen gegeben sind:

- (i.) *Reine und angewandte Mathematik, Systemanalyse, Informationstheorie, Kybernetik, Spieltheorie und theoretische Informatik*; sowie darüber hinaus:⁴¹¹⁸
- (ii.) *Systemtheorie, Synergetik, Chaostheorie und Katastrophentheorie*; sowie darüber hinaus:⁴¹¹⁹
- (iii.) *Semiotik, Operations Research, Komplexitätstheorie und Entscheidungstheorie*; sowie darüber hinaus:⁴¹²⁰
- (iv.) *Artificial Life*; sowie darüber hinaus:⁴¹²¹
- (v.) *Biosemiotik und Netzwerktheorie*.⁴¹²²

⁴¹¹⁶ Hartmann (1912: 41).

⁴¹¹⁷ Whitehead (1929a: 96) weist selbst *mit Blick auf das Prozessuale* auf die gemeinsame Sichtweise der *Form* bei Platon und Aristoteles hin.

⁴¹¹⁸ Vgl. C.F. von Weizsäcker (1974: 22 f.).

⁴¹¹⁹ Vgl. B.-O. Küppers (2000: 102).

⁴¹²⁰ Vgl. Artmann (2010: 9, 13).

⁴¹²¹ Vgl. Artmann (2003).

Auch wenn diese Wissenschaften – wie alle Wissenschaft – in die W3-Sphäre gehören, liegt ihr Objektbereich nicht nur in der Welt 3, sondern er ist – je nach spezifischer Strukturwissenschaft mehr oder minder – in transdisziplinärer Hinsicht der *Einheit der Wissenschaften* verpflichtet. Damit liegt ihr Objektbereich teilweise auch in der Welt 1, Welt 2 oder Welt 4, die sie universal auf Basis *abstrakter Strukturen* zu erschließen suchen:

»Die Strukturwissenschaften haben für die Einheit der Wissenschaften insofern eine große Bedeutung, weil sie eine Brücke zwischen den Natur- und Geisteswissenschaften schlagen und die Wirklichkeit nur unter dem Aspekt abstrakter Strukturen betrachten, zwischen Natur- und Kulturgegenständen also gar nicht mehr unterscheiden.«⁴¹²³

Für B.-O. Küppers (1991: 95) ist ausgemacht, dass es gerade die Strukturwissenschaften sind, »in denen sich die Einheit der Wissenschaften manifestiert, eine Einheit, die die Natur- und die Geisteswissenschaften umfaßt«. Die Strukturwissenschaften beziehen sich mit B.-O. Küppers (2008) in gleicher Weise auf die Formal- wie auf die Realwissenschaften, deren "abstraktes Gerüst" sie bilden.⁴¹²⁴ Auf dieser Basis sollen die Strukturwissenschaften »eine Brückenfunktion zwischen den Natur-, Wirtschafts- und Geisteswissenschaften einnehmen«. ⁴¹²⁵ Die Strukturwissenschaften werden dabei analog zur Komplexitätsforschung als transdisziplinäre Methodologie aufgefasst:

»Structural sciences are transdisciplinary formalization programmes that try to discover abstract analogies between research problems of different empirical sciences in order to contribute to their solution.«⁴¹²⁶

Allerdings wird eine methodologische Einheit der Wissenschaften nur dann wirklich möglich, wenn auch die durch Bertalanffy (1950a) ins Spiel gebrachte Frage der Strukturgleichheiten faktisch geklärt ist,⁴¹²⁷ was Küppers (2008) ebenso betont:

»Für die Frage nach der Einheit der Wissenschaften sind vor allem jene Strukturgleichheiten von Bedeutung, die für Gesetze in unterschiedlichen Wissenschaftsbereichen gelten.«⁴¹²⁸

Letztlich offenbart die naturalistische strukturwissenschaftliche Programmatik selbst das Erfordernis, die Strukturwissenschaften – wie auch die Komplexitätsforschung – notwendig durch eine *Metaphysik komplexer Systeme* zu fundieren. Das wird bereits bei B.-O. Küppers (1991) deutlich, wenn er von der "*allgemeinsten Theorie*" spricht, denn diese besteht gerade in der *wissenschaftlichen Metaphysik*, die mit Küppers Betonung der Prozesse faktisch auf eine *Prozessmetaphysik* hinauszulaufen hat:

»Ihrem Wesen nach ist sie [*die Strukturwissenschaft als Komplexitätstheorie*, A.d.V.] eine Wissenschaft von den Randbedingungen und als solche eine Wissenschaft von den einzigartigen und nicht

⁴¹²² Vgl. Artmann (2007).

⁴¹²³ B.-O. Küppers (2003: 24).

⁴¹²⁴ Vgl. B.-O. Küppers (2008: 315).

⁴¹²⁵ Ibid.

⁴¹²⁶ Vgl. Artmann (2007: 182 f.).

⁴¹²⁷ Vgl. Bertalanffy (1950a: 164 f.): »Especially the gap between natural and social sciences or, to use the more expressive German terms, of Natur- und Geisteswissenschaften is widely diminished, not in the sense of a reduction of the latter to biological conceptions but in the sense of structural similarities. This is the cause of the appearance of corresponding general viewpoints and notions in both fields, and may eventually lead to the establishment of a system of laws in the latter«.

⁴¹²⁸ B.-O. Küppers (2008: 316).

umkehrbaren *Prozessen*. Sie zielt auf die *allgemeinste Theorie* zeitlicher Vorgänge und damit auf die *allgemeinste Theorie geschichtlicher Prozesse* ab.«⁴¹²⁹

Wenn es bei Artmann (2010: 9) mit Bezug auf die oben unter (i) bis (v) genannten Disziplinen heißt: »All diese Wissenschaften beschreiben wie die Mathematik auf eine abstrakte Weise relationale Ordnungen: also Strukturen«, ist evident, dass dies kein Abgrenzungskriterium darstellen kann. Denn mit Carnap (1928a: 20 f.) sei darauf verwiesen, dass dies letztlich *alle* Wissenschaften tun, also gerade auch die Erfahrungswissenschaften, wenn mit ihm gilt, dass überhaupt alle wissenschaftlichen Aussagen *Strukturaussagen* sind. Bei Schlick (1938: 159) als Begründer des Wiener Kreises heißt es analog zu Carnap: »The difference between structure and material, between form and content is, roughly speaking, the difference between that which can be expressed and that which cannot be expressed«. Allerdings kommt dann entgegen Schlick (1938) somit doch die Metaphysik ins Spiel, indem außer Frage steht, dass die Analyse der fundamentalen Strukturen der Welten bzw. Realität allein ihre Sache ist. Somit ist als Ergebnis festzuhalten, dass vor dem Hintergrund der in Pkt. 4.1, Pkt. 6.1.1 sowie in diesem Pkt. 6.1.2 geführten Diskurse keine Argumente bleiben, weiterhin die inferioren Klasse-1-, Klasse-2- oder auch Klasse-3-Metaphysiken als Grundlage metaphysischer Analyse heranziehen zu wollen. Sie sind letztlich *nicht* universal konzipiert, was jedoch der Anspruch der Metaphysik ist. Damit kommen sie auch nicht für die Informatik in Frage, sondern allein die auf dem *universalen Strukturalismus* gründende *Klasse-4-Metaphysik*, was nicht zuletzt auch für die Ontologiefrage im *Internet of Everything* (IoX) auf Basis des *Smart Web* als Web 4.0 gilt: »The structure is everything«, wie der ehemalige CERN-Physiker und Informatiker Berners-Lee (1999: 12) im Kontext der Quantenphysik konstatiert.⁴¹³⁰ Allerdings zieht er mit Verweis auf sein unter Pkt. 3.3 bzw. Pkt. 3.4 behandeltes defektes Ontologieverständnis als Protagonist des *Semantic Web* bzw. Web 3.0 daraus nicht die erforderlichen Schlüsse. Der *universale Strukturalismus*, der ein *cyber-physischer* ist, kann nur eines sein, nämlich ein "system of events", das ebenso cyber-physisch veranlagt ist. Mit CYPO FOX ist dieses Erfordernis wiederum im Zeichen der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF zu verstehen, also mit der unabdingbaren Korrespondenz von fundamentalen Weltstrukturen und Semantik- bzw. Wissensstrukturen insbesondere im ontologisch-kategorialen Sinne der Semantik.

⁴¹²⁹ B.-O. Küppers (1991: 95), Hvh. des Verf.

⁴¹³⁰ Vgl. Berners-Lee (1999: 204): »[W]hen the matrix of the Web is analyzed like a quantum mechanical system, stable energy states correspond to concepts under discussion. The Web is starting to develop large-scale structure in its own way«.

6.1.3 Heavyweight-Ontologien: Klassifikation vs. Kategorialanalyse

»Philosophy will not regain its proper status until the gradual elaboration of categorial schemes, definitely stated at each stage of progress, is recognized as its proper objective. There may be rival schemes, inconsistent among themselves; each with its own merits and its own failures. It will then be the purpose of research to conciliate the differences. Metaphysical categories are not dogmatic statements of the obvious; they are tentative formulations of the ultimate generalities.«

— Alfred N. Whitehead (1929a: 8)

Indem es sich bei Ontologien um *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* handelt, verlangt jede Ontologie zunächst die Klärung der fundamentalen Strukturen der Welten. Damit gelangen wir vom Widerstreit um die Objekt- vs. Prozessontologie in Pkt. 6.1.1 sowie von jenem um Form vs. Materie im vorausgegangenen Pkt. 6.1.2 direkt zu einem weiteren Widerstreit: Dieser betrifft die Frage, ob für die Ontologie eine einfache Klassifikation von Objekten ausreichend ist, oder ob sie eine Kategorialanalyse verlangt. Dabei ist die einfache Klassifikation typisch für linguistische Ontologien, während die Kategorialanalyse zwingend die Metaphysik voraussetzt, indem Kategorien als oberste Gattungen des Seienden aufzufassen sind.⁴¹³¹ Anders gewendet gilt mit Tegtmeier (2010):

»An ontology (an ontological theory) is first of all a classification of everything that is in the world and of the world itself into categories. Thus its categories are characteristic of an ontology.«⁴¹³²

Die Antwort auf obige Frage liegt damit zwar bereits auf der Hand, dennoch muss es mit ihrer fundamentalen Bedeutung wiederum gelten, sie im Folgenden kurz zu begründen. Zunächst ist festzustellen, dass die *Ontologie* als bloße linguistische Klassifikation gründlich missverstanden ist,⁴¹³³ indem diese an den entscheidenden Momenten der Weltmodelle vollkommen vorbeigeht. Entsprechend ist mit R.S. Wells (1951: 539) festzustellen:

»However one may conceive ontology, it surely includes the task of describing the major kinds of being. That is, every ontological system will include a list of categories – or will be incomplete.«

Das gilt insbesondere insofern, als eine Ontologie als einfache linguistische Klassifikation auch nicht den Anforderungen der explikativen Heavyweight-Ontologie genügen kann. Einfache Klassifikationen ohne Referenz auf TLO-Kategorien können mit Blick auf die Wiederverwendung von Wissen, das Schaffen von Ontologiebibliotheken wie insgesamt mit Blick auf den Transdisziplinaritätsgedanken wie einer möglichst umfänglichen semantischen Interoperabilität nicht wegweisend sein. Oder es geht um etwas anderes, nämlich nicht um Ontologien, sondern um *semantische Netze*, die für einfache, rein sprachbasierte Einsatzszenarien ausreichend sein können. Ein sachgerechtes *Ontology Engineering* muss hingegen notwendig mit den TLO-Kategorien starten, damit für automatisierte Systeme problemlos interpretierbar ist, um welche Art von Entitäten es sich tatsächlich handelt. Wie im ersten und dritten Teil dargelegt, ist die Frage der Ontologiekonzeption grundsätzlich immer als *explikative Ontologie*, d.h. als *Heavyweight-Ontologie*,

⁴¹³¹ Vgl. Jansen (2008a: 91).

⁴¹³² Tegtmeier (2010: 211).

⁴¹³³ Mit Van Inwagen (2011) wird deutlich, dass sich letztlich *jede* Ontologiekonzeption bzw. ontologische Theorie *kategorial* fassen lässt, indem er zwischen *monokategorialen* und *polykategorialen* Ontologien differenziert und letztere nochmals in *relationale* und *konstituierende* Ontologien unterteilt.

zu verstehen. Poli (1996) ist vor diesem Hintergrund zuzustimmen, dass Ontologie gerade nicht als *Taxonomie* noch als *Terminologie* oder *Katalog der Welt* zu verstehen ist; wenn überhaupt, bildet sie im kategorialen Sinne und als Mehrebenenontologie das allgemeine Rahmenwerk, in dem solche Taxonomien Platz finden. Somit gilt mit Hirst (2009: 276):

»An ontology [...] is a set of categories of objects or ideas in the world, along with certain relationships among them; it is not a linguistic object. A lexicon, on the other hand, depends, by definition, on a natural language and the word senses in it.«

Die eigentlichen Ontologien der Informatik, also jene Heavyweight-Ontologien, die auch komplexen wie kritischen Anwendungen wie Closed-loop U-PLM-Systemen genügen, erfordern hingegen eine echte ontologische Verpflichtung, die am Kern jeder Ontologie festmacht, nämlich an den Kategorien und ihrer logisch-rationalistischen wie empiristischen Gesichtspunkten genügenden Systematik. Kategorien sind für die Metaphysik wie für die Ontologie zentral,⁴¹³⁴ und für ihre Verkopplung maßgeblich. Mit Verweis auf Pkt. 4.1 sind Kategorien sowohl für Strawsons (1959) *deskriptive* als auch für die *revisionäre Metaphysik* elementar. Allerdings sind sie dabei jeweils von grundsätzlich anderer Bewandnis; diese freizulegen, stellt eine notwendige Vorarbeit zur Überwindung des Widerstreits von *deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik* in Pkt. 6.2.2 dar. Dabei wird deutlich werden, dass die kategorial begründbare Überwindung dieses Widerstreits in direktem Zusammenhang mit der in Pkt. 6.2.1 umrissenen CPS-CEP- wie MAS-adäquaten Ontologie als TLO-Anforderung steht. Kategorien im Sinne deskriptiver Metaphysik finden sich etwa bei Ryle (1938),⁴¹³⁵ der als einer der Begründer der *Oxford Philosophy* ein maßgeblicher Vorkämpfer des OLP-Zweigs der Analytischen Philosophie ist.⁴¹³⁶ Im Zeichen von Kants (1781) *konzeptuellem Schema* bleibt auch Ryles (1949) Formulierung der Idee des *Kategorienfehlers* hervorzuheben, bei dem es um eine falsche Zuordnung von Begriffen zu Kategorien geht.⁴¹³⁷ Kategorien stehen in der *deskriptiven Metaphysik* in einem logisch-begrifflichen bzw. rein rationalistischen Zusammenhang, wie er für Klasse-2-Metaphysiken insgesamt kennzeichnend ist. In der *revisionären Metaphysik* haben Kategorien demgegenüber einen völlig anderen Stellenwert; dieser verdeutlicht, was revisionäre Metaphysik eigentlich zuvorderst ausmacht: Revisionäre Metaphysik bezieht sich zuvorderst auf die *Revision von Kategoriensystemen*. Diese Revision kann jedoch nicht im rein rationalistischen Zusammenhang der defekten Klasse-2-Metaphysik stehen; vielmehr erfordert sie mit Pkt. 4.1 einen *Ratio-Empirismus*, wie er für Klasse-3- und Klasse-4-Metaphysiken konstituierend ist. Ihre Kategorien sind also *ratio-empirische* Kategorien, nicht reine Kategorien bzw. rein rationalistische Kategorien. Mit anderen Worten grenzen sich Klasse-3- und Klasse-4-Metaphysiken von den grundsätzlich defekten niederen Metaphysikklassen dadurch ab, dass sich eine Zuordnung von Begriffen gerade nicht auf ein *a priori* bezieht. Revisionäre Metaphysik läuft vielmehr zuvorderst darauf hinaus, die Kategorienschemata

⁴¹³⁴ Vgl. auch Westerhoff (2004).

⁴¹³⁵ Vgl. hierzu ferner etwa Harrison (1965) sowie Carstairs (1971).

⁴¹³⁶ Vgl. zum Zusammenhang von *deskriptiver Metaphysik* und *OLP-Tradition* Sarkar (1977).

⁴¹³⁷ M. Thompson (1957) spricht ohne Bezug auf Ryle von *Category Differences*; vgl. ferner Cross (1958).

im Zeichen von Whiteheads (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« einer stetigen Revision zu unterziehen und ggf. zu korrigieren. Dieser Sachverhalt ist für das Verständnis der metaphysisch fundierten *Top-level Ontologien* und ihrer *TLO-Kategorien* elementar. Denn es steht außer Frage, dass theoriebasierte Sprache gerade im kategorialen Sinne allein auf einer Metaphysik aufbauen kann, die wissenschaftliche Metaphysik und damit Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysik ist.⁴¹³⁸ Auch in dieser Hinsicht disqualifiziert sich die deskriptive Metaphysik, wenn die Analytische Philosophie auf ihr als Klasse-2-Metaphysik gründet.

Dass in dem jeweiligen *kategorialen Schema* der Kern jeder Ontologie besteht, steht für jeden Ontologen, nicht nur für Browning (1990: 45) außer Frage. Demgegenüber scheint dies für Linguisten resp. Verfechter von AI-Ontologien offenbar nicht immer offensichtlich zu sein. Denn die Prädikation erfolgt hier oftmals in einer Weise, die Prädikate prinzipiell gleichrangig sein lässt in dem Sinne, dass keine Hierarchie nach einem kategorialen Schema zur Anwendung gelangt.⁴¹³⁹ Mit anderen Worten hat sich die ontologische Verpflichtung mit dem Kategoriensystem auf ihren obersten Ontologietypus, nämlich die *Top-level Ontologie* als verpflichtender Referenzebene für alle nachgeordneten Ontologien zu beziehen. Wenn der Kern jeder Ontologie im kategorialen Schema besteht, steht außer Frage, dass es nicht allein *realistische* Kategorien gibt, sondern genauso *konzeptualistische* wie *linguistische*.⁴¹⁴⁰ Ihre Koexistenz ist ontologisch dann integrativ handhabbar, wenn es sich um eine Mehrweltenontologie handelt, wie sie in Pkt. 3.5 entwickelt wurde. Entsprechend ist auch die Metaphysik nicht allein in einer realistischen Variante, sondern genauso in einer konzeptualistischen wie nominalistischen Variante zu praktizieren.⁴¹⁴¹ Entscheidend ist vielmehr die Frage der Priorität der Welten, wie mit Pkt. 3.5 auf die Priorität der Welt 1 und damit einer realistischen Metaphysik resp. dem Realismus als Standardmodus hinausläuft.⁴¹⁴² Damit gilt analog die Priorität der realistischen Kategorien und der revisionären Metaphysik.⁴¹⁴³ Im Grunde aber weisen alle kategorialen Systeme mindestens insofern auf die *revisionäre Metaphysik*, als es fortwährend *neue Kategorien* für neue Ontologien gibt, wie Trettin (2007) es bzgl. Tropen, Sachverhalten und Prozessen herausstellt.

Das erste systematisch angelegte Kategorienschema besteht in Aristoteles' ([Cat.]) *Kategorien*, wenn auch die kategoriale Erfassung der Welt ungleich älter ist, indem sie Grundlage allen systematischen Erfassens ist. Bereits mit dieser Schrift wird deutlich, dass eine Kategorisierung im Sinne linguistischer Ontologie an sich möglich ist, indem bei Aristoteles die Prädikation auf Basis von zehn grundlegenden Kategorien erfolgt, die in

⁴¹³⁸ Vgl. hierzu auch Sarkar (1980).

⁴¹³⁹ Vgl. hierzu bereits die Prädikation bei W.E. Johnson (1892), die sich auf *Universalien* und *Partikularien* bezieht.

⁴¹⁴⁰ Vgl. auch Gracia (1999).

⁴¹⁴¹ Vgl. *ibid.*

⁴¹⁴² Vgl. auch Johansson (2003: 2); vgl. hierzu ferner Pkt. 6.2.6.

⁴¹⁴³ Während *realistische* Kategorien mit der *revisionären Metaphysik* korrespondieren, gilt dies analog für *linguistische Kategorien* und die *deskriptive Metaphysik*, sofern diese – wie etwa bei DOLCE – kategoriale verstanden wird.

Pkt. 5.2 dargelegt sind. Mit Blick auf nicht-kategorial basierte linguistische Ontologiekonzeptionen wie jene Grubers wäre es das Mindeste, im Sinne deskriptiver Metaphysik durch die Schule der aristotelischen Kategorien zu gehen; dann wird offensichtlich, wie wenig zweckmäßig nicht-kategoriale Ontologien als Resultat des Gruberschen Ansatzes sind. Mit anderen Worten machen Aristoteles' ([Cat.]) *Kategorien* die Schwierigkeiten deutlich, die der Versuch einer linguistischen Erfassung der Welt mit sich bringt. Allerdings ist zu Strawsons (1959) einseitig linguistischer Auslegung der aristotelischen Kategorienschrift festzustellen, dass diese keineswegs vom aristotelischen Gesamtwerk isolierbar ist; vielmehr ist im aristotelischen Sinne das Ganze zu sehen, allen voran Aristoteles' ([Met.]) *Metaphysik* wie Aristoteles' ([Phys.]) *Physik*. Dass es nicht richtig sein kann, zur Begründung von Strawsons (1959) deskriptiver Metaphysik in einem Atemzug auf Aristoteles und Kant zu verweisen, zeigt bereits Simons' (2010c) Differenzierung zwischen *Aristotelian or ontic categories* und *Kantian or auxiliary categories*, auf die wir weiter unten zurückkommen. Zweifellos sind Kategorien auch mit Blick auf die sprachliche Repräsentierbarkeit von Sachverhalten zu thematisieren, doch reicht dies selbstverständlich weder aus noch kann es sich insgesamt um den zentralen Ansatzpunkt handeln. Es ist also offenbar unrichtig, wie Strawson (1959) die aristotelische Kategorienschrift als Basis einer separaten *deskriptiven Metaphysik* behandeln zu wollen. Vielmehr ist auch das aristotelische Werk insofern durch *revisionäre Metaphysik* bestimmt, als es dezidiert substanzmetaphysisch ist und genauso zahlreiche meta-ontologische Positionen bezieht, etwa in der Universalienfrage. Wesentlich ist vielmehr die Feststellung, dass es sich bei diesen Kategorien primär weder um linguistische noch um logische Zusammenhänge handelt, sondern allein um *metaphysische*. Denn es geht um strukturelle Aspekte des jeweiligen Weltgeschehens. Natürlich sind solche kategorialen Unterscheidungen auch in der Sprache und Logik gegeben, aber zum einen lediglich *implizit*, zum anderen sind sie dann in vielen Fällen falsch. Insofern sind diese *explizit* zu machen und umfassend zu reflektieren, was allein auf Basis der Metaphysik möglich wird. Das betonen selbst Ontologen, die wie E.J. Lowe mit neo-aristotelischen Ansätzen selbst in der aristotelischen Tradition stehen.⁴¹⁴⁴

Wenn J.J.C. Smart (1953: 227) feststellt: »[I]f furniture words do not form a category, we may well ask what do«, kommen wir von Aristoteles' ([Cat.]) *Kategorien* mit K. Fischer (1852) vor dem Hintergrund der bei ihm im Mittelpunkt stehenden Kategorialanalyse genauer auf die Logik zu sprechen. Für Fischer steht außer Frage, dass die Logik nur dann »Wissenschaft der Kategorien« ist,⁴¹⁴⁵ wenn sie nicht im Zeichen der gewöhnlichen Logik steht, der bloß »propädeutische Stellung« zukommt, sondern wenn sie »mit der Metaphysik dieselbe Sphäre beschreibt«.⁴¹⁴⁶ Mit anderen Worten und mit Verweis auf Pkt. 5.1: wenn es sich im Zeichen Whiteheads (1929a) um einen *metaphysischen Logizismus* handelt. Tatsächlich stehen alle Probleme der Ontologie im direkten Wechselspiel mit

⁴¹⁴⁴ Vgl. E.J. Lowe (2013c), insbes. p. 18.

⁴¹⁴⁵ Vgl. K. Fischer (1852: 6).

⁴¹⁴⁶ Ibid., S. 3, ohne Hvh. des Orig.

den metaphysischen Kategorien, wie es etwa am Problem der Komplexität, dem Problem der Relationalität bis hin zum Universalienproblem oder dem Identitätsproblem als den beiden bekanntesten ontologischen Problemen offensichtlich wird.⁴¹⁴⁷ Da mit Verweis auf Pkt. 6.1.1 diese Probleme in Substanzwelten andere sind als in Prozesswelten wird deutlich, dass diese Probleme in direkter Weise mit den *Weltmodellen* korrelieren. Also sind die Kategorien offensichtlich mit den Weltmodellen kongruent. Tatsächlich wird oftmals übersehen, dass es die Kategorien sind, die diese Weltmodelle neben der Meta-Ontologie bestimmen. Dann zeigt sich nochmals, dass Ontologie ohne Metaphysik unmöglich ist, weil im kategorialen Systementwurf das Ergebnis metaphysischer Analyse besteht. Das gilt gerade auch mit Blick auf die *Top-level Ontologie* der Informatik.⁴¹⁴⁸ Metaphysik zielt auf die Frage der fundamentalen Strukturen der Welt, insbesondere der Realität. Und natürlich steht etwa mit Grossmanns (1983) *Categorical Structure of the World* außer Frage, dass diese Strukturen *kategorial* sind. Insofern wird deutlich, dass in den Kategorien das Scharnier zwischen Metaphysik und Ontologie besteht. Denn die Klärung der Kategorien ist Sache der Metaphysik.⁴¹⁴⁹ Dabei besteht in der Klärung, welche Kategorien von Entitäten existieren, eine der fundamentalsten Fragen der Metaphysik überhaupt.⁴¹⁵⁰ Zudem wird deutlich, dass es die *Kategorien* sind, die aus der Metaphysik in die *Top-level Ontologie* der Informatik transformiert werden, etwa indem diese für ihre Zwecke weiter angepasst bzw. ergänzt werden. Demnach besteht in ihnen auch das Scharnier zwischen Metaphysik bzw. klassischer Ontologie und der Ontologie der Informatik. Oder anders gewendet: zwischen metaphysischer Ontologie und AI-Ontologie als Wissensontologie. Denn letztere ist auf diese Kategorien bezogen. Somit ist die Ontologie offenbar insgesamt als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu verstehen, wie sie in Pkt. 3.5 bzw. Pkt. 3.4 mit *CYPO FOX* im *IMKO OCF* umrissen wurde.

Wie in Pkt. 1.1 bzw. Pkt. 3.1 ausgeführt, besteht zwischen philosophischen Ontologien und Ontologien der Informatik kein prinzipieller Unterschied. Dieser Umstand hat einen einfachen Grund: sie bauen beide auf Kategoriensystemen auf, die teils gar unmittelbar die gleichen sind. Die Kategoriensysteme der Informatik, die sich in ihren *Top-level Ontologien* manifestieren, sind mindestens aus den philosophischen Systemen abgeleitet oder aber stehen in direktem Zusammenhang zu diesen, indem es um analoge Sachverhalte geht. Während in Aristoteles' ([Cat.]) *Kategorienschrift* die Kategorien zwar *sprachlich* erschlossen werden, darf nicht darüber hinweggesehen werden, dass die Kategorien bei Aristoteles zweifelsohne als *ontische* Kategorien gedacht sind. Sie bilden also keine epistemischen Hilfskategorien wie bei Kant, was deshalb besonders herauszustellen ist, indem Strawson (1959) beide unter seine *deskriptive Metaphysik* fasst. Vielmehr sind die Kategorien bei Aristoteles dann richtig interpretiert, wenn sie als *ontische Kategorien* verstanden

⁴¹⁴⁷ Vgl. hierzu Tegtmeier (2000).

⁴¹⁴⁸ Vgl. auch Thomasson (2004).

⁴¹⁴⁹ Vgl. etwa Butchvarov (1995).

⁴¹⁵⁰ Vgl. hierzu auch Laurence/MacDonald (1998), Thomasson (2004) sowie Westerhoff (2005).

werden. Nicht umsonst baut später, also nach dem Aufkommen des Ontologiebegriffs die Ontologie auch systematisch auf den Kategorien auf. Entsprechend geht es im Kern der einschlägigen Arbeiten zur Ontologie um *Kategoriensysteme*, zu denen zahlreiche Entwürfe vorgelegt worden sind.⁴¹⁵¹

Grossmann (1983: 3) geht gar so weit, die *Ontologie* ganz auf die Kategorienfrage einzuengen: »Ontology asks and tries to answer two related questions. What are the categories of the world? And what are the laws that govern these categories?«. Ähnlich gilt für Gracia (1999: 148): »Ontology is concerned with the study of the most fundamental categories of being and with the relations among them«. Allerdings deckt sich diese Definition mit Gracia (1999: 220) mit jener der *Metaphysik*, wenn es heißt: »[M]etaphysics [...] studies categories: It tries to determine and define [...] the most general categories, and to make explicit their interrelations and the relations of less general categories to the most general ones«. Diese Gleichsetzung von Metaphysik und Ontologie ist durchaus beabsichtigt und von Bunge (1977a) bis Strawson (1992) üblich. Wir teilen sie allerdings nicht bzw. nur bedingt:⁴¹⁵² Die Notwendigkeit einer Differenzierung wird nicht zuletzt dann deutlich, wenn wir mit dem dritten Teil in Erinnerung rufen, dass es um ein *einheitliches* Ontologieverständnis für Informatik *und* Philosophie gehen muss, indem AI in fundamentaler Hinsicht Philosophie ist, während letztere der ersteren genauso bedarf. Das betrifft die formale Ontologie zur Wissensrepräsentation genauso wie das metaphysisch relevante Verständnis Cyber-physischer Systeme. Damit ist gezeigt, dass das Ontologieverständnis beider Disziplinen notwendig interdependenten Natur ist, womit die etwa durch Nickles/Pease et al. (2007) aufgeworfene Frage der Bedeutung der Kohärenz des Ontologiebegriffs zwischen der Informatik und der Philosophie geklärt ist.

Indessen ist diese Einengung für die philosophische Ontologie an sich richtig, da alle regionalen Ontologien prinzipiell Sache der Wissenschaften resp. Technologien sind. Dadurch, dass die Informatik die technologische Grundlegung der Wissensrepräsentation verantwortet, fallen in ihr beide Bereiche zusammen, was insbesondere die systematische Differenzierung zwischen Top-level Ontologien und Domänenontologien ausmacht. Die linguistische Ontologie der Informatik übersieht diese grundlegende Bedeutung der Kategorien, indem sie in weiten Teilen meint, Klassen unabhängig von Kategoriensystemen bilden zu können. Indessen gilt mit Hoffman/Rosenkrantz (1997: 46): »No comprehensive understanding of the world is possible without ontological commitments, commitments as to what kinds or categories of entities exist«. Da mit diesen Kategorien allein *metaphysische*, nicht etwa sprachliche bzw. logische Kategorien gemeint sein können, verlangt Quines *ontologische Verpflichtung* eine Uminterpretation: denn diese kann keine Verpflichtung auf Klassen, sondern allein auf *metaphysische Kategorien* bedeuten.

⁴¹⁵¹ Vgl. etwa J.G. Bennett (1956), W. Sellars (1974), Grossmann (1983, 1992), Johansson (1989), Hoffman/Rosenkrantz (1994, 1997), Chisholm (1996) sowie E.J. Lowe (2002a, 2006b).

⁴¹⁵² Eine ähnliche Verhältnisbestimmung von *Metaphysik* und *Ontologie* findet sich bei Poli (2011a: 160 ff.).

Der Metaphysiker ist nicht zwingend der Ontologe (et v.v.). Was damit gemeint ist, wird klarer, wenn die für alle Disziplinen gleichermaßen gültige Definition von *Ontologien* als *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* ins Spiel kommt. Wie im dritten Teil herausgestellt, sind diese immer kategorial bzw. metaphysisch verankert, womit das Verhältnis von Ontologie und Metaphysik zu konkretisieren ist: Jedes Kategoriensystem ist Ergebnis eines spekulativen Entwurfs, der im Ratio-Empirismus auf einer empiristischen Universalsynthese gründet. Solche spekulativen Entwürfe fallen genauer besehen nicht in das eigentliche Arbeitsgebiet der Ontologie; sie sind vielmehr Sache der Metaphysik. Metaphysik und Ontologie treffen also im Kategoriensystem aufeinander, das die Metaphysik erstellt und die Ontologie zur semantisch expliziten Spezifizierung nutzt. Bei ihr geht es um die kategoriale Grundlegung allen Wissens und seiner formalen Repräsentation. Während die kategoriale Strukturierung in der Sphäre der Metaphysik noch unklar und entsprechend Gegenstand eines spekulativen Entwurfs ist, gelangen die Kategorien in der Ontologie zur Anwendung und haben sich hier in den verschiedensten Anwendungsszenarien zu bewähren bzw. mit den jeweiligen Anforderungen zu korrespondieren. Konkret müssen die Kategorien in einem integrierten Ontologieverständnis gleichzeitig den Erfordernissen wissenschaftlicher, technologischer wie praktischer Ontologie Rechnung tragen. Insofern diese Korrespondenz nicht immer gegeben bzw. nicht notwendig von Dauer ist, handelt es sich bei dem Verhältnis von Metaphysik und Ontologie um ein zirkuläres.

Alle *Top-level Ontologie* ist kategorial. Oder anders gewendet: alle kategoriale Ontologie der Informatik wurzelt in der *Top-level Ontologie*. Da sich ohne Kategorien nichts sachgerecht repräsentieren lässt, was bereits bei der Differenzierung von Ereignissen und Objekten beginnt, steht außer Frage, dass die Informatik in keiner Weise an Kategorien und damit nicht an den Kategoriensystemen der *Top-level Ontologie* vorbeikommt. Diese sind wiederum notwendig metaphysischen Ursprungs. Wie dargelegt, hat die gesamte Ontologiediskussion der Informatik im Zeichen der *Heavyweight-Ontologie* von der *Top-level Ontologie* auszugehen. Die Frage nach der *Top-level Ontologie* ist wiederum gleichbedeutend mit der Frage nach den fundamentalen Kategorien.⁴¹⁵³ Insofern wird deutlich, dass sich die Ontologiebegriffe und -konzepte von Informatik und Philosophie gar nicht widersprechen können, sondern dass sie genau die gleichen sind. Dass die *Top-level Ontologie* als oberste Ontologieebene der Informatik den Schnittpunkt zur Ontologie der Philosophie markiert, wird daran offensichtlich, dass sich beide mit den gleichen Aspekten beschäftigen. Denn für die Ontologie der Philosophie gehört dazu immer schon neben der Existenzfrage von Entitäten vor allem die kategoriale Struktur der Realität und damit die Frage nach den fundamentalen Kategorien. Genau in diesem Sinne ist die Ontologie der Philosophie mit E.J. Lowe (2005) heute immer noch zu verstehen.

Zwar spielten solche Kategoriensysteme, die letztlich auf ein *metaphysisches* Verständnis der Ontologie hinauslaufen, in der analytischen Ontologie bzw. ihren sprachphilosophi-

⁴¹⁵³ Vgl. Sowa (1995) sowie Jansen (2008a).

schen Vorläufern über kurze Zeit keine Rolle. Doch steht mittlerweile auch für die Analytische Philosophie außer Frage, dass alle existentiellen Aspekte, die auch durch Quine (1948) als Kern des Ontologiegedankens gesehen werden, nicht ohne solche Kategoriensysteme zu erörtern sind. In diesem Zuge avancierte die analytische Ontologie in weiten Teilen zur analytischen Metaphysik, und ihre Verfechter, etwa Chisholm (1989, 1996), stellen gerade die Kategoriensysteme in den Mittelpunkt ihrer Überlegungen. Die AI-Ontologie, die ihren Ursprung mit McCarthy/Hayes (1969) in der analytischen Metaphysik besitzt, hat diesen wesentlichen Schritt bis heute allenfalls zum Teil vollzogen. Denn viele Ontologiekonzeptionen wie etwa jene Grubers (1993, 1995) verzichten auf solche Kategoriensysteme. Darin besteht ihr ganz grundsätzlicher Defekt. Denn die Existenz verschiedenster Entitäten ist offensichtlich nur dann verstehbar, wenn diese in den Kontext entsprechender Kategoriensysteme gesetzt werden, wie es seit Aristoteles ([Cat.]) vollzogen wird. Vor allem lässt sich das Wissen über solche Entitäten genauso wenig ohne ein solches grundlegendes Kategoriensystem repräsentieren wie daraus auch nicht automatische Schlussfolgerungen zu ziehen sind, wenn es sich um komplexe bzw. real-strukturierte Wissenskontexte handelt. Genauso wenig ist die Behandlung verschiedenster Entitäten im Rahmen technologischer Prozesse im Sinne umfänglicher Prozessintelligenz möglich, ohne dass sie sich nach Maßgabe eines Kategoriensystems rigoros definieren und einordnen lassen. Einfache Klassifikationen sind hier völlig fehl am Platze, wenngleich es natürlich Anwendungsfälle geben kann, in denen sie als ausreichend erachtet werden können. Insgesamt aber steht außer Frage, dass die *Ontologie als Kategorialanalyse* nicht nur für die Philosophie, sondern insbesondere auch für die Informatik unverzichtbar ist,⁴¹⁵⁴ weil Ontologie zuvorderst als explikative *Heavyweight-Ontologie* zu verstehen ist.

Was die Kategorien selbst betrifft, differenziert E. Hartmann (1896) in seiner *Kategorienlehre* zwischen Kategorien der (i) *subjektiv idealen*, der (ii) *objektiv realen* sowie der (iii) *metaphysischen* Sphäre und versucht auf diese Weise zu Kategorien für die (i) *Erkenntnistheorie*, (ii) die *Naturphilosophie* sowie (iii) für die *Metaphysik* zu gelangen. Dazu differenziert E. Hartmann (1896) zwischen den *Kategorien der Sinnlichkeit* (Kategorien des Empfindens sowie Kategorien des Anschauens) sowie den *Kategorien des Denkens* (Kategorien des reflektierenden Denkens sowie Kategorien des spekulativen Denkens). Zu den Kategorien des reflektierenden Denkens gehören für E. Hartmann (1896) auch die *Kategorien des modalen Denkens*.⁴¹⁵⁵ Die *Kategorien des Denkens* unterteilen sich also bereits bei E. Hartmann (1896) in diverse Varianten, die sich analog in Gestalt entsprechender Submodi der W2-Ontologie in Pkt. 3.5 wiederfinden. Demgegenüber gilt bzgl. der W1-Ontologie: Da in der *wissenschaftlichen* Metaphysik die metaphysischen Kategorien mit den bei E. Hartmann (1896) der Naturphilosophie vorbehaltenen objektiv realen Kategorien zusammenfallen, entfällt diese Trennung. Es handelt sich somit in beiden Fällen bei

⁴¹⁵⁴ Vgl. Poli (2010a, 2011b).

⁴¹⁵⁵ Vgl. E. Hartmann (1896: 336).

E. Hartmann (1896) um W1-Ontologien. Auch wenn sich bereits bei E. Hartmann (1896) zu W1- und W2-Kategorien analoge Pendants finden, muss jede der Wissensrepräsentation verpflichtete Ontologie sich auch auf W3- bzw. W4-Kategorien beziehen können, die allerdings bei ihm fehlen.

In Pkt. 3.1 hatten wir mit E.J. Lowe (2001: 1) festgestellt, dass nach konventioneller Auffassung gelten müsste: »Ontological categories are categories of being, not categories of thought. Ontology is the science of being, not the science of our thought about being«. ⁴¹⁵⁶ Heute wird es jedoch erforderlich, zwischen *ontischen* und *epistemischen* Kategorien zu differenzieren. Wenn R.W. Sellars (1920) zwischen *metaphysischen* und *epistemologischen* Kategorien differenziert, muss dies aus dem Grunde verfehlt erscheinen, als die metaphysischen Kategorien das Ganze erschließen, also die Ontologie aller Welten; genauso wie ein CYPO-konformer TLO-Ansatz mit Pkt. 3.5 die Referenzebene für die Ontologien sämtlicher vier Welten zu stellen hat. Darüber hinaus hat N. Hartmann (1940: 5 ff.) bereits verdeutlicht, dass das Kategorienproblem in der Tat auch eine *erkenntnistheoretische* Natur aufweist. Damit kommen wir zu den Kantischen (1781) Kategorien, die Kant wiederum im Rekurs auf Aristoteles entwickelt; allerdings stellt Kant fest, dass diese bei ihm in der Ausführung "sehr entfernt" von diesem konzipiert sind. ⁴¹⁵⁷ Für N. Hartmann (1949a: 43) sind jedoch – im Gegensatz zu Kant – auch die *Kategorien des Verstandes* einem gewissen Wandel unterlegen. Die Grundform dieses Wandels bildet das Durchdringen neuer Kategorien oder kategorialer Momente ins Bewusstsein. Aber auch die einmal durchdrungenen Kategorien wandeln sich weiter. Das verdeutlicht N. Hartmann (1949a: 44 f.) an der Kategorie des Werdens, wobei dieser Wandel dazu geführt hat, dass der Werdebegriff nicht mehr den Seinsbegriff konterkariert. Das war bei den Vorsokratikern der Fall; hier galt nur das Beharrende als seiend. Doch in der Fortentwicklung philosophischen Denkens war zu begreifen, dass die Dinge im Werden im Zuge des ewigen Entstehens und Vergehens nicht in ein Nichts übergehen, sondern in ein anderes Seiendes; sie entstehen somit auch nicht aus dem Nichts, sondern aus Anderem. N. Hartmann (1949a: 45) führt weiter aus, dass die Kategorie des Werdens offensichtlich eine andere geworden ist; sie ist nunmehr als einheitlicher, kontinuierlicher Weltprozess zu verstehen. Tatsächlich gilt mit Whitehead (1929a: 209): »On the whole, the history of philosophy supports Bergson's charge that the human intellect 'spatializes the universe'; that is to say, that it tends to ignore the fluency, and to analyse the world in terms of static categories«. Das gilt auch für das Kategorienschema Kants (1781), das allenfalls bedingt auf solche Prozessgesichtspunkte ausgelegt ist, während für Kant außer Frage steht, ⁴¹⁵⁸ dass alle Objekte der Erfahrung sich unter die *reinen Kategorien* subsumieren lassen müssen. ^{4159, 4160}

⁴¹⁵⁶ Vgl. ähnlich E.J. Lowe (2003: 6).

⁴¹⁵⁷ Vgl. Kant (1781: 156).

⁴¹⁵⁸ Es sei angemerkt, dass die Kategorien in Kants (1781) erster Auflage der *Kritik der reinen Vernunft* eine andere, umfassendere Funktion besitzen als in Kants (1787) zweiter Auflage; vgl. auch Poli (2011a).

⁴¹⁵⁹ Vgl. hierzu Paton (1936).

6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien

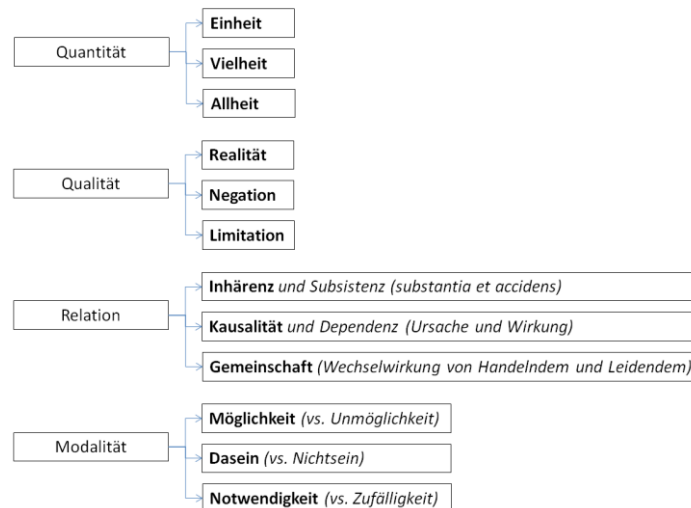


Abb. 37:⁴¹⁶¹ Epistemologische Kategorien bei Kant

Gerade in agentenbasierten Kontexten wird deutlich, dass die Kantischen (1781) Denk-Kategorien ihre Berechtigung besitzen. Wird jedoch kritisch untersucht ob sie genügen, um die reale Welt – bzw. im Sinne Leibnizens: alle Welten – tatsächlich zu erfassen, wird deutlich, dass Kants Kategorien weitaus zu abstrakt ausfallen. Sie bieten entsprechend keine direkte Anschlussmöglichkeit, um Erkenntnis in Form von Wissen zu repräsentieren. Konkret spielen gerade die Kategorien, die im Bereich der Wissensrepräsentation zentral sind, etwa die Unterteilung von Ereignissen und Objekten, bei Kant keine Rolle; ihm geht es auch nicht um profane Ontologie. Zudem gilt mit Blick auf Whiteheads (1929a) zweiter Kopernikanischer Wende, dass die epistemischen Kategorien nicht isoliert für sich stehen können; vielmehr haben sie mit den ontischen Kategorien zu korrespondieren. Hier spricht entsprechend alles für die Sichtweise Poppers, dessen drei Welten in Interaktion stehen. Wenn sie dies tun, ist entsprechend nach Korrespondenz zu suchen. All dies geht natürlich an Kants (1781) Zwecken vorbei; andererseits wird jedoch daran offensichtlich, dass Kants Kategorien nicht in einer Weise konzipiert sind, die ein tatsächlich universaler Ansatz erfordert. Was es mit dieser Korrespondenz auf sich hat, ist kurz genauer darzulegen: In einer CPS- bzw. MAS-adäquaten integrierten Ontologiekonzeption lassen sich N. Hartmanns (1940) epistemologische Kategorien gewiss nicht in dem Sinne verstehen, dass diese nichts mit der realen Welt zu tun hätten. Vielmehr sind es die Kategorien der Agentenwelt, nämlich die W2-Kategorien, die in der W2-W1-Interaktion des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* stehen.⁴¹⁶² Simons (2010c) differenziert analog unserer W1- und W2-Kategorien zwischen *Aristotelian or ontic categories* (W1) und *Kantian or auxiliary categories* (W2), wobei er für erste unterstellt, dass sie streng realitätsbezogen sind, während letztere mit nichts in der Realität korrespondieren. Indessen muss es kritisch erscheinen, das Kantische Werk dann auf letztere Kategorien einzuschränken. Denn dies mag für die speziellen Fra-

⁴¹⁶⁰ Mit *reinen Kategorien* sind reine Begriffe *a priori* gemeint, d.h. solche, die *vor* jeder Erfahrung stehen.

⁴¹⁶¹ Quelle: eigene Darstellung nach Kant (1781: 156), modifiziert.

⁴¹⁶² Das gilt für den W2A-Standardfall, nicht für alle W2-Submodi, insbesondere nicht für W2F-Kategorien.

gen, die Kant (1781) untersucht, zutreffend sein, doch insgesamt ist dies mit Verweis auf Pkt. 4.1 kaum die richtige Interpretation, wenn durch ihn die Existenz der Außenwelt angenommen wird und die *Methode* der Metaphysik aus seiner Sicht zu ändern ist. Richtig ist, dass sich die *analytische Metaphysik* etwa im Sinne von Strawsons (1959) *descriptive metaphysics* in zentraler Weise auf Kant beruft, und hier liegt das Problem. Auf die Kritik der *analytischen Metaphysik* will Simons (2010c) auch hinaus, und dann lassen sich ihre Kategorien als Kantische Hilfskategorien tatsächlich vom aktuellen Modus trennen. Insgesamt gilt jedoch Einsteins (1934) Interpretation der Kantischen Kritik, wonach die Metaphysik um empiristische Momente zu bereichern ist. Damit kommen wir auf Pkt. 3.5 zurück, indem wir die Notwendigkeit der Differenzierung verschiedener W2-Modi dargelegt haben. Analog der Differenzierung der Modi W2A, W2F sowie W2P sind epistemologische Kategorien entsprechend in aktualistische W2A-Kategorien, fiktionalistische W2F-Kategorien sowie in possibilistische W2P-Kategorien zu differenzieren.⁴¹⁶³ Das gilt für alle Automaten- bzw. Agentenklassen universal.

Auch bei menschlichen Agenten sind diese Modi in trennscharfer Weise gegeben, indem sie es vermögen, ausschließlich in jeweils einem dieser Modi zu denken, wie es oben mit E. Hartmann (1896) unterstrichen wurde. Bei AI-Agenten ist es ein leichtes, sie ontologisch auf einen dieser W2-Modi zu fixieren. Inwiefern es sinnvoll ist, sich wie die *Mögliche-Welten-Metaphysik* auf den W2P-Modus und ebensolche Kategorien zu beschränken, wurde im Zuge der Kritik der analytischen Ontologie resp. Metaphysik in Pkt. 5.5 erörtert. Mit den *Aristotelian or ontic categories* steht zudem außer Frage, dass es nur speziell diese *ontischen* Kategorien sind, nicht – wie etwa bei J.G. Bennett (1956: 31) – *ontologische* Kategorien im Generellen, die tatsächlich als *Elemente der Erfahrung* zu berücksichtigen sind. Insofern benötigt eine integrierte Ontologiekonzeption im Zeichen von *Scientific Ontologies* auch spezielle *erfahrungswissenschaftlich zugängliche Modi*, die in der CYPO-Ontologiekonzeption mit dem W1- und W4-Modus gegeben sind. Bei den CYPO-Kategorien lässt sich also der empirische Status des Kategoriensystems nicht universell bestimmen, sondern allein für die einzelnen Weltmodi; wobei dieser Status in den jeweiligen Submodi differiert. Während der *ontische* W1A-Modus auf empirisch zugängliche Kategorien, etwa auf physikalische Ereignisse und Objekte fixiert ist, zeigt sich der W2A-Modus im Sinne epistemologischer Kategorien *streng empirisch* gerichtet. Demgegenüber gilt das für den W2F-Modus gerade nicht; er besitzt im Sinne von Wysuseks (2006b) "*fairy ontology*" überhaupt keinen zwingenden empirischen Bezug. Wenn schließlich mit Johansson (1989: 328) oder P.M. Simons (2010c) speziell auch im Hinblick auf den Bau der Kategoriensysteme zweifellos gilt, dass eine entsprechende Kopplung von Empirismus und Rationalismus, also letztlich ein *Ratio-Empirismus* unabdingbar ist, steht mit Pkt. 4.1 außer

⁴¹⁶³ W2A- bzw. W2F-Kategorien korrespondieren mit Russells (1915b) *Sensation* (W2A) resp. *Imagination* (W2F); W2P-Kategorien demgegenüber etwa mit Husserls (2006) Verständnis möglicher Welten.

Frage, dass ein verteidigbares Kategoriensystem allein als Produkt einer Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysik erzielbar ist.

Mit Whiteheads (1929a) zweiter Kopernikanischer Wende und seinem *Subjekt-Superjekt* wird deutlich, dass Kant (1781) zwar mit seiner Auffassung recht hat, dass epistemologische Kategorien bei der Erfassung der Welt wesentlich sind, jedoch sind im Sinne von Poppers Mehrweltenontologie die Kategoriensysteme aller Welten in den Kontext zu setzen. Das wird auch Kants (1800) Auffassung des Universums als *Regeluniversum* gerecht, das nur dann in dieser Weise aufgefasst werden kann, wenn es universale Kategorien gibt. Also stehen die Kategorien der Welten, insbesondere auch der ontischen und epistemischen Welten, offenbar im Zusammenhang. Und dieser Zusammenhang lässt sich in einem Regeluniversum nur dann erschließen, wenn im metaphysischen Sinne am Universum selbst angesetzt wird. Insofern liegt Whitehead (1929a) richtig, wenn es zunächst um die Kategorien des Ontischen gehen muss, bzw. allgemeiner für alle Welten um ontologische Kategorien. Whitehead (1929a: 8) liegt auch dann richtig, wenn er konstatiert: »Metaphysical categories are not dogmatic statements of the obvious; they are tentative formulations of the ultimate generalities«. Insofern besteht die zentrale Aufgabe der Ontologie im Vorschlag und Verteidigung von Kategoriensystemen,⁴¹⁶⁴ die zweifellos empirisch kritisierbar, ggf. gar fallibel sind. Dass es zu der Frage, worin diese "ultimate generalities" bestehen, höchst divergierende Ansichten gibt, zeigt der Umstand, dass sie bereits auf der ersten Gliederungsebene in einem Maße auseinandergehen, was jede Aussicht auf Kommensurabilität der diversen Ontologieansätze direkt zunichtemacht:

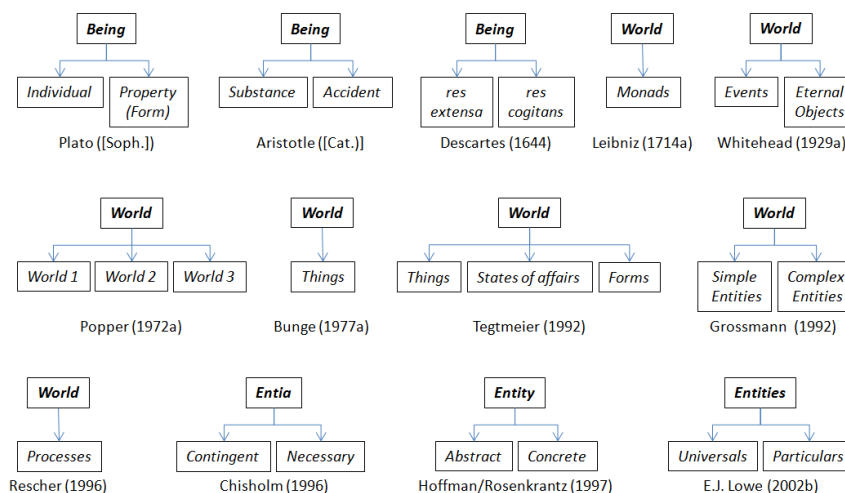


Abb. 38:⁴¹⁶⁵ Exemplarische *Top-level* philosophischer Kategoriensysteme

⁴¹⁶⁴ Vgl. bereits W. Heald in seiner Einführung zu Bergmann (1992: 3).

⁴¹⁶⁵ Quelle: Behnen (2015); Darstellung gemäß der jeweiligen Quellenangaben, partiell modifiziert und übersetzt; es sei angemerkt, dass die Unterscheidung von "Welt", "Seiendem" oder "Entitäten" (entitas, von „ens“ – „seiend“) als Ursprung der Kategoriensysteme vor dem Hintergrund des ganzen Spektrums disparater Ansätze unbedeutend ist. In Whiteheads (1929a: 21) Kategorienschema wird entsprechend von »synonymous terms 'thing,' 'being,' 'entity'« ausgegangen. Mit Blick auf *einzelne* Ansätze ist sie jedoch bedeutend, indem sich etwa das "Seiende" bei Aristoteles ([Cat.]) auf die *aktuelle Welt* beschränkt, genauso ist es bei den "Dingen" bei Bunge, die sich zudem auf konkrete bzw. *materielle Dinge* beschränken. Bei anderen Kategoriensystemen ist dies ähnlich der Fall. Etwa bei Whitehead ist es demgegenüber

In einer ähnlich komparativen Darstellung sind die *Top-level Kategorien* der TLO-Ansätze zu betrachten, wenn es um ihre Evaluierung und Selektion geht. Dabei werden zwei Aspekte deutlich: (i) dass es sich in beiden Fällen letztlich immer um metaphysische Kategorien handelt und dass teilweise eine Verwandtschaft bzw. ein direkter Rekurs der TLO-Kategorien auf die philosophischen Kategoriensysteme gegeben ist. (ii) Dass es eine verfehlte Annahme ist, wonach sich die disparaten Kategoriensysteme ineinander übersetzen ließen. Insofern ist es ein Irrtum, wenn Busse/Humm et al. (2015) glauben, das zentrale Inkommensurabilitätsproblem tatsächlich über "*bridge ontologies*" lösen zu können. Natürlich lässt es sich so nicht lösen. Die einzige Möglichkeit die besteht, um es zu lösen, liegt in der rigorosen Evaluierung und Selektion konkurrierender TLO-Theorieanwörter, deren Charakteristikum gerade in der *Heterogenität der fundamentalen Weltauffassung* besteht. Denn ansonsten wären sie als alternative Ansätze gar nicht existent:

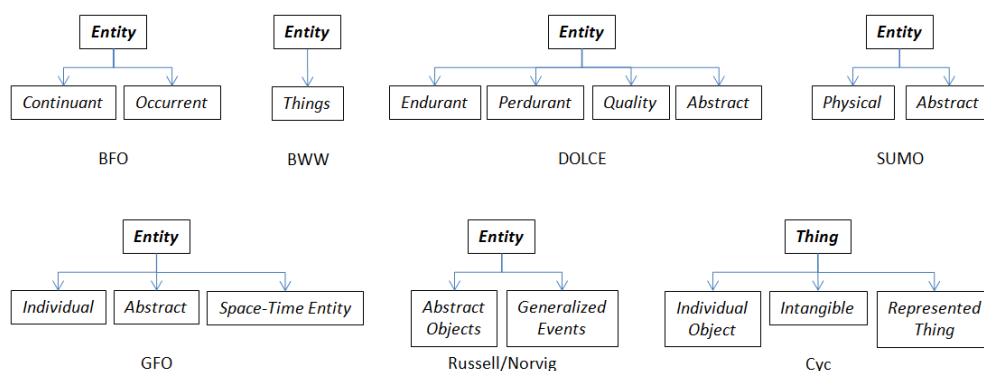


Abb. 39: ⁴¹⁶⁶ Exemplarische *Top-level* von TLO-Kategoriensystemen der Informatik

Kategorien spielen für die Philosophie seit jeher eine entscheidende Rolle; und das ist zunehmend auch für die Informatik, für ihre Ontologie und speziell für ihre *Top-level Ontologie* der Fall. E.J. Lowe (2002b) geht dabei so weit, dass er die Kategoriensysteme gerade als das für die *Ontologie* Charakteristische sieht, und diese entsprechend in den Mittelpunkt der gesamten Metaphysik rückt: »[M]etaphysics is the science of being qua being, and for that reason conceptually prior to any special science with a more limited subject-matter. This view places *ontology* – the study of what categories of entities there are and how they are related to one another – at the heart of metaphysics«. ⁴¹⁶⁷ Dabei meint Lowe mit Kategorien explizit *Kategorien des Seins*, nicht etwa Kantische Denk-Kategorien. ⁴¹⁶⁸ Damit gilt: »Ontology is concerned above all with the *categorial* structure of reality – the division of reality into fundamental *types* of entity and their ontological relations with one

ganz anders, indem es neben der *aktualen Welt* auch um *mögliche Welten* geht. Mit Blick auf eine integrierte Ontologiekonzeption bzw. universale Ontologiedefinition sollte der kategoriale Ursprung weder im "Seiendem" noch in "Entitäten" bestehen als vielmehr in der "*Welt*" bzw. in "*Welten*", die nicht mit der Realität gleichzusetzen sind, diese jedoch mit umschließen. Denn dann ist offensichtlich, dass zunächst einmal die "*Welten*" zu spezifizieren sind, über die wir sprechen.

⁴¹⁶⁶ Quelle: Behnen (2015).

⁴¹⁶⁷ Vgl. E.J. Lowe (2002b: 13 f.).

⁴¹⁶⁸ Vgl. E.J. Lowe (2003: 6).

another«. ⁴¹⁶⁹ Auch in diesem Fall ist für die Informatik die Orientierung an der Philosophie wesentlich, weil mit ihr zum einen deutlich wird, dass die Informatik eine sachgerechte Ontologie nicht ohne ihre oberste Ontologieebene, die *Top-level Ontologie*, betreiben kann, da sie es ist, mit der die obersten Kategorien grundgelegt werden. Zum anderen wird erst im Kontext der jahrhundertealten philosophischen ontologischen Diskurse richtig nachvollziehbar, dass es ganz unterschiedliche Typen von Kategorien gibt – wie auch vollkommen disparate Kategoriensysteme. So existieren sowohl *Kategoriensysteme zur Substanzontologie*, allen voran jenes des Aristoteles ([Cat.]) aber auch etwa jenes von F. Brentano (1933), als auch *Kategoriensysteme zur Prozessontologie*, allen voran jenes Whiteheads (1929a: 18 ff.). Dabei stellt auch Rescher (1992: 77) fest: »process is a principal category of ontological description«. Wenn es demnach völlig verschiedene Kategoriensysteme gibt, sind die einzelnen Ansätze jeweils einer ratio-empirischen Kritik zu unterziehen:

»Ontology, broadly conceived, involves proposal and defense of a system of categories, categories that correspond to the most general sorts of things there are, the most general kinds of existents. In addition to this or, indeed, as an essential part of it, the ontologist must provide a schematic description of the most general ways in which the existents that are members of these categories are related to each other, the ways they ‘go together’ to compose the world.« ⁴¹⁷⁰

Jedes sachgerecht konzipierte Kategoriensystem muss zwei generellen Anforderungen genügen: ⁴¹⁷¹ (i) es muss erschöpfend sein in dem Sinne, als *alle Entitäten* in seine Kategorien einordbar sein müssen. Wie umfassend diese Entitäten berücksichtigt werden, hängt davon ab, ob sich das Kategoriensystem –etwa bei Bunge – allein auf die *aktuale Welt* bezieht, oder ob es –etwa bei Whitehead oder Popper – auch *mögliche Welten* mit einbezieht. Indem eine Metaphysik der Natur und eine Metaphysik des Artifizialen aus einem Guss zu entwerfen sind, gilt das Kriterium der CPSS-Adäquanz allein für solche Metaphysiken, die im Sinne Leibnizens neben der aktuellen Welt auch mögliche Welten mit einbeziehen. Dies ist mit Blick auf H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* auch gerade für die wissenschaftliche Metaphysik einzufordern, indem dies etwa die AL-Forschung benötigt. (ii) Daneben müssen sich all jene Kategorien des Kategoriensystems gegenseitig ausschließen, die zueinander in einer dichotomen Beziehung stehen. Anders gewendet kann von ontologischen Dichotomien nur dann gesprochen werden, wenn auch die Zuordnung von Entitäten jeweils exklusiv erfolgen kann.

Jede Kritik von Kategoriensystemen sollte zunächst darlegen, vor welchem Hintergrund, von welchem Standpunkt und mit welchem Ziel sie erfolgt. Denn das ist für jeden Evaluierungsprozess maßgeblich. Metaphysische Kategorien stehen immer in Bezug zu metaphysischen Systemen; daher ist vor allem auch das Metaphysiksystem selbst zu klären. Im Kontext einer Klasse-2-Metaphysik ergeben sich etwa vollkommen andere Gesichtspunkte als im Kontext von Klasse-4-Metaphysiken. Denn bei letzteren geht es nicht allein um ein philosophisches Weltverständnis, sondern auch darum, dass die Kategorien

⁴¹⁶⁹ Vgl. E.J. Lowe (2013a: 51), Hvh. im Orig.

⁴¹⁷⁰ W. Heald einfürend zu Bergmann (1992: 3).

⁴¹⁷¹ Vgl. Butchvarov (1995: 75).

wissenschaftlichen wie technologischen Anforderungen gerecht werden müssen. Wie in Pkt. 4.1 dargelegt, ist für ein zeitgemäßes CPSS-adäquates Ontologieverständnis allein die Klasse-4-Metaphysik voraussetzbar. Damit zielt jede Kritik von Kategoriensystemen zentral auf die Frage ab, inwiefern die Kategorien gleichzeitig allen gängigen Ontologieanforderungen gerecht zu werden vermögen. Denn auf Basis einer Klasse-4-Metaphysik bezieht sich jede Evaluierung zwangsläufig auf ein *integriertes Ontologieverständnis*, das sämtliche Gesichtspunkte eint und damit für alle Disziplinen, insbesondere für Philosophie und Informatik, für die CM- wie für die agentenbasierte AI/KR-Sphäre, für reale Welten wie für komplexe Cyberwelten im CPST- bzw. IoX-Hyperspace gleichermaßen nutzbar ist.

Während auf die Systeme von Aristoteles (Pkt. 5.2), Bunge (Pkt. 5.3), Chisholm (Pkt. 5.4) oder auf Prozessontologien wie jene Reschers (Pkt. 5.7) gesondert eingegangen wurde, da einzelne TLO-Theorieanwärter direkt auf solche philosophischen Ontologien rekurrieren, geht es an dieser Stelle um die Diskussion der heterogenen Kategoriensysteme mitsamt ihrer metaphysischen Kontexte an sich. Wenn die Kategorialanalyse für die *Top-level Ontologie* elementar ist, kommt man um eine kurze Herausarbeitung ihrer zentralen Gedanken und Probleme nicht umhin. Dazu beginnen wir mit einer Kurzkritik der ontologischen Untersuchungen Johanssons (1989) sowie der Kategorien formaler Ontologie bei P.M. Simons (1995b). Mit ihnen wird deutlich, dass es mehr bedarf als einer einfachen Benennung von Kategorien, indem für ontologische wie für epistemologische Zwecke gerade die Frage des *systematischen Bezugs* der Kategorien entscheidend ist:

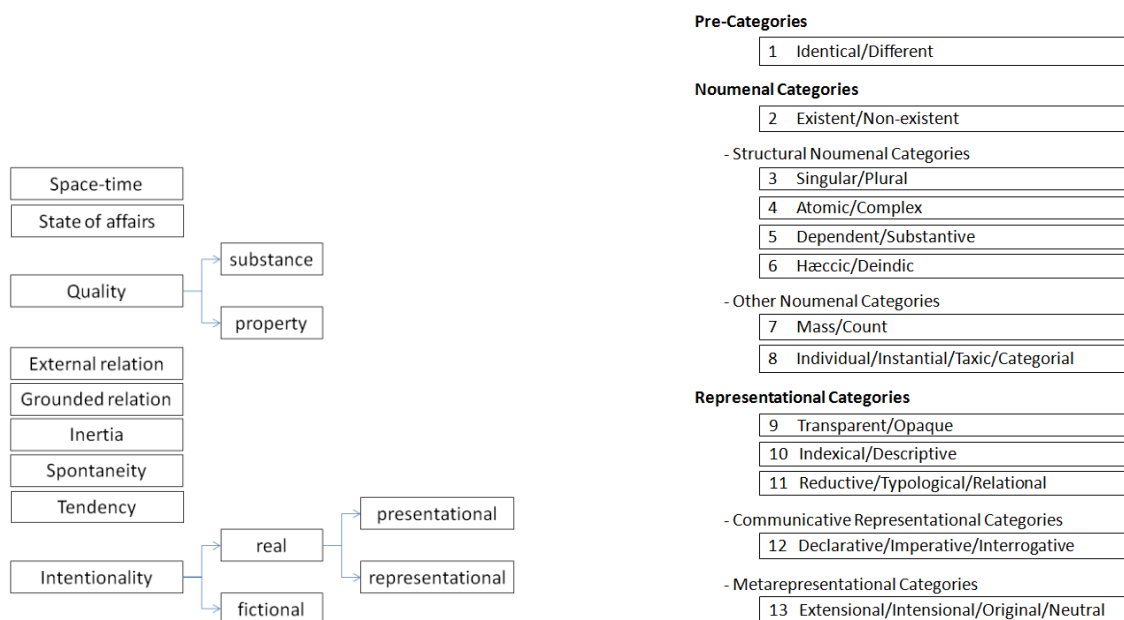


Abb. 40:⁴¹⁷² Kategorien bei Johansson (1989) und P.M. Simons (1995b)

Wie bei Kants (1781) epistemischen Kategorien haben wir es bei Johansson (1989) nicht mit einem echten Kategoriensystem zu tun als vielmehr mit einer "Kategorientafel", die hier indessen auf ontologische Kategorien zielt. In solchen Kategorientafeln ist gewiss-

⁴¹⁷² Quelle: eigene Darstellung; links nach Johansson (1989: 20) sowie rechts nach P.M. Simons (1995b: 97).

sermaßen die Propädeutik für die praktisch funktionsfähigen bzw. unmittelbar anwendbaren eigentlichen Kategoriensysteme zu sehen. In diesem Sinne sind auch die Beziehungen, die Johansson (1989) zwischen den Kategorien sieht, zu interpretieren. Insofern ist sein Ansatz wie auch jener von P.M. Simons (1995b) für die *systematischen* Zwecke der Informatik nicht zu Ende gedacht; auf diese sind sie auch gar nicht angelegt. Sie zeigen auch die Schwierigkeit, überhaupt zu einem tatsächlich *universalen* Kategoriensystem zu gelangen. Insofern diese Ansätze in der Diskussion der TLO-Kategorien eine insgesamt wesentliche Rolle spielen, ist dieses Problem als erstes herauszustellen. Das ist auch deshalb erforderlich, weil die meisten der TLO-Theorieansätze bei genauerer Analyse gerade nicht dem Kriterium der *Universalontologie* gerecht werden. Diese ist jedoch mit dem Moment der Transdisziplinarität gerade gefordert. Insofern besteht keine Differenz zwischen kategorialer Ontologie und Ontologie als Technologie; vielmehr handelt es sich um ein umfassendes Wechselspiel.⁴¹⁷³ Dabei gilt mit Zocher (1939), dass aufgrund des komplexen Strukturgefüges, das die Stufenordnung der realen Welt resp. der Hartmannsche Schichtgedanke mit sich bringt, der Kategorialanalyse in der *Neuen Ontologie* ein sehr viel größerer Stellenwert zukommen muss als dies noch in der "alten" Ontologie der Fall war. In diesem Sinne sind Kategoriensysteme auf Basis von Klasse-1- oder Klasse-2-Metaphysiken unterkomplex; sie werden dem metaphysischen Emergenzgedanken nicht gerecht und erweisen sich auch insgesamt als antiquiert. Kommen wir damit zur Diskussion echter Kategoriensysteme, die hier mit einer kurzen Reflexion der ersten Gliederungsebene des Ansatzes von Hoffman/Rosenkrantz (1991) beginnen soll:

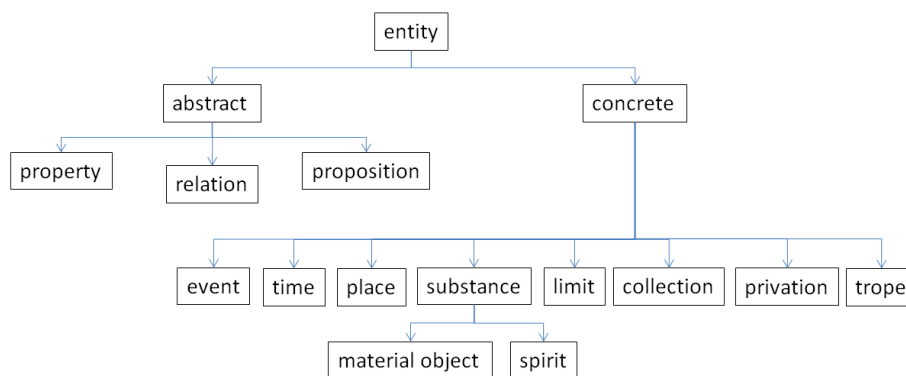


Abb. 41:⁴¹⁷⁴ Substanzorientierte Kategorien bei Hoffman/Rosenkrantz

Fokussiert man die Kritik auf die erste Gliederungsebene, lässt sich mit Hoffman/Rosenkrantz (1991) insofern angemessen in die Diskussion moderner Kategoriensysteme starten, als ihr System auf der ersten Ebene als Klassiker zu erachten ist. Denn die Differenzierung aller Entitäten in *abstrakte und konkrete Entitäten* findet sich bereits *vom Grundsatz her* bei Platon. Sie findet sich mit Pkt. 4.2 genauso bei Whitehead, dort allerdings stärker spezifiziert; vor allem hier hat sie unmittelbar mit der Symbiose der Meta-

⁴¹⁷³ Vgl. hierzu Poli/Obrst (2010).

⁴¹⁷⁴ Quelle: eigene Darstellung nach Hoffman/Rosenkrantz (1991: 839); vgl. inhaltlich identisch Hoffman/Rosenkrantz (1994: 18; 1997: 48).

physiken Platons und Aristoteles' zu tun. Diese Differenzierung findet sich in einer speziellen Form auch weiter unten bei E.J. Lowe. Dabei ist in allen Fällen darauf hinzuweisen, dass die disparaten Bezeichnungen einzelner Kategorien nicht etwa als vernachlässigbare Nuancen zu sehen sind, sondern diese vielmehr regelmäßig auf größte meta-ontologisch bedingte Unterschiede hinweisen, die zwischen heterogenen Kategoriensystemen bestehen. So ist etwa das *Abstrakte* bei Hoffman/Rosenkrantz nicht mit den *Universalien* bei E.J. Lowe zu verwechseln bzw. gleichzusetzen. Das geschieht bei E.J. Lowe (1998) auch weiter unten nicht, indem sich die erste Ebene von Hoffman/Rosenkrantz hier auf der zweiten Ebene ontologischer Dichotomien wiederfindet. Demgegenüber wird die Welt in fundamentaler Hinsicht bei Grossmann (1992) grundsätzlich anders strukturiert, worin im Vergleich zu anderen Ansätzen insgesamt eine größere Besonderheit besteht:

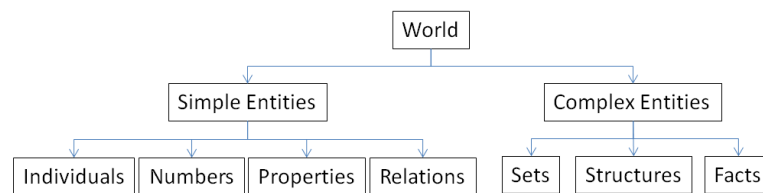


Abb. 42:⁴¹⁷⁵ Einfache vs. komplexe Entitäten als Kategorien bei Grossmann

Diese Eigentümlichkeit bzw. fehlende Rezeption hat ihre Gründe; denn es muss verfehlt erscheinen, die ontologischen Dichotomien mit einer Differenzierung von *einfachen und komplexen Entitäten* beginnen lassen zu wollen. Das gilt auch dann, wenn komplexe Entitäten für Klasse-4-Metaphysiken wesentlich sind. Denn Grossmann (1992) übersieht, dass seine ontologische Dichotomie insofern unhaltbar ist, als die Zuordnung von Entitäten jeweils nicht exklusiv erfolgen kann. Mit der Komplexitätsforschung steht außer Frage, dass *komplexe Entitäten* zwar für sich Stellenwert besitzen, sie sich letztlich aber immer aus einfachen Entitäten zusammensetzen. Vor ihrem Hintergrund erscheint die Gliederung auf der ersten Ebene auch insofern verfehlt, als die meisten Welten an sich komplex sind bzw. sich einfache Entitäten zwar isolieren lassen, schließlich aber doch im Allgemeinen in einem komplexen Wechselspiel stehen. Insofern erscheint es sinnvoll, die Komplexitätsforschung als Mittler techno-wissenschaftlicher Metaphysik mit in die Kategorialanalyse einzubeziehen. Das ist schon insofern opportun, um den Komplexitätsbegriff richtiggehend definieren zu können, wozu es mit Pkt. 4.3 eine Vielzahl widersprüchlicher Ansätze gibt.

Vor allem aber erscheint es mit den Defekten bei Grossmann (1992) geboten, im Sinne der Komplexitätsmetaphysik Whiteheads (1929a) bei der Kategorialanalyse an jenen Aspekten anzusetzen, die etwa komplexe Strukturen bzw. Sachverhalte erst hervorbringen. Wenn mit Armstrong (2010: 30) für Grossmann gilt: »The world as a whole is one gigantically complex fact«, dann sollte die Ontologie im Zeichen der Emergenz komplexer Strukturen auch auf die Fundamente einer *Ontologie des Werdens*, nicht auf jene einer *Ontologie des Seins* gestellt werden. Genau ersteres wird in Whiteheads (1929a) prozess-

⁴¹⁷⁵ Quelle: eigene Darstellung nach Grossmann (1992: 87).

ontologischen Kategorienschema mit der "*Category of the Ultimate*", nämlich "*Creativity*" als "*principle of novelty*" als Basis vollzogen.⁴¹⁷⁶ Konkret steht demgegenüber jene Kategorie im Fokus, um die sich bei ihm als *erster Existenzkategorie* alles dreht, nämlich "*actual entities*", mit denen sich die zentrale Stellung der Ereigniskategorie begründet. Das sei hier besonders betont, weil es sich bei Grossmann (1992) ungeachtet seiner *komplexen Entitäten* genauso wenig um *Prozessontologie* als vielmehr um eine stationär gedachte "*Furniture*"-*Ontologie* handelt wie bei allen anderen hier diskutierten Systemen. Das gilt angefangen bei Johansson (1989), über Hoffman/Rosenkrantz (1991) bis zu den im Folgenden betrachteten Systemen Tegtmeiers (1992) und E.J. Lowes (1998, 2002b, 2003). Mit anderen Worten fordert eine metaphysische Kategorie des Komplexen auch ein metaphysisches System ein, das diese Komplexitätskategorie systematisch erschließt. Bei Klasse-4-Metaphysiken muss sich dieses Erschließen dabei auf wissenschaftliche wie technologische Sachverhalte gleichermaßen beziehen können, insbesondere auf jene Zusammenhänge, wie sie die AI-bezogenen Diskurswelten der Informatik regelmäßig mit sich bringen. Dazu muss aber der jeweilige Metaphysikentwurf an sich mit den Anforderungen der Automatentheorie bzw. der *Theorie komplexer Systeme* konform gehen. Darauf stellen die Kategorien Grossmanns, der ein Schüler G. Bergmanns ist,⁴¹⁷⁷ jedoch in keiner Weise ab.

Aus dem Fall Grossmanns (1992) können Ontologen einiges lernen, indem er vollkommen zu Recht auf die große Bedeutung *komplexer Entitäten* hinweist. Ihm ist anzurechnen, dass er sich dieser Problematik stellt. Denn die meisten der heute gängigen Kategoriensysteme stellen entweder gar nicht auf das Komplexitätsmoment und die damit unmittelbar verbundenen universalen Evolutions- bzw. Prozessgesichtspunkte ab, oder sie scheitern in letzter Konsequenz an einer systematischen Zentrierung um dieses Moment. Dieses zentrale Problem ist vor allem im Substanzgedanken selbst angelegt, wie es in Pkt. 5.2 mit den aristotelischen *Relata* deutlich wurde, und sich durch den in Pkt. 5.3 behandelten Bunge-schen Systemismus allenfalls bedingt beheben lässt. Mit dem Scheitern der aristotelischen *Relata* stehen in der Bunge-schen Ontologie auch nicht selbstidentische Substanzen im Vordergrund, sondern materielle Dinge mitsamt ihrer *Relationen*; es geht bei Bunge also im Gegensatz zum aristotelischen Ausgangspunkt um Dinge, die mit anderen Dingen in einem komplexen systemischen Gefüge stehen. Allerdings darf dabei insgesamt nicht übersehen werden, dass Kategoriensysteme immer das Ergebnis spekulativer Metaphysik sind. Wenn dies außer Frage steht, ist evident, dass es sehr wohl darauf ankommt, auf welcher Art von Metaphysik das jeweilige Kategoriensystem aufsetzt. Insofern ist klar, dass ein sachgerechtes Kategoriensystem, auf dem letztlich auch *Scientific Ontologies* der Wissensontologie zu gründen vermögen, allein auf entsprechend geeigneten metaphysischen Systemen aufbauen kann. Für die Zwecke der Informatik kann dies kaum eine mate-

⁴¹⁷⁶ Vgl. dazu Whitehead (1941c: 684): »The World which emphasizes the multiplicity of mortal things is the World of Activity. It is the World of Origination: It is the Creative World. It creates the Present by transforming the Past, and by anticipating the Future«.

⁴¹⁷⁷ Vgl. hierzu ergänzend Tegtmeier (2010).

realistische Klasse-3-Metaphysik sein, wie sie die Bungesche Ontologie verkörpert. Es kann sich also nicht um eine beliebige Metaphysik handeln, sondern an diese stellen sich höchst diffizile Anforderungen, wenn sie einerseits als allgemeinste Theorie nicht im Widerspruch zu den wesentlichen, allgemein akzeptierten erfahrungswissenschaftlichen Schlüsseltheorien stehen kann, andererseits den praktischen bzw. technologisch-strukturwissenschaftlichen Zwecken, insbesondere jenen der Informatik entsprechen soll.

Geht es wie bei Grossmann (1992) um *komplexe Entitäten*, kann die Basis in grundsätzlicher Hinsicht allein in einer Klasse-3- oder Klasse-4-Metaphysik bestehen,⁴¹⁷⁸ wie sie etwa bei Bunge bzw. Whitehead jeweils auf unterschiedliche Weise ein *universales Komplexitätsparadigma* begründen. Dabei geht es nicht allein um die generelle Perspektive oder um die ratio-empirische Vermittlung der Komplexitätsforschung, die für Klasse-1- bzw. Klasse-2-Metaphysiken nicht in dieser Form möglich ist. Vielmehr geht es gerade auch mit Blick auf *komplexe Entitäten* wesentlich um alle in Pkt. 4.1 ff. behandelten metaphysischen Aspekte bzw. in Pkt. 6.1 ff. diskutierten fundamentalen meta-ontologischen Entscheidungen. Das fängt beim Bestimmungsverhältnis von Objekt und Ereignis an, und führt über die Mereologie etwa zur Frage, wie sich *komplexe Entitäten* gleichzeitig im Bereich der Natur wie im Bereich der Artefakte im universalen Sinne konzipieren und repräsentieren lassen. Insofern spielen gerade auch strukturwissenschaftliche Aspekte und damit eine spezifische Art von Metaphysik eine Rolle; das betrifft gerade den Umstand, dass *Komplexität* nicht nur als Struktur und Ordnung, sondern vor allem als *Prozess* zu verstehen ist.⁴¹⁷⁹ Somit kommt Whiteheads (1929a) Prozess- bzw. Komplexitätsmetaphysik eine besondere Rolle zu, wenn es um die kategoriale Repräsentation *komplexer Entitäten* geht.

Natürlich ist ein Kategoriensystem nur dann tatsächlich *universal*, wenn es sich auch universal nutzen lässt, nämlich nicht allein für philosophische Zwecke, sondern gerade auch durch alle Wissenschaften und Technologien, nicht zuletzt durch die Informatik als Zentraldisziplin. Insofern läuft eine moderne Metaphysik nicht nur auf eine Klasse-4-Metaphysik hinaus, sondern sie muss bereits jene Belange im Auge haben, die sich mit der Transformation des metaphysischen Entwurfs in die *Top-level Ontologie* der Informatik stellen. Metaphysik zielt auf komplexe Welten; wenn es gilt, diese tatsächlich in der erforderlichen Tiefe zu verstehen bzw. zu analysieren, hat Metaphysik mit der Repräsentation von Wissen selbstredend mehr zu tun als es in mehr als zweitausend Jahren Metaphysikforschung je betont worden ist. Richtig ist vielmehr, dass die Repräsentation von Wissen metaphysische Kategorien wie die Metaphysik insgesamt genauso voraussetzt, wie umgekehrt Metaphysik ohne eine unmittelbar anschließbare Repräsentation von Wissen wenig sinnvoll erscheinen kann. Disziplinär gedacht benötigt eine moderne Metaphysik damit die

⁴¹⁷⁸ Das ist mit Grossmann (1983, 1992) insofern kompatibel, als nicht nur ein *Realismus* bzgl. der externen Welt vorausgesetzt wird, sondern auch ein *Empirismus* verteidigt wird, vgl. auch Armstrong (2010: 30).

⁴¹⁷⁹ Komplexität entsteht mit Prigogine (1985b: 10; 1987: 101) durch *Bifurkation*, was *makroskopisch*, nämlich im Sinne des Evolutionsverlaufs des Gesamtsystems *komplexer Systeme* gemeint ist. Mit anderen Theorien komplexer Systeme, etwa dem NK-Modell Kauffmans, sind solche Bifurkationen ebenso für die *Mikroebene* elementar.

Informatik genauso wie umgekehrt eine auf *"nontoy worlds"* abstellende Informatik die Metaphysik. Wenn dies in sachlicher Hinsicht vollkommen außer Frage steht, faktisch jedoch im Großen und Ganzen in beiden Disziplinen das genaue Gegenteil davon praktiziert wird, liegen die Probleme offenbar anders: Sie sind entweder wissenschaftssoziologischer Natur oder sind dem Unverständnis des universalen Leibnizprogramms geschuldet, in dem nicht nur das Ursprungparadigma der Informatik besteht, sondern das in gleicher Weise den ersten tatsächlich universal orientierten Metaphysikansatz verkörpert.

Die Informatik benötigt die metaphysische Ontologie neben der kognitiven Erfassung der Welt in CPS-Kontexten und der Modellierung realer wie möglicher Welten in ihrer Eigenart als kategoriale Ontologie vor allem zwingend für die AI-Ontologie. Denn nur auf ihrer Grundlage ist eine umfassende, systematische Kategorisierung allen Wissens möglich, die für eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation tatsächlich intelligenter Systeme unerlässlich ist. Insofern läuft die kategoriale Ontologie immer auf eine *wissenschaftsadäquate Kategorialanalyse* hinaus. Indem dies die Repräsentation philosophischen Wissens einbezieht, schließt sich der Kreis entsprechend. Wenden wir uns vor diesem Hintergrund der *S-Ontologie* Tegtmeiers (1992) zu. In dieser ist alles in der Welt entweder eine Sache, ein Sachverhalt oder eine Form. Entsprechend bilden sie die obersten Kategorien seiner Ontologie. Wegen der elementaren Rolle, die *Sachverhalte* in Tegtmeiers (1992) Kategoriensystem spielen, wird es von ihm als *S-Ontologie* bezeichnet:⁴¹⁸⁰

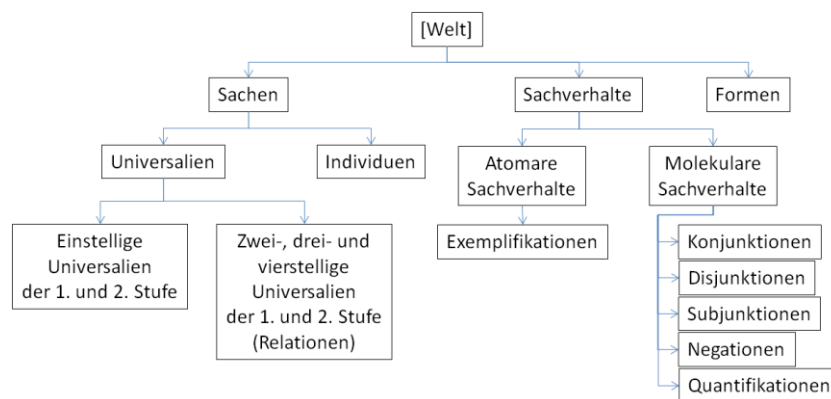


Abb. 43:⁴¹⁸¹ Kategorien der S-Ontologie von Tegtmeier

Eine Besonderheit von Tegtmeiers Ontologie besteht in dem Umstand, dass die logischen Sachverhalte als ontologische Entitäten behandelt werden. Natürlich gibt es diese logischen Sachverhalte im Kantischen (1800) Regeluniversum, allerdings resultiert daraus das Problem, dass die Zuordnung von Entitäten insofern nicht exklusiv erfolgen kann, als Sachen wiederum Gegenstand der Sachverhalte sind.

Während im fünften Teil bereits die Kategoriensysteme von Aristoteles, Bunge, Chisholm oder Rescher behandelt wurden, wollen wir ihre generelle Diskussion mit einem vierten Beispiel abschließen das dazu in direktem Bezug steht: Es geht um die Kategorien-

⁴¹⁸⁰ Vgl. Tegtmeier (1992: 38).

⁴¹⁸¹ Quelle: eigene Darstellung nach Tegtmeier (1992: 52), modifiziert.

systeme bei E.J. Lowe, bei dem diese insofern im Plural stehen als von einer Serie mehr oder minder stark modifizierter Kategoriensysteme zu sprechen ist. Ihnen ist gemein dass sie im Kontext seiner *Four-Category Ontology* entwickelt werden,⁴¹⁸² was sich in einer ersten Variante wie folgt darstellt:

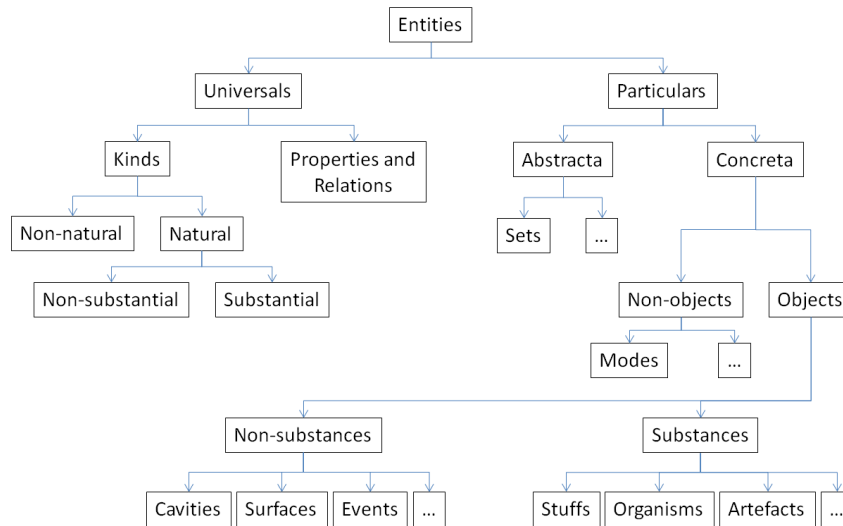


Abb. 44:⁴¹⁸³ Objektbezogene Ereignisse bei E.J. Lowe (1998)

Wenn E.J. Lowe (1998: 180) betont, dass sein Kategorienschema unvollständig wie erweiterbar bzw. modifizierbar ist, seien dazu zwei Anmerkungen erlaubt: zum einen wird damit implizit deutlich, wie schwierig der Bau von Kategoriensystemen ist, indem sich die Welten zweifelsohne auf verschiedene Weise strukturieren lassen. Zum anderen, dass die Kategorienanalyse als Prozess zu begreifen ist, was kaum besser deutlich wird als anhand der Arbeiten E.J. Lowes. Denn sie zeigen, dass die Kategoriensysteme selbst bei einem gestandenen Metaphysiker bzw. Ontologen ab der zweiten Gliederungsebene in einem vergleichsweise kurzen Zeitraum eine Variabilität aufweisen, die ihre Funktion als fundamentale Basis für Zwecke der AI-Wissensrepräsentation unmittelbar konterkarieren. Allerdings geht es E.J. Lowe (2001) mit Pkt. 3.1 gar nicht um diese, sondern im Unterschied zu Gracia (1999: 156) wie zum IMKO *OCF* allein um die *metaphysica generalis* als solche. Wie weiter unten dargelegt, liegen die Gründe dafür letztlich in der metaphysischen Basis als solcher. Die fundamentalen Änderungen in seinen Kategoriensystemen deuten darauf, dass sich die neo-aristotelische Metaphysik, die E.J. Lowe (2012) vehement zu verteidigen sucht, in Wirklichkeit in einem verzweiferten Rückzugsgefecht befindet. Nicht die Kategorien sind das Problem, sondern vielmehr die metaphysische Basis als solche. Dessen ungeachtet setzt jede kategoriale Wissensrepräsentation eine stabile Grundlegung voraus:

⁴¹⁸² Vgl. hierzu E.J. Lowe (2002a, 2002b).

⁴¹⁸³ Quelle: eigene Darstellung nach E.J. Lowe (1998: 181).

6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien

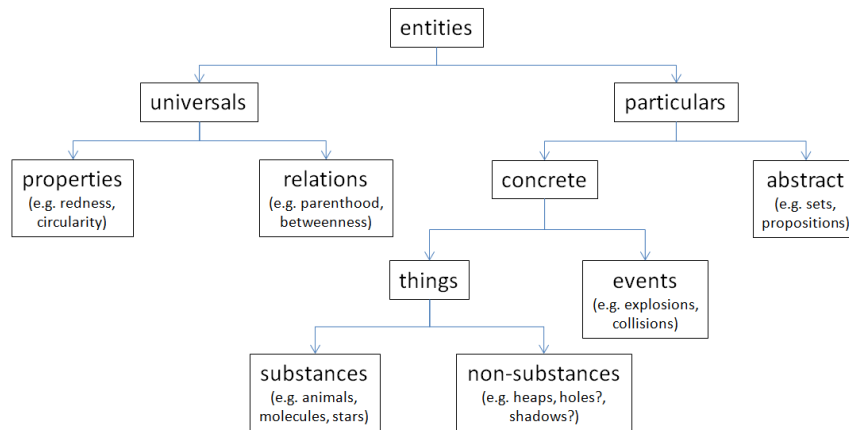


Abb. 45:⁴¹⁸⁴ Substantzorientierte Kategorien bei E.J. Lowe (2002b)

Liegen bei E.J. Lowe (2002b) konkrete Dinge und Ereignisse auf einer Stufe, finden sich letztere noch bei E.J. Lowe (1998) lediglich *konkreten Objekten* untergeordnet. D.h. hier stellt noch jedes Ereignis immer ein auf ein konkretes Objekt bezogenes Ereignis dar, wie es Bunge genauso, Whitehead aber ganz anders praktiziert. Schließlich finden bei E.J. Lowe (2003) weder wie bisher *Substanzen* noch *Ereignisse* als Schlüsselkategorien Berücksichtigung; die "*abstract particulars*" von E.J. Lowe (2002b) werden hier in gängiger Praxis als "*tropes*" bezeichnet,^{4185, 4186} und die Abstrakta aus Konkreta von E.J. Lowe (1998) verlagern sich von einer den Objekten übergeordneten Klassifikation zu einer auf diese bezogenen untergeordneten Klassifikation:

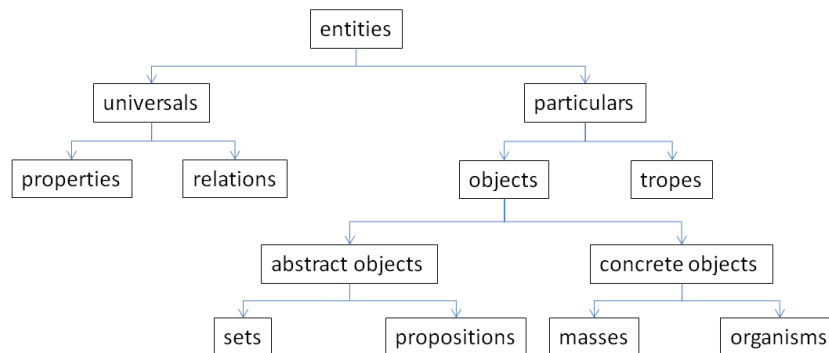


Abb. 46:⁴¹⁸⁷ Objektorientierte Kategorien bei E.J. Lowe (2003)

Die kategoriale Variabilität E.J. Lowes ist umso bemerkenswerter und fragwürdiger, als es sich bei seiner Metaphysik keinesfalls um eine systematisch auf einen *Ratio-Empirismus* angelegte Metaphysik der Klasse 3 oder Klasse 4 handelt. Es geht um keine allgemeinste Theorie, um kein "Interplay" von Metaphysik und Wissenschaften, wie es wissenschaftliche bzw. techno-wissenschaftliche Metaphysiken wie jene Bunes oder Whiteheads voraussetzen. Dennoch will E.J. Lowe (2007) mit seiner Metaphysik die empirischen Wis-

⁴¹⁸⁴ Quelle: eigene Darstellung nach E.J. Lowe (2002b: 16).

⁴¹⁸⁵ Vgl. hierzu Pkt. 6.2.3.

⁴¹⁸⁶ Vgl. hierzu auch E.J. Lowe (2007: 88, Fn. 22).

⁴¹⁸⁷ Quelle: eigene Darstellung nach E.J. Lowe (2003: 9).

senschaften im Fokus haben. Doch tatsächlich stehen E.J. Lowes kategoriale Analysen entgegen etwa jenen von B. Smith oder P.M. Simons eher im philosophischen Kontext, auch wenn der enge Bezug der klassisch philosophischen Ontologie zur formalen Ontologie auch für E.J. Lowe (2007) außer Frage steht. Konkret ist damit gemeint, dass die Kategorialanalyse zwar der Wesenserkenntnis der fundamentalen Strukturen verschrieben ist, ohne allerdings dabei die notwendige Anschlussfähigkeit der Wissensrepräsentation hinreichend in den Fokus zu nehmen. Diese verlangt eine gewisse Kongruenz mit empirischen Schlüsseltheorien, womit insbesondere auch Prozess- und Komplexitätsgesichtspunkte maßgeblich zu berücksichtigen sind. Das ist im neo-aristotelischen Ansatz B. Smithens mit der BFO-TLO insofern anders, als diese unmittelbar auf die praktischen Zwecke der Informatik zielt, was demgegenüber mit E.J. Lowe (2001) nicht der Fall ist. Wäre dies die Absicht E.J. Lowes, würde es schwierig: Dann nämlich wäre der schnelle Wechsel seiner kategorialen Varianten inakzeptabel. Geht es um Wissensrepräsentation und damit um die Transformation des metaphysischen Kategoriensystems in die *Top-level Ontologie* der Informatik, ist eine grundsätzliche Stabilität unabdingbar. Der längerfristige Aufbau ganzer Ontologiebibliotheken ist allein auf Basis metaphysischer Kategoriensysteme möglich, deren oberste ontologische Dichotomien rigoros geklärt sind. Nur unter dieser Voraussetzung lässt sich ein stabiles System von TLO-Kategorien ableiten.

Die Problematik bei E.J. Lowe ist doppelter Natur und dabei interdependent: Indem E.J. Lowe (2001) nicht die Position des in Pkt. 3.4 behandelten IMKO *OCF* bzw. die Position Gracia (1999: 156) teilt, die darauf hinausläuft, die *metaphysica generalis* im Wechselspiel mit der formalen Wissensontologie zu behandeln, fehlt auch die Orientierung zur transdisziplinären Wissensrepräsentation. Für erste ist diese Verkopplung mit der KR-Basis insofern wesentlich, als sie dadurch direkte Rückmeldung erhält, dass mit ihren Kategorien bzw. mit der metaphysischen Basis als solcher etwas nicht stimmt. Genau das ist mit dem Whiteheadschen »interplay between science and metaphysics« letztlich gemeint, und entsprechend ist ein solcher wechselseitiger Bezug auch nur auf einem systematischen Ratio-Empirismus begründbar. Dieser läuft wiederum insofern notwendig auf die *Klasse-4-Metaphysik* hinaus, als sich diese Rückmeldung gerade für Zwecke der Informatik oder des Ingenieurwesen noch elementarer auf den technologisch-strukturwissenschaftlichen Komplex zu beziehen haben, wie es auch das *U-PLM-Referenzszenario* offenbart. Die Metaphysik bei E.J. Lowe ist somit nicht nur in ihrem neo-aristotelischen Kern fundamental defekt, sondern genauso im methodischen Vorgehen: Ob die Kategorien tatsächlich passend sind, zeigt sich mit Gracia (1999: 156) erst unmittelbar im wissensontologischen Vollzug.

Vor dem Hintergrund der mit der größeren Variabilität in der Kategorialanalyse verbundenen Probleme bei E.J. Lowe gelangen wir abschließend zu der Frage, was von Bertalanffy (1949a) Vorschlag zu halten ist, einfach »die 'Kategorienlehre' oder 'Ontologie' durch ein System exakter allgemeiner Prinzipien« zu ersetzen.⁴¹⁸⁸ Dessen Aufgabe besteht

⁴¹⁸⁸ Vgl. Bertalanffy (1949a: 185, 187).

für Bertalanffy (1949a: 185 f.) darin, jene allgemeine Prinzipien zu formulieren und abzuleiten, die für "Systeme" überhaupt gelten, die als ein »Komplex von in Wechselwirkung stehenden Elementen« zu verstehen sind. Diese weisen unmittelbar auf die System- bzw. Relationenontologie Whiteheads. Mit der *Allgemeinen Systemtheorie* strebt Bertalanffy danach, »Grundbegriffe der Organisation, Ganzheit, Wechselwirkung, Konkurrenz, Zielstrebigkeit und so fort, in Systemen überhaupt zu erfassen«. ⁴¹⁸⁹ Wie in Pkt. 2.5.2 gezeigt, wird Bertalanffys (1949a) Idee mit Chandra/Kamrani (2003) im Kontext der Ontologie der Informatik explizit aufgegriffen, wenn sie nicht auf einen konkreten TLO-Theorieanwärter, sondern vielmehr auf Bertalanffys *Allgemeine Systemtheorie* rekurrieren und ihre *Top-level Klasse* folglich im "System" im Allgemeinen besteht. Diese Idee wird, wie in Pkt. 3.5 gezeigt, analog im Rahmen der *Ontology for Autonomous Systems* (OASys) verfolgt, ⁴¹⁹⁰ hier allerdings aufbauend auf Klirs (1969, 1985, 1991) *Allgemeine Systemtheorie*; entsprechend bezieht sich die hier vollzogene Kritik auf diesen Fall in analoger Weise. ⁴¹⁹¹

Wenn die Systemtheorie die Kategoriallehre bzw. Ontologie ersetzen soll, dann ist dies nach den Vorstellungen Bertalanffys so zu verstehen, dass sie in ihrer Eigenart als logisch-mathematisches Gebiet in Form eines neuen Wissenschaftsbereichs nicht nur die einzelnen Wissenschaften einigen soll, sondern darüber hinaus auch eine zentrale Stellung innerhalb der Philosophie bezieht. Indessen wäre es natürlich vermessen zu meinen, die Systemtheorie hätte als Methodologie keine metaphysische Wurzel. Natürlich besitzt sie diese. Das räumt Bertalanffy (1949a: 158 ff.) selbst implizit ein, wenn er im Streit um den Mechanismus vs. Vitalismus feststellt, dass jeder *Weltauffassung* eine *zweifache Wurzel* zugrundeliegt, nämlich ein *methodologisches* und ein *metaphysisches* Problem. ⁴¹⁹² Dann stellt sich zunächst das letztere, nicht etwa umgekehrt. Anders gewendet sucht man nicht die zur Methodologie passende Metaphysik, sondern erschließt aus der metaphysischen Analyse eine sachgerecht konzipierte Methodologie. Dabei steht einmal mehr außer Frage, dass sich metaphysische Probleme nur in der Metaphysik selbst klären lassen, was gerade auch die Analyse metaphysischer Kategorien inkludiert. Ferner ist Bertalanffy (1949a) auch in der Hinsicht zu korrigieren, dass jeder *Weltauffassung* keine zweifache, sondern vielmehr eine *dreifache Wurzel* zugrundeliegt, indem sie immer auch ein *epistemologisches* Problem

⁴¹⁸⁹ Vgl. Bertalanffy (1965: 294).

⁴¹⁹⁰ Vgl. hierzu im Einzelnen Fn. 2391 sowie Fn. 2392.

⁴¹⁹¹ Das gilt insofern, als für Klir (1969: 97) außer Frage steht, dass die auch durch ihn verfolgte Idee der *Allgemeinen Systemtheorie* durch Bertalanffy entwickelt wurde; d.h. es geht um die gleiche Tradition.

⁴¹⁹² Entsprechend sollte nicht verkannt werden, dass auch Bertalanffys *Allgemeine Systemtheorie* vollends philosophisch inspiriert ist, vgl. etwa Bertalanffy (1972b), wobei sie insbesondere im Zeichen Leibnizens sowie Whiteheads steht, vgl. etwa Bertalanffy (1949a: 184): »Der 'organische Mechanismus' des Mathematikers Whitehead erhob sich sowohl über die Annahme des blinden Spiels der Moleküle wie über den Vitalismus. Alle wahrhaften Wesenheiten sind 'Organismen', in denen der Plan des Ganzen die Merkmale der untergeordneten Systeme beeinflusst, ein Prinzip, das völlig allgemein ist und keine Besonderheit der lebenden Körper bedeutet. Das Atom bildete sich in der modernen Physik in einen Organismus um. Durch die Wandlung der Physik rührt die Wissenschaft an einem Aspekt, der weder rein physikalisch noch rein biologisch ist: sie wird zum Studium von Organismen«.

bedingt. Dieses stellt sich gerade auch im Zeichen der kategorialen Abgrenzung, wie es mit Kants *epistemischen Kategorien* deutlich wird.⁴¹⁹³

Selbstverständlich ist auch das durch Bertalanffy erstrebte »System exakter allgemeiner Prinzipien« *kategorial*. Genauso gilt umgekehrt, dass jedes Kategoriensystem im Kontext formaler Ontologie ein solches »System exakter allgemeiner Prinzipien« repräsentiert. Dabei mündet die Kategorialanalyse in der formalen Ontologie ebenso in einer logico-mathematischen Repräsentation. Insofern ist Bertalanffys Konzept weder neu noch kann sein Vorschlag, die Ontologie bzw. Kategorienlehre durch seine Allgemeine Systemtheorie zu ersetzen, überzeugen. Darüber hinaus offenbart Bertalanffys (1949a) Idee zwei weitere Probleme, an denen der Wert der metaphysischen Kategorialanalyse nochmals deutlich wird: Erstens ist diese – wie oben mit den Systemen E.J. Lowes offensichtlich wurde – gewiss als Prozess zu begreifen, der sich nicht mit einem unabänderlichen Entwurf wie der *Allgemeinen Systemtheorie* zum Stillstand bringen lässt. Dass in dieser ein überholter Ansatz besteht, zeigt bereits ihre Ablösung durch die *Theorie komplexer Systeme*. Beides sind Methodologien, die natürlich keineswegs die Metaphysik ersetzen können; vielmehr sind diese auf ein Metaphysiksystem zu beziehen, von diesem abzuleiten bzw. auf diesem zu begründen. In beiden Fällen kann dieses mit Pkt. 4.2 allein im Whiteheadschen System bestehen, indem zum einen Bertalanffy (1949a, 1950a) seine Systemtheorie explizit auf Basis von Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik begründet, zum anderen mit Poser (2005) die *Theorie komplexer Systeme* ebenfalls hier ihre metaphysischen Ursprünge besitzt.

Offenbar ist Bertalanffy et al. die zentrale Funktion, die den Kategorien im Zeichen des IMKO *OCF* zukommt, unklar. Das »System exakter allgemeiner Prinzipien« ist nicht mehr als das, was durch die meta-ontologischen Dispositionen in diesem sechsten Teil spezifiziert wird. Aus diesen folgt eine spezifische metaphysische Ontologie, die etwa prozessual, perdurantistisch wie ratio-empirisch gehalten ist. Die Kategorien besitzen demgegenüber eine andere Funktion: sie dienen der *Einheit der Erkenntnis* wie der *Einheit des Wissens*, indem sie die jeweilige Welt bzw. die Realität erst strukturalistisch in der Tiefe erfassbar machen. Der erste Einheitsgedanke weist auf epistemische Kategorien, der zweite auf ontische Kategorien, indem objektives Wissen um diese ontischen Kategorien strukturiert ist. Kategorien sind also gerade für jede Weltauffassung zentral, genauso wie die Ontologie im Ganzen. Erst sie offenbaren, welche Anforderungen an die Wissensrepräsentation und damit die Repräsentationssprache zu stellen sind, in welchem Ordnungsverhältnis Ereignisse, Prozesse, Objekte usf. stehen. Ob etwa das Ereignis oder das Objekt primär ist, lässt sich ohne Weiteres genauso wenig auf Basis der Allgemeinen Systemtheorie bestimmen wie die Frage, ob es nur Ereignisse, oder auch ganze Prozesse usf. gibt. Für die AI-Disziplin kommt es genau auf diese Frage an, nämlich etwa, wie Entitäten zeitlich zu behandeln sind

⁴¹⁹³ Diese dreifache Wurzel manifestiert sich durch drei zentrale philosophische Streitfragen, nämlich erstens durch den zu bezwingenden *Cartesischen Dualismus von Geist und Materie*, zweitens durch die genauso zu überwindende *Subjekt-Objekt-Dichotomie*, und drittens in Form der zu vollziehenden Transformation vom *Sein zum Werden*, das in einer relationalen Ontologie ein *Werden des Komplexen* markiert.

oder wie insgesamt die Datenmodelle zu strukturieren sind. Bertalanffys Gedanke könnte nur dann Sinn machen, wenn die Entitäten der Ontologie nicht im Detail bestimmt werden müssen. Genau das ist jedoch gerade bei Artifizierlicher Intelligenz erforderlich, etwa in der Hinsicht, dass etwa ein Objekt gleichzeitig ein konkretes oder ein mögliches sein kann, ob es im 3D- oder 4D-Sinne zu verstehen ist oder ob es prinzipiell hylemorphistisch veranlagt ist. Ohne eine solche kategoriale Spezifizierung ist reflexive Intelligenz für AI-Systeme unerreichbar. Mit anderen Worten stellt sich die Richtigkeit der Kategorialanalyse gerade im Kontext der Informatik dar, während sich umgekehrt Bertalanffys Substitutionsversuch als verfehlt erweist.

Vielmehr wird im Sinne der in Pkt. 3.4 bzw. Pkt. 3.5 umrissenen *integrierten metaphysischen Wissensontologie* deutlich, dass die Whiteheadsche *Kategorienlehre* mit ihrer fundamentalen *Ereigniskategorie* von zentraler Relevanz ist. Damit darf zweitens die universale Funktion der Kategorialanalyse nicht verkannt werden; es geht nicht allein um Welterkenntnis im Sinne der Aufdeckung fundamentaler Strukturen, auch nicht allein um die metaphysische Fundierung aller Methodologie. Die Kategorialanalyse ist mit Kant genauso für die Epistemologie entscheidend, indem die Welt auch kategorial erfasst wird.⁴¹⁹⁴ Analoges gilt mit Blick auf die kognitiven Funktionen Cyber-physischer Systeme (CPS). Vor allem aber besitzt sie, wie ebenfalls an den *Top-level Ontologien* als Kategoriensystemen deutlich wird, maßgebliche Bedeutung für die Wissensrepräsentation: Es ist keine durchdachte komplexe Wissensrepräsentation möglich ohne Kategorien. Auch diese Funktion übersieht Bertalanffy (1949a); er übersieht, dass Ontologie zu verstehen ist als *integrierte metaphysische Wissensontologie* des IMKO OCF, was keine Systemtheorie zu leisten imstande ist.

6.2 Meta-ontologische Kriterien IoX-adäquater TLO-Theorieanwärter

»[T]here is no consensus about the level of abstraction of an upper level ontology and about the meaning of a meta-ontology. There is more than one upper-level ontology; there are no clear relations and mappings between them, and there are no precise criteria for what upper-level ontologies should look like [...].«

— Patryk Burek (2003: 119)

Die notwendigen Vorarbeiten in allen vorauslaufenden Teilen und die in Pkt. 6.1 vollzogene Klärung der fundamentalen meta-ontologischen Entscheidungen sind um zwei letzte Schritte zu komplettieren, um im siebten Teil die meta-ontologische Spezifizierung der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf einem stabilen Fundament vollziehen zu können. Der erste Schritt besteht mit Pkt. 6.2 ff. in der Diskussion der meta-ontologischen Kriterien, was bei einigen TLO-Ansätzen gar nicht, bei anderen nur unzureichend vollzogen wird. Bestimmte einzelne Ansätze wie die BFO-TLO oder die DOLCE-TLO zeichnen sich durch eine umfassende Diskussion spezieller philosophischer Fragen aus, vernachlässigen

⁴¹⁹⁴ Vgl. Körner (1970: 10); vgl. hierzu ergänzend Lakoff (1986).

dabei jedoch eine allgemeine Perspektive. D.h., dass zwar philosophische Aspekte wie die Universalienproblematik diskutiert werden, dabei jedoch nicht an den einzelnen philosophischen Strömungen selbst angesetzt wird, wie es im fünften Teil vollzogen worden ist. Tatsächlich kann von einem stabilen Fundament nur die Rede sein, wenn die einzelnen Metaphysiken *an sich* in Frage gestellt werden, weil sie es sind, die für das TLO-Inkommensurabilitätsproblem bzw. die Eigenarten spezifischer TLO-Ansätze verantwortlich sind. Insofern läuft die bisherige TLO-Diskussion entscheidend zu kurz, indem die Kontroverse um die disparaten *Top-level Ontologien* zuvorderst nach einer Debatte um die unvereinbaren *Metaphysiken* verlangt. Dieses Problem wiegt umso schwerer, als auch in der Philosophie diese Debatte kaum in der notwendigen Schärfe geführt wird; eine rigorose Konfrontation der einzelnen Metaphysikklassen wird bisher nicht praktiziert, ist jedoch im Sinne Poppers (1979) erforderlich und vollziehbar. Genauso defizitär gestaltet sich die Berücksichtigung der generellen ontologischen Anforderungen der Informatik. Wenn die *Top-level Ontologie* als oberste Ontologieebene der Informatik einen *universalen* Anspruch stellt, und ihre Integrationsszenarien bei ubiquitären kombinierten Informations- und Wissenssystemen ineinander laufen, stellt ein Verzicht auf die eingehende generische Anforderungsreflexion einen Kardinalfehler dar. Jenseits spezifischer TLO-Ansätze wird die allgemeine, an einer komparativen TLO-Analyse festmachende Diskussion meta-ontologischer Kriterien vergleichsweise oberflächlich geführt.⁴¹⁹⁵ Gerade in dieser Sache ist die Ontologieforschung der Informatik auf eine neue Basis zu stellen, wenn *Computer als "Reality Machines"* mit IoX-Systemen in die verschiedensten Lebenswelten Einzug halten. Dabei ist das Kriterium der CPSS-Adäquanz insofern entscheidend, als CPS in vielfältiger Form für das U-PLM-Referenzszenario konstituierend sind (PEID, CPPS, CPSS, CPLS usw.). Die hier vollzogene Grundsatzdiskussion setzt voraus, dass sich die Klärung der Ontologiefrage an einer zukunfts-offenen Ontologiekonzeption orientiert, womit der Gesichtspunkt der *Superintelligenz* der dritten AI-Generation intendiert ist und somit die Diskussion der meta-ontologischen Kriterien umso mehr in den Mittelpunkt rückt. Der unmittelbar daran anschließende zweite Schritt erfolgt in Pkt. 6.3, indem eine wirkliche Zukunftsoffenheit nahelegt, die meta-ontologische Spezifikation abschließend im Kontext der *Superintelligenz* der dritten AI-Generation zu reflektieren. Konsequenterweise ist die im siebten Teil vollzogene meta-ontologische Spezifikation einer IoX-konformen *Top-level Ontologie* genau hierauf zu beziehen, um ein dauerhaft stabiles Ontologiefundament für die Informatik realisieren zu können.

Wie in Pkt. 6.1 dargelegt, sind mit *Meta-Ontologie* alle fundamentalen Fragen der Ontologie bzw. ihre allgemeine Grundlegung gemeint. Letztlich stehen all diese Fragen im Zeichen einer metaphysischen Wurzel, so dass schließlich die Meta-Ontologie in letzter Konsequenz in einer *Meta-Metaphysik* mündet, die etwa die in Pkt. 4.1 differenzierten vier

⁴¹⁹⁵ Vgl. bspw. Borgo/Gangemi et al. (2002), Masolo et al. (2003), Semy/Pulvermacher/Obrst (2004), Farrar/Bateman (2005), Oberle (2006), Oberle et al. (2007), Obrst (2010) sowie Magee (2011c).

Metaphysikklassen zum Gegenstand hat. Dass dem so ist, wird weiter unten deutlich, wenn gezeigt wird, dass eine meta-ontologische Spezifizierung etwa auf Basis einer *Klasse-2-Metaphysik* zu gänzlich anderen Systemen führt als auf Grundlage einer *Klasse-4-Metaphysik*. D.h. im Ergebnis haben wir es mit völlig anderen Ontologiekonzeptionen zu tun, insbesondere mit völlig unterschiedlichen *Top-level Ontologien* als oberster Referenzebene. Dass meta-ontologische Kriterien den Zuschnitt jedes Ontologiekonzepts in allen wesentlichen Fragen bestimmen, wurde bereits in Pkt. 6.1 mit den fundamentalen meta-ontologischen Entscheidungen deutlich. Diese Überlegungen führen dazu, dass sich jenseits der eigentlichen Kategoriensysteme etwa die Ontologie Bunge ganz anders darstellt als jene Quines. Vor allem aber führen sie dazu, dass die Ontologie überhaupt *kategorial* ist, was mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 bzw. auf die *linguistische* Ontologie in Pkt. 3.3.2 keineswegs unumstritten ist. Demgegenüber hat sich mit diesen Ausführungen gezeigt, dass eine *kategoriale, TLO-referenzierende Ontologie* als selbstverständlich vorausgesetzt werden muss. Jenseits der in Pkt. 6.1 ff. vollzogenen *fundamentalen* meta-ontologischen Entscheidungen verbleiben in diesem Pkt. 6.2 ff. weitere wichtige meta-ontologische Kriterien, die es zu spezifizieren gilt. Indem linguistische AI-Ontologen wie Genesereth/Nilsson (1987) und in dieser Tradition auch Gruber (1993, 1995) von der Diskussion solcher meta-ontologischen Kriterien wie entsprechend von einer systematisch angelegten TLO-Referenz abstrahieren, wird die Unhaltbarkeit solch naiver Ontologiekonzeptionen im Folgenden nochmals offensichtlich: Ontologie lässt sich allein auf Basis von *Top-level Kategorien* praktizieren, wenn es um offene wie stabile interoperable Systeme im Sinne der Heavyweight-Ontologie geht.

Die TLO-Theorieanwörter unterscheiden sich zum einen in ihren Kategoriensystemen, zum anderen genauso wesentlich durch die Wahl der nachfolgend behandelten meta-ontologischen Kriterien. Diese Wahl wird dabei im Allgemeinen im Zeichen einer "Entweder-oder-Entscheidung" getroffen. Indessen laufen auf diese Weise vollzogene "*metaontological choices*" regelmäßig auf letztlich zu enge Ontologiekonzeptionen hinaus, nämlich auf Top-level Ontologien, die bereits in ihrem Fundament *nicht* universalistisch konzipiert sind. Beispielhaft illustriert geht es in Pkt. 6.2.4 um die meta-ontologische Differenz von Aktualismus und Possibilismus, deren Diskussion für gewöhnlich in der meta-ontologischen Wahl einer dieser beiden Positionen mündet: Entweder wird in streng wissenschaftlichen Ontologien für den Aktualismus votiert (z.B. BFO, BWW) oder aber für den Possibilismus (z.B. DOLCE). Allerdings existiert bisher keine TLO-Konzeption, die streng aktualistisch wie possibilistisch zugleich ist. Ohne Zweifel hat das unmittelbar etwas mit der dahinter liegenden Metaphysik zu tun. So ist DOLCE deutlich durch eine Klasse-2-Metaphysik geprägt, BWW durch eine Klasse-3-Metaphysik. Mit Verweis auf Pkt. 4.1 liegt jedoch auch in dieser Sache der Schlüssel in der Klasse-4-Metaphysik. Mit CYPO FOX als darauf aufbauender integrierter Ontologiekonzeption wird ein dazu alternativer Weg beschritten, indem diese als *Multiweltenontologie* verschiedene Welt- bzw. Ontologiemodi

zulässt, die über ein einheitliches "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*" miteinander integriert sind. CYPO ist also nicht wie alle bisherigen Ontologiekonzeptionen bei der Spezifizierung meta-ontologischer Kriterien einer "Entweder-oder-Entscheidung" verpflichtet, sondern bringt die Ontologie vielmehr in jene Sphäre, für die im übertragenen Sinne Feyerabends (1975) "*anything goes*" gilt. Denn darin besteht das einzige Prinzip, das den Fortschritt in der Ontologiefrage nicht blockiert. Dabei steht außer Frage, dass eine tatsächlich CPSS-adäquate Ontologiekonzeption, die die *Superintelligenz* der dritten AI-Generation nicht von vornherein verschließt, genau im Zeichen eines solchen "*anything goes*" zu konzipieren ist.

Technisch umsetzen lässt sich die Direktive des "*anything goes*" in Form eines systematisch ineinandergreifenden "*Sowohl-als-auch*" dadurch, dass die einzelnen meta-ontologischen Kriterien nicht auf Basis des ganzen ontologischen Ansatzes, also nicht für die Top-level Ontologie in ihrer ganzen Breite, sondern jeweils für spezifische Entitäts-Untermengen (Subsets) spezifiziert werden. Sie werden gemäß den vier CYPO-Welten konzipiert, indem sich der Kosmos als *Regeluniversum* im Sinne des CPST-Hyperspace in diese vier Weltmodi gliedern lässt. Die Informatik setzt generell die metaphysische These voraus, dass sich das Universum in verschiedene *Diskursuniversen* (UoD) gliedern lässt, und somit folgt die CYPO-Architektur diesem grundlegenden Gedanken. Dabei lässt sich synonym zu den *Welttypen* in Pkt. 3.5 von *Typen von Diskursuniversen* (UoD) sprechen.⁴¹⁹⁶ Wenn dieser Gedanke aus der mathematischen Logik stammt, wird die Verwandtschaft zu Leibnizens *Automatenuniversum*, zum Kantisch-Feynmanschen *Regeluniversum* oder zum Whiteheadschen *prozessualen Strukturuniversum* direkt offensichtlich. Damit ist klar: die formale Ontologie muss zurück in die Leibnizsche Tradition, aus der sie letztlich stammt. Sie muss zurück in den metaphysischen Logizismus der *Klasse-4-Metaphysik*, wie er in Pkt. 5.1 hervorgehoben wurde. Auf dieser Leibniz-Whiteheadschen Grundlage ist mit Pkt. 8.4 im Zuge des weiteren Forschungsbedarfs ein neuer TLO-Neuentwurf zu konzipieren, der mit der Ontologiearchitektur von CYPO FOX als *integrierter metaphysischer Wissensontologie* konform geht. Diese bildet dann die oberste Referenzbasis aller W1-, W2-, W3- und W4-Ontologien, die sich insgesamt im Zuge der integrierten Ontologiekonzeption zusammenfügen. Diese ist als Grundvoraussetzung für umfassend intelligente CPSS wie für eine IoX-basierte vollumfängliche semantische Interoperabilität zu werten.

Wenn in Pkt. 3.5 deutlich wurde, wie unterschiedlich diese vier Welten sind, steht außer Frage, von welcher Dimension die Integrationsleistung ist, die durch eine *Top-level Ontologie* als "*common formal framework*" zu erbringen ist. Insofern setzt CYPO FOX eine offene und flexible Top-level Ontologie voraus; im Folgenden wird sich bei der Diskussion der meta-ontologischen Kriterien jedoch zeigen, dass sämtliche bisherigen TLO-Ansätze als *Monoweltenontologien* zu eng konzipiert sind. Das gilt auch dann, wenn bereits erste Überlegungen in Richtung der *Multiweltenontologie* gehen, insbesondere bei der GFO-

⁴¹⁹⁶ Mit Ingarden (1974: 140) verkörpert dabei jede *Welt* ein einheitliches System höchster Stufe.

TLO. Allerdings werden diese ersten Ansätze im Hinblick auf den Ratio-Empirismus, die metaphysische Stringenz, die kausale Welteninterdependenz, das abgestufte integrierte Realitätsverständnis, die damit nicht gegebene CPSS-Adäquanz, die fehlende TLO-EO-Verkopplung oder etwa in Bezug auf die Abgrenzung genuiner Ontologiemodi samt Submodi der mit dem CPST-Hyperspace erforderlichen *Vier-Welten-Ontologie* nicht gerecht. Insofern wird deutlich, dass auch vergleichsweise geeignete TLO-Ansätze letztlich nicht zu überzeugen vermögen, womit die Notwendigkeit eines architektonischen TLO-Neuentwurfs außer Zweifel steht. Dabei lässt ein CYPO-konformer TLO-Ansatz die für eine CPSS-adäquate Ontologie erforderlichen W1-, W2-, W3- und W4-Ontologien einzeln wie integrativ zu. Der philosophische Ontologiegedanke lässt sich mit Pkt. 3.1 in verschiedener Hinsicht verstehen, etwa unter Existenzgesichtspunkten oder vor allem auch im Hinblick auf das Kriterium der Universalontologie. Beide Kriterien sind wiederum in disparater Weise auslegbar, nämlich etwa im Sinne der klassischen Systematik nach Wolff (1730), im analytischen Sinne oder aber im Whitehead-Popperschen Sinne. Letzterer kommt Leibnizens Gedanken der *Vielheit in der Einheit* am nächsten. Von welcher Qualität die TLO-Theorieanwärter tatsächlich sind, zeigt sich weder auf der klassisch-metaphysischen Grundlage Wolffs (1730) noch auf jener der analytischen Ontologie resp. Metaphysik. Es zeigt sich erst auf der Whitehead-Popperschen Basis bzw. im Kontext der in Pkt. 7.2 erörterten fünfzig Requirements IoX-konformer Top-level Ontologien. Erst vor diesem Hintergrund ist evaluierbar, inwieweit die einzelnen TLO-Theorieanwärter dem TLO-Kerngedanken der Universalontologie *de facto* zu entsprechen vermögen.

Universalontologie im Whitehead-Popperschen Sinne impliziert, dass die Ontologie tatsächlich gleichzeitig den universalen Zugang zu allen vier Welten der in Pkt. 3.5 umrissenen *Vier-Welten-Ontologie* verschafft. In der *wissenschaftlichen* Philosophie, die für die Zwecke der TLO-Fundierung allein in Frage kommt, steht die *Universalontologie* immer im Wechselspiel mit den *regionalen Ontologien*. In der AI-Wissensrepräsentation ist es natürlich nicht anders. In beiden Sphären hat die *Universalontologie* den Anspruch zu erfüllen mit den regionalen Ontologien zu korrespondieren. In beiden Sphären kann man überdies noch weiter gehen und muss es auch tun, indem die Universalontologie dem Anspruch gerecht zu werden hat als Referenzbasis der regionalen Ontologien zu fungieren. Die *Top-level Ontologie* ist ohne Zweifel als *Universalontologie* zu konzipieren, indem sie für sämtliche Zwecke der Informatik die oberste Referenzebene markiert. In einem cyberphysischen Ontologieverständnis, das notwendig realweltliche Systeme in ihrer Kombination mit Cyberwelten adressiert, erweisen sich die regionalen Ontologiesphären bzw. Domänen entsprechend als äußerst heterogen. Das gilt vor allem dann, wenn das cyberphysische Ontologieverständnis im Zeichen der integrierten metaphysischen Wissensontologie des IMKO OCF steht. Dann wird deutlich: die *Top-level Ontologie* hat als Universalontologie *sämtliche Domänen* zu absorbieren; sie ist prinzipielle Referenzbasis sämtlicher realer wie auch aller virtueller Welten, und schließlich nicht zuletzt auch für deren

Kombination. Sie muss damit das kausale Wechselspiel von cyber- und physischer Sphäre bewerkstelligen können, worauf gegenwärtig kein einziger TLO-Ansatz systematisch angelegt ist. Sie muss gleichzeitig den Zugang zu sämtlichen Domänen aller Praxis, aller Technologie und aller Wissenschaft – einschließlich von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* – eröffnen können. Wie sollte Ontologie in komplexen Anwendungs- und Integrationsszenarien wie dem U-PLM-Referenzszenario auch anders vollziehbar sein?

Die im Folgenden behandelten meta-ontologischen Kriterien haben mit alledem in elementarer Weise zu tun. Denn eine Synthese der gänzlich disparaten TLO-Ansätze scheitert neben den disparaten Kategoriensystemen vor allem an der Inkompatibilität dieser meta-ontologischen Kriterien. Anders gewendet resultieren die fundamental widersprüchlichen Ontologiekonzepte gerade aus dieser Spezifizierung meta-ontologischer Kriterien resp. den damit zusammenhängenden Top-level Ontologien. Entsprechend ist evident, dass man nicht nur die Auseinandersetzung mit den disparaten Kategoriensystemen suchen muss, sondern genauso mit diesen meta-ontologischen Kriterien, die kompatibel zu machen sind. Zweifellos ist es richtig, dass man letztlich nicht auf die eine oder andere "*Entweder-oder-Entscheidung*" verzichten kann. Doch sind diese völlig anders zu treffen als bisher. Zum einen, indem man sie mit Pkt. 7.1 in den Kontext eines universalen *Requirements Engineering* stellt. Zum anderen, indem man sie auf spezifische Welttypen bezieht; dadurch wird das "*Entweder-oder*" zum "*Sowohl-als-auch*", wie es anhand der diversen Widersprüche in den folgenden Kapiteln deutlich wird.

Bisher galt: Stellte man die Frage, welcher der *bessere* TLO-Ansatz ist, konnte die Antwort nur lauten: *es kommt darauf an*. Das heißt, diese Frage war anhand eines spezifisch engen Anwendungs- bzw. Integrationsszenarios zu entscheiden.⁴¹⁹⁷ Es kam bisher also immer auf den einzelnen Einsatzzweck, den konkreten Anwendungskontext an, anhand dessen man bisher nur darüber entscheiden konnte, welcher der *bessere* TLO-Theorieanwärter ist: Hier die wissenschaftliche OBO-Foundry, dort die technologische SSN-Ontologie usw., die jeweils nach TLO-Referenz verlangen. Will man bspw. im AI-Kontext mit *möglichen Welten* operieren, muss man auch einen TLO-Ansatz voraussetzen, der dies zulässt, was bei einigen TLO-Ansätzen nicht der Fall ist. Will man demgegenüber bspw. im erfahrungswissenschaftlichen Kontext solche möglichen Welten und Kontrafaktisches zur Sicherstellung empirisch wahrer Zusammenhänge gerade bewusst ausschließen, so muss es auch der TLO-Ansatz tun. Insofern lässt sich mit Blick auf genau diese Aspekte evaluieren, welcher der TLO-Theorieanwärter insgesamt der geeignetste ist. Doch eine solche Praxis kann für die Belange der Informatik insgesamt kaum wegweisend sein. Denn im Umkehrschluss bedeutet bereits die Kombination beider vorgenannter Beispiele, dass sie sich nicht gleichzeitig einlösen lassen. Dann aber ist die *Top-level Ontologie* auch nicht tatsächlich *Universalontologie*, was sie ihrem Wesen nach jedoch sein muss. Die Frage, *welcher* der TLO-Theorieanwärter der *bessere* ist, verlagert sich damit notwendig auf eine

⁴¹⁹⁷ Etwa bei Oberle (2006) im Kontext von *Middleware*.

höhere Beurteilungsebene: sie lässt sich nicht an der Disposition einzelner meta-ontologischer Kriterien festmachen, sondern allein daran, welcher der TLO-Theorieanwörter *de facto* der *Universalontologie* am nächsten kommt. Entsprechend ist auch das im siebten Teil vollzogene *Requirements Engineering* mit Pkt. 7.1 zu universalisieren.

Die Zukunft der Informatik, wie sie sich im IoX-Kontext abzeichnet, ist eine andere; sie macht die Koexistenz inkommensurabler TLO-Ansätze inakzeptabel. Denn Ontologien finden Anwendung in *Multikontexten*, wie sie mit der cyber-physischen Problematik der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Sinne des *U-PLM-Referenzszenarios* nachvollziehbar werden. Sie fordern im Sinne von Haeckels (1995, 1999) *Adaptive Enterprise Design* als *Sense-and-Respond Model* die völlige Vernetzung, die komplette semantische Durchgängigkeit wie die *ad hoc* Verschaltung der unterschiedlichsten Ontologien. Es geht also um vollumfängliche semantische Interoperabilität und nicht um metaphysische bzw. semantische Insellösungen, die durch die Koexistenz inkommensurabler Top-level Ontologien verursacht werden. Sie fordern vor allem den CM-Entwurf und seine Transformation in die AI-Sphäre auf Basis der *gleichen* Top-level Ontologie. Für das eine etwa BWW, für das andere etwa DOLCE heranzuziehen, kann bei integrierten Systemen wenig zweckmäßig sein. Komplexe CPS-Szenarien illustrieren dies genauso wie komplexe industrielle Produktlebenszyklen, die – wie in Abb. 1 dargestellt – von der Produktentstehung über die Fertigung, den praktischen Einsatz des Produkts bzw. Services und seiner Wartung bis hin zum Recycling reichen. Analoges offenbaren Innovationsprozesse, die wissenschaftliche, technologische und praktische Ontologien kombinieren. Dabei muss die Ontologie in bestimmten Phasen etwa mögliche Welten zulassen, in anderen Phasen aber ausschließen; analoges gilt mit Blick auf die Unterscheidung *wissenschaftlicher* und *technologischer* Domänenontologien sowie Methoden- bzw. Aufgabenontologien für bestimmte Ontologiearten. Die Ontologie muss mit dem IoX-Hyperspace in der Produktionsphase CPPS-Entitäten der *Smart Factory* genauso einbeziehen wie etwa jene PEID-basierter CPS in der Nutzungsphase. Gilt es solche Ontologien im Zuge der *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu integrieren, setzt das eine *einheitliche* Ontologiekonzeption voraus. Dabei besteht in dieser *transdisziplinären Integration* von Ontologien gerade eine vornehmliche Aufgabe der *Top-level Ontologie*. Natürlich steht außer Frage, dass die industrielle Praxis von solchen Architekturen im Allgemeinen noch entfernt ist. Das ändert jedoch nichts an dem Umstand, dass eine moderne cyber-physische Ontologiekonzeption genau in diesem Sinne zu verstehen und zu entwickeln ist.

6.2.1 Ubiquitous Complex Event Processing (U-CEP) via CYPO OCEP

»You probably think that every twenty-first-century enterprise uses events and event processing in its business operations. That would seem obvious, given our information-driven world, which is inundated with sources of events from just about everywhere. But you would be wrong!«

— David C. Luckham (2012: 1)

Klassische Ontologen können die Existenz *Cyber-physischer Systeme* (CPS) mitsamt ihrer kausal-systemischen Aspekte ontologisch genauso wenig negieren wie insgesamt technowissenschaftliche Zusammenhänge. Anders gewendet kann in *universalen* Ontologien, die nicht die Korrespondenz zu *regionalen* Ontologien suchen bzw. erfüllen, kein sinnvolles Unterfangen bestehen. Denn dieser Universalitätsanspruch ist faktisch nur dann einlösbar, wenn diese Korrespondenz besteht. Mit Whitehead (1929a) ist die Zeit für ein neues Ontologieverständnis gekommen, wie es bereits mit der *Neuen Ontologie* intendiert ist. Die *universale* Ontologie ist ihrer Natur nach eins, es gibt also nur *eine* integrierte Ontologie, die den Referenzpunkt für sämtliche Disziplinen bzw. regionalen Ontologien bilden können muss. Mit Blick auf die *Semantic E-Science* wie auf kombinierte Informations- und Wissenssysteme werden diese regionalen Ontologien wissensontologisch in Form von Domänenontologien (DO), partiell auch in Form von Methoden- (MO) bzw. Aufgabenontologien (TO) repräsentiert. Indem sich jede klassische Ontologiekonzeption gerade an dem Zusammenspiel von universaler und regionaler Ontologie bewähren können muss, läuft bereits damit die klassische Ontologie als formale Ontologie auf das in Pkt. 3.3.1 behandelte Zusammenspiel von *Top-level Ontologie* (TLO) und nachgeordneten Ontologiearten hinaus. Gewiss gibt es mehrere Theorieanwärter für diese eine universale Ontologie, doch lässt sich deren Superiorität bzw. Inferiorität im Sinne Poppers (1979) unter objektiven Gesichtspunkten rational bzw. ratio-empirisch klären. Nicht nur im AI-Kontext, sondern auch generell kann die Einheit aller regionalen Ontologien nur eine *ontologische* Einheit sein. Da diese im transdisziplinären Sinne allein kategorial zu realisieren ist, setzt diese ontologische Einheit eine techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik voraus.

Ziel klassischer Ontologien, wie sie etwa E.J. Lowe, Bunge, D.K. Lewis, Rescher, W. Sellars, Seibt, M. Heller oder Sider vorgelegt haben, ist letztlich die Realisierung eines "*general world view*" mit dem sich alle Sachverhalte erfassen bzw. repräsentieren lassen. Alle genannten klassischen Ontologen machen sich dieses Unterfangen insofern einfach, als sie dabei allein auf menschliche Erkenntnisprozesse zielen, die im philosophischen Zusammenhang einen weiten Spielraum belassen. Diese Spielräume sind bezeichnend und für die Ontologieforschung letztlich nicht förderlich. Die bisherige Forschung hat unter dem Strich nicht das gebracht, was an sich im Sinne von Minsky (1997) bzw. Sloman/Scheutz (2002) möglich ist, nämlich im Kontext einer komparativen Analyse verschiedener Agentenklassen. Die heutige Ontologieforschung ist mehr oder minder geprägt durch ein Nebeneinander verschiedenster Ontologieansätze, die kaum die Konfrontation suchen. Indessen gibt es nur eine universale Ontologie im oben umrissenen Sinne, und diese hat selbst-

verständlich auch die Informatik als Feld zu umfassen. Mit der Ontologie der Informatik eröffnen sich für die Ontologieforschung neue Perspektiven. Ontologie als universale Ontologie kann gewiss nicht mehr allein auf menschliche Erkenntnisprozesse zielen. Indem die Epistemologie genauso wie die Ontologie unter dem Regime der Metaphysik als *Erster Philosophie* steht, hat auch diese dem Universalitätsanspruch der Metaphysik zu entsprechen. D.h., dass sich die Ontologie als solche nicht mehr allein an menschlichen Erkenntnisprozessen orientieren kann. Vielmehr ist mit Neumann zu postulieren, dass sie alle relevanten Automatenklassen berücksichtigt, und das sind insbesondere auch *Computer als "Reality Machines"*. Im Sinne McCarthys ist damit einzufordern, dass der "*general world view*" ebenso die Anforderungen von *Computern als "Reality Machines"* erfüllen können muss. Alle Automaten im Universum sind emergenter Natur; für ihren ontologischen Status ist es dabei unerheblich, welcher Automat sich wann herausgebildet hat.

Die Ontologieforschung ist gut beraten, sich der CPS-Herausforderung zu stellen und die epistemologischen Zwecke von *Computern als "Reality Machines"* zu berücksichtigen. Einschließlich der in Pkt. 6.3 behandelten Aspekte der Superintelligenz bringen diese einen besonderen Erkenntnisfortschritt, indem mit solchen "*Reality Machines*" alle bisherigen ontologischen bzw. metaphysischen Positionen auf den Prüfstand gehören. Ontologie ist, wie in Pkt. 4.1 ff. bzw. Pkt. 6.1 ff. herausgearbeitet, ohne Metaphysik undenkbar. Die Aspekte der Superintelligenz lassen sich dabei allein auf Basis einer techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik erörtern, die zugleich Computer- bzw. Digitalmetaphysik ist. Für die in Pkt. 3.5 umrissene Ontologiearchitektur CYPO FOX ist dieses integrierte Ontologieverständnis, das auf alle organismischen Automatenklassen wie auf Superintelligenz ausgelegt ist, charakteristisch. Es ist da anzusetzen, wo bisherige philosophische wie AI-Ontologiekonzeptionen aufhören, nämlich bei der anspruchsvollsten Automatenklasse, den *Computern als "Reality Machines"*. Diese künstlichen Erkenntnismaschinen sind nunmehr genauso "in der Welt" und "Teil" der Welt wie ihre natürlichen Pendanten. Ontologie ist gute Ontologie, wenn der "*general world view*" für alle Automatenklassen verstehbar bzw. verwendbar ist. Neben dem neuen Ontologie- und Epistemologieverständnis, das in die Philosophie Einzug halten sollte, muss jedoch auch die Informatik umdenken. Denn mit Verweis auf Pkt. 3.4 interagieren Computersysteme in CPS-Kontexten mit *physischen Prozessen*, mit der Realität. "*Reality Machines*" stehen in "*nontoy worlds*" bzw. "*real lifeworlds*"; insofern sind sie in ihrer Interaktion mit realen Systemen *im kausalen Sinne* Teil der Realität. Wenn sie im kausalen Sinne existieren, sind sie in einer zeitgemäßen Ontologie auch ontologisch zu berücksichtigen, womit der oben skizzierte ontologische Neuanfang für die philosophische Ontologie zu postulieren ist. Indem die ontologische Synthese mit Verweis auf Pkt. 3.3 beide Seiten erfordert, müssen auch die klassischen AI-Ontologen, die bisher an einfachen *Belief Systems* festhalten, umschwenken. Das gilt umso mehr, als auch für diese Disziplin seit langem alles andere als einheitliche Auffassungen zur Ontologie charakteristisch sind:

»Is there one AI or are there many? A dramatic shift in the tone of discussion about artificial intelligence has brought about a suddenly increased awareness of the presence of divergent ways of thinking in what has generally been presented as a unified field. [...] The field of artificial intelligence is currently divided into what seem to be several competing paradigms.«⁴¹⁹⁸

Ein sachgerechtes CPSS-adäquates AI-Verständnis läuft auf *Cyber-Physical Intelligence* hinaus.⁴¹⁹⁹ Damit zielt CYPO FOX auf ein *realitätsbezogenes* AI-Verständnis (RAI). Mit dem CYPO RAI-Konzept ist *Ontologie* zwangsläufig im Sinne einer rigoros *integrierten metaphysischen Wissensontologie* zu verstehen, die wiederum eine *Korrespondenz fundamentaler Weltstrukturen und Wissensstrukturen* impliziert. Indem physische Systeme in der *realen Welt* verteilt sind, bilden CPS im Allgemeinen *verteilte Systeme*,⁴²⁰⁰ die als *Netzwerke interagierender Elemente* zu verstehen sind.⁴²⁰¹ Analoges gilt insofern, als CPS in der Regel als *Multiagentensysteme* (MAS) aufzufassen sind. MAS offenbaren unter Maßgabe des *Cooperative Distributed Problem Solving* (CDPS) im Zeichen des mit Pkt. 6.3 als Problemlösungskompetenz auszulegenden AI-Intelligenzverständnis, »how a loosely-coupled network of problem solvers can work together to solve problems that are beyond their individual capabilities«.⁴²⁰² Mit der Interaktion der Teilsysteme resp. Agenten laufen CPS bzw. MAS unmittelbar auf die in Pkt. 4.3 behandelte *Theorie komplexer Systeme* mit verschiedenen relevanten Ansätzen, insbesondere *Complex Adaptive Systems* (CAS) hinaus.⁴²⁰³ MAS führen aus dem Grunde regelmäßig unweigerlich zur CAS-Relevanz (et v.v.), weil es bei ihnen um die Interaktion von *Adaptive Agents* geht.⁴²⁰⁴ Die besondere Relevanz von CAS und MAS für die AI-Tradition begründet sich dadurch, dass es mit Hofstadter (1979) möglich ist, intelligentes Verhalten zu programmieren. Diese Konstellation von CPS, MAS und CAS ist nicht zuletzt für die *Smart Factory* konstituierend,⁴²⁰⁵ genauso wie es damit zusammenhängend für U-PLM-Systeme, speziell etwa in den BOL-Phasen im Zuge der Produktentwicklung,⁴²⁰⁶ aber auch in den MOL-Phasen via PEID-Technologien der Fall ist.⁴²⁰⁷ Teils wird dabei auf spezifischen Ansätzen wie *zellulären Automaten* aufgebaut.⁴²⁰⁸

Auch klassische Ontologien sind vor dem Hintergrund der AI-Einsichten zu reflektieren. Wenn mit Pkt. 3.3 in fundamentaler Hinsicht *AI als Philosophie* zu verstehen ist, gilt umgekehrt, dass in allen ontologischen, epistemologischen und methodologischen Fragen letztlich alles unscharf bleibt, ohne dass diese philosophischen Sphären *als AI* praktiziert werden. Damit bleibt nach wie vor der Spielraum, in dem sich die Spezifika menschlicher Subjekte als gesonderter Automatenklasse erörtern lassen. Mit anderen Worten wird damit

⁴¹⁹⁸ Papert (1988: 1 f.).

⁴¹⁹⁹ Vgl. Ramos et al. (2011).

⁴²⁰⁰ Vgl. hierzu Tanenbaum/Van Steen (2014).

⁴²⁰¹ Vgl. etwa Ramos et al. (2011).

⁴²⁰² Vgl. Durfee et al. (1989: 63).

⁴²⁰³ Vgl. Ma/Ni/Xu (2005), He et al. (2006), Rzevski (2012), Long/Li (2014) sowie O'Toole et al. (2014).

⁴²⁰⁴ Vgl. Holland/Miller (1991), Capera et al. (2003) sowie Ren et al. (2008).

⁴²⁰⁵ Vgl. etwa He et al. (2006), D. Wang/Chen et al. (2009) sowie Qu/Jian et al. (2014).

⁴²⁰⁶ Vgl. etwa Li/Liu et al. (2005) sowie Kaddoum/Georgé (2012).

⁴²⁰⁷ Vgl. etwa T. Yu et al. (2009), Boulaalam et al. (2011, 2013) sowie Monticolo et al. (2012).

⁴²⁰⁸ Vgl. etwa Massotte (1995).

nichts aufgegeben, sondern vielmehr die notwendige Orientierung gegeben. Dass diese für klassische Ontologien notwendig ist, steht mit Verweis auf die philosophischen Ansätze im fünften Teil genauso außer Frage wie mit den verschiedensten Entwürfen von Kategoriensystemen in Pkt. 6.1.3. Bisher ist unklar, welches der gänzlich disparaten Kategoriensysteme oder welcher der vollkommen heterogen konzipierten philosophischen Ansätze tatsächlich der Realität am nächsten kommt und was unter dieser zu verstehen ist. In den meisten Fällen ist dies allein schon deshalb unmöglich, als sich die Ansätze *ex definitione* gegenüber techno-wissenschaftlichen Argumenten immunisieren bzw. als reine *a priori* Konzeptionen – jenseits logischer Inkonsistenz – infallibel sind. Entsprechend ist ein Erkenntnisfortschritt in dieser Sache kaum möglich, womit im Sinne der Metaphysikkritik Kants alle Metaphysikkonzeptionen unterhalb der universalen ratio-empirischen Klasse-4-Metaphysik zurückzuweisen sind.

CPS laufen in ihrer W1-Einbettung im RAI-Sinne auf B. Smithens (1998a) objektivistische *R-ontology* (referent- or reality-based ontology) hinaus; die kognitiv bzw. epistemisch befähigten Agenten besitzen jedoch ihr eigenes, subjektivistisches *Belief System*; sie besitzen eine eigene Agentenwelt und damit ihre *E-ontology* (elicited or epistemological ontology). Das lässt sich entsprechend an der Smart Factory im U-PLM-Zyklus verdeutlichen, indem in intelligenten Produktionssystemen die unterschiedlichsten Typen von Agenten beteiligt sind: vom R&D Agent über den Design Agent, den Performance Monitoring Agent, Material Management Agent, Quality Agent, Manufacturing Agent, Planning Agent, SCM Agent, Material Transportation Agent, Supply Agent, Supplier Evaluation Agent bis hin zum Purchasing Agent.⁴²⁰⁹ Wie in herkömmlichen Enterprise-Systemen besitzen solche Agenten spezifische Sichtweisen, die mit ihren jeweiligen Teilsystemen zusammenhängen. Demgegenüber fallen jedoch Methoden- (MO) bzw. Aufgabenontologien (TO) weder unter die R-ontology noch unter die E-ontology; insofern gibt es einen dritten Ontologietypus, jenen der W3-Ontologie der Technopraxis. Dabei handelt es sich um Artefakte, während MAS-Ontologien als vierter Ontologietypus über diese hinausgehen. Tatsächlich besitzen MAS einen eigenen Ontologietypus, der genauso wie der W1-Typus ein empirischer ist und sich bei der W4-Ontologie konkret auf die variable Struktur und das Verhalten von Agenten in komplexen Systemen bezieht. Entsprechend läuft die kombinatorische Konstellation von CPS, MAS und CAS nicht nur an sich immer auf *Ontologien* hinaus,⁴²¹⁰ sondern legt letztlich eine *Vier-Welten-Ontologie* wie CYPO FOX nahe. Als integrierte Ontologiekonzeption bedarf diese jedoch nicht nur eines "*common formal framework*" bzw. eines "*ontological backbone*" in Form einer CPSS-adäquaten *Top-level Ontologie*, sondern auch eines einigenden methodologischen Prinzips, das in modernen Varianten der Automatentheorie bzw. der Komplexitätsforschung besteht. Indem "*Reality Machines*" bzw. CPS "in der Welt" sind, folgen daraus entsprechende Konsequenzen für

⁴²⁰⁹ Vgl. hierzu Oztemel/Tekez (2009a).

⁴²¹⁰ Vgl. etwa Mönch/Zimmermann (2008) sowie Cardon/Itmi (2009).

die Ontologiedebatte. Während dies in nicht zu unterschätzendem Umfang für die klassische philosophische Ontologie ohnehin gilt, sind hier die Implikationen für die AI-Ontologie herauszustellen: Wenn die AI-Ontologie faktisch durch linguistische Ontologiekonzepte wie das Grubersche (1993, 1995) beherrscht wird, die in ihrem fehlenden Realitätsbezug kaum für "*nontoy worlds*" bzw. "*real lifeworlds*" geeignet sind, zeigt sich, dass die Ontologiepraxis der Informatik auf tönernen Füßen steht.

Dass McCarthys "*general world view*" auf eine TLO-basierte universale Ontologiekonzeption hinauslaufen muss, steht außer Zweifel. Allerdings ändert dies nichts an der oben gemachten Feststellung, dass die Informatik heute nicht über die erforderlichen ontologischen Fundamente verfügt. Zwar gibt es eine Vielzahl an TLO-Theorieanwärtinnen, doch ist dies unerheblich insofern, als sie letztlich sämtlich das für Computer als "*Reality Machines*" zentrale Kriterium der CPSS/SEA-Adäquanz verfehlen. Indem in Pkt. 1.5.1, etwa mit Abb. 2 deutlich geworden ist, dass CPS in vielfältiger Form *Ubiquitous PLM-Systeme* erst konstituieren, ist die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* nur als integrierter Totalentwurf zu realisieren, der über inkompatibles ontologisches Stückwerk hinausgehen muss. Neben dem Stückwerkproblem, das dem Ziel der *Smart Enterprise Integration* (SEI) entgegensteht, sind nicht nur die TLO-Ansätze, sondern insgesamt das heutige Ontologieverständnis wie die gegenwärtigen Ontologiekonzepte CPSS-inadäquat. Die Ursache dafür liegt mit Verweis auf Pkt. 4.1 in einem verfehlten Metaphysikverständnis, das weder der physischen Welt noch der Cyberwelt gerecht wird, und vor allem die cyber-physische Integration der Welten nicht schafft. Doch genau das ist für die Informatik in universaler Hinsicht erforderlich; genau das verlangt letztlich McCarthys Postulat nach einem neuen "*general world view*" der Disziplin. Mit Ausnahme der Sowa-TLO basieren alle TLO-Ansätze auf einem falschen Metaphysikverständnis; jedoch wird dieses auch bei Sowa (2000) nicht in der erforderlichen Weise entwickelt. Der gegenwärtige Stand der TLO-Debatte, die sich durch die Koexistenz gänzlich inkommensurabler TLO-Theorieanwärtinnen charakterisiert zeigt, unterstreicht vielmehr die Ausgangsthese, dass eine vollumfängliche semantische Interoperabilität in IoX-Umgebungen allein schon aufgrund der großen Konfusion in der Ontologiedebatte nicht realisierbar ist: Wenn bereits das Ontologieverständnis grundsätzlich inkompatibel ist, lässt sich auch keine semantische Interoperabilität herstellen. Die Problematik ist also nicht in etwaigen technischen Details als vielmehr in den metaphysischen Grundlagen gegeben. Will die Informatik in der ontologischen Revolution reüssieren, muss sie der Frage nachgehen, ob ein ontologischer "Gold Standard" möglich ist und wie sich dieser Schritt für Schritt realisieren lässt. Natürlich kommt sie dabei nicht um die hier geführte Metaphysikdebatte umhin. Sie wird sich dazu ihrer Ursprünge besinnen müssen; sie muss in fundamentaler Sache zurück zu Leibniz, zu Boole, und schließlich zu Whitehead. Denn die vier Typen von Ontologien, die vier Welten, die die Informatik benötigt, sind mit Blick auf ihre Integrationsbelange allein auf Basis einer vereinheitlichenden Computer- bzw. Digitalmetaphysik zu bewerkstelligen. Mit anderen Worten ist

McCarthys Forderung nach einem "*general world view*" nicht ohne eine solche Computer- bzw. Digitalmetaphysik einzulösen. Bei *Computern als "Reality Machines"* ist evident, dass es sich mit H.A. Simon (1969, 1995a) um eine techno-wissenschaftliche Metaphysik handeln muss, deren ratio-empirischer Mittler im Sinne von H.A. Simon (1962), J. Holland (1962, 1987, 1992) et al. in den agentenbasierten *Complex Adaptive Systems* (CAS) der Komplexitätsforschung zu suchen ist.

Dass die Ontologie in Philosophie wie Informatik um *Cyber-physische Systeme* (CPS) zu zentrieren ist, steht außer Frage, indem diese mindestens in kausaler Hinsicht mit zur Realität gehören. Insofern sie kausal existent sind, fallen sie notwendig mit unter die Ontologie. Dabei besitzen *Cyber-physische Systeme* (CPS) insofern eine ontologische Herausforderung, indem der Systemgedanke jeder Dichotomie entgegensteht. Es lässt sich auch nicht mehr zwischen interner und externer Metaphysik differenzieren, wenn die Sensorik nach den gleichen Prinzipien funktioniert: physische Sensoren und Aktoren basieren im Kern auf den gleichen Prinzipien wie virtuelle Sensoren und Aktoren. Entsprechend lässt sich auch das auf Luckham (2002) zurückgehende *Complex Event Processing* (CEP) einheitlich auf die physische wie die virtuelle Sphäre anwenden.⁴²¹¹ Zwar hat sich das *Complex Event Processing* (CEP), das nur *in der Bezeichnung* auf Luckham (2002) bzw. Luckham/Frasca (1998) zurückgeht, jedoch in seinen Inhalten eigentlich im Zusammenhang mit den AI-Ursprüngen zu sehen ist,⁴²¹² mittlerweile zu einem für alle Bereiche der Informatik bedeutenden Forschungs- und Anwendungsbereich entwickelt.⁴²¹³ Besonders gilt diese CEP-Relevanz jedoch mit Blick auf die *Prozessintelligenz* (EDBPM) sowie auf das *Internet der Dinge und Dienste* (IoTS). Das *Complex Event Processing* (CEP) steht – wie seine Bezeichnung vermuten lässt – *de facto* in gleich vierfacher Hinsicht in der in Pkt. 4.3 behandelten Tradition der Komplexitätsforschung. Erstens insofern, als es sich mit *Komplexität* als solcher auseinandersetzt und wiederum gleichzeitig Einsatz in komplexen Systemen findet, insbesondere in IoX-basierten Cyber-physischen Systemen. CEP-basierte Systeme behandeln Ereignisse als *komplexe Ereignisse* (CE), die sich wiederum aus *einfachen Ereignissen* (PE) zusammensetzen.⁴²¹⁴ Zweitens insofern, als *adaptiver Wandel* im Zeichen der *Complex Adaptive Systems* (CAS) verstanden wird. Das gilt insofern, als *Ereignisse* zentral sind, indem dieser Wandel *ereigniszentrisch* zu verstehen ist. Drittens steht im Sinne des "*Processing*" nicht nur der AI-Verarbeitungsgesichtspunkt an sich, sondern damit zusammenhängend auch der Gedanke des *Event Streams* im Vordergrund. Indem es um eine metaphysische Welt beständiger *Event Streams* geht, führt die metaphysische Frage nach den fundamentalen Strukturen der Welten, insbesondere der Realität als ganzer,

⁴²¹¹ Vgl. hierzu auch Luckham (2012).

⁴²¹² Hier ist nicht nur auf die *ereigniszentrierten* AI-Ursprünge zu verweisen, sondern auch auf moderne Arbeiten vor Luckham (2002), die zwar nicht unter der CEP-Bezeichnung stehen, jedoch CEP-Inhalte zum Gegenstand haben; vgl. exemplarisch Altinel/Franklin (2000).

⁴²¹³ Vgl. Luckham (2002, 2007a, 2008, 2012), Chandy/Schulte (2010), Etzion (2010), Etzion/Niblett (2011) sowie Luckham/Schulte (2013).

⁴²¹⁴ Vgl. etwa F. Wang et al. (2006) sowie Liu/Zhang/Wang (2012).

zur Prozessmetaphysik, die mit Poser (2005, 2006) als metaphysisches Fundament der Komplexitätsforschung zu erachten ist. Viertens ist dieser CEP-Bezug zur Komplexitätsforschung dann offensichtlich, wenn sich zeigt, dass das *Complex Event Processing* (CEP) sich auf alle Formen der *Automatentheorie* und darauf gründende erweiterte Ansätze stützt. Hierzu gehören deterministische Endliche Automaten (DFA; FSA bzw. FSM),⁴²¹⁵ nichtdeterministische Endliche Automaten (NFA),⁴²¹⁶ Timed Automata (TA) bzw. Event-Clock Automata (ECA). Darüber hinaus bestehen auch Überlegungen für ein *Probabilistic Complex Event Processing* (PCEP),⁴²¹⁷ sowie zur Berücksichtigung von Unsicherheit in Ereignissen und Regeln (CEP2U).⁴²¹⁸ Darüber hinaus wird es mit adaptiven *Rule Engines* möglich, Regeln push-basiert bzw. ereignisbezogen *runtime* zu modifizieren.⁴²¹⁹

Das CEP besitzt mit Blick auf die Kognition bzw. Sensorik und die Adaption insgesamt zentralen ontologischen Stellenwert. Dabei ist zu beachten, dass der CEP-Gedanke wiederum insofern unmittelbar auf den MAS-Aspekt hinausläuft, indem er mit seinen *Event Processing Agents* (EPA) unmittelbar im *Agent Computational Environment* (ACE) steht.⁴²²⁰ Es wird somit ersichtlich, dass es sich um ein zusammenhängendes Paradigma zur *Smart Enterprise Integration* (SEI) handelt, das gerade mit diesem SEI-Aspekt konzeptionell eine engste Verzahnung erfordert. Der IoX-Hyperspace bzw. CPS-Kontexte bewegen sich in *Event Streams*, womit eine generelle ontologische *Ereignis-* und damit *Prozessorientierung* zu fordern ist.⁴²²¹ Indem diese Systeme kausal "in der Welt" sind, kommt auch der klassische Ontologe nicht umhin, hierauf eine ontologische Antwort zu finden. In fundamentaler Hinsicht sind diese Antworten bei Whitehead zu suchen. Entsprechend findet sich auch die prozessmetaphysische Fundierung des CEP-Ansatzes bereits bei Whitehead (1919: 68), etwa wenn dieser feststellt: »Perception is an awareness of events [...] forming a partially discerned complex«. Dabei wird schon in Whiteheads logico-mathematischer Perspektive alles Geschehen als *Event Streams* konzipiert, womit es schließlich dieser Ansatz ist, der als Computer- bzw. Digitalmetaphysik für die Informatik insgesamt konstituierend ist:

»[N]ature, as we know it, is a continuous stream of happening immediately present and partly dissected by our perceptual awareness into separated events with diverse qualities.«⁴²²²

Richtig verstanden ist die *Cyber-Physical Intelligence* erst dann, wenn sich die AI-Konzeption mitsamt ereigniszentrierter AI-Ontologie gleichzeitig auf die *reale* wie auf *virtuelle Welten* erstrecken kann.⁴²²³ Dabei ist vor allem die Interaktion dieser Welten wesentlich, indem im kausalen Sinne wie im Transformationssinne unmittelbare Übergänge bestehen.

⁴²¹⁵ Vgl. etwa Altinel/Franklin (2000).

⁴²¹⁶ Vgl. etwa Diao et al. (2003), Saleh (2013) sowie J. Wang et al. (2014).

⁴²¹⁷ Vgl. etwa Govindasamy/Thambidurai (2013) sowie Y. Wang/Cao/Zhang (2013).

⁴²¹⁸ Vgl. Cugola et al. (2015).

⁴²¹⁹ Vgl. Bhargavi et al. (2013).

⁴²²⁰ Vgl. etwa De Castro Alves (2010) sowie Costantini (2015).

⁴²²¹ Vgl. exemplarisch Kiselev/Alhajj (2008).

⁴²²² Whitehead (1919: 69).

⁴²²³ Vgl. auch Rzevski (2012).

Auch der klassische Ontologe muss sich diesen Übergängen stellen, indem mit 3D-Druck etwa aus Form *geformte Materie*, oder aus dieser via 3D-Scannern unvermittelt konservierbare Form wird. Wenn CPS ontisch "in der Welt" sind, impliziert dieser Tatbestand eine Flut ontologischer Implikationen: zu fordern ist etwa ein universales Entitätsverständnis, das auf Komplexität abstellt, womit es um *komplexe Entitäten* geht. Genauso wird mit Pkt. 6.2.5 der lange Widerstreit um die 3D- vs. 4D-Weltauffassung auf ihrer Basis entscheidbar, und es sind neben den erwähnten *Event Streams* Aspekte vorzusetzen, die heute noch für die wenigsten Ontologen selbstverständlich sind: Evolution, Emergenz, Selbstorganisation und dergleichen mehr. Indem die Konsistenz dieser und anderer ontologischer Aspekte einzufordern ist, lässt sich ein konsistentes ontologisches Paradigma, das mit Pkt. 3.5 im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* zu verstehen ist, allein auf Basis einer zweckmäßigen Metaphysik errichten. Denn diese ist nicht nur mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 notwendig *kategorial* zu veranlassen, sondern erfordert genauso eine Referenzbasis für sämtliche meta-ontologischen Kriterien. Beides wird auf Basis des Substanzparadigmas völlig anders bestimmt als auf Basis des Prozessparadigmas. Indem mit Pkt. 4.1 deutlich geworden ist, dass eine solche Grundlegung allein auf der Grundlage einer techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik begründet werden kann, ist damit eine ratio-empirische Prozessmetaphysik gesetzt. Indem auch Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* "in der Welt" und "Teil der Welt" ist, eröffnet seine Prozessmetaphysik damit eine CPSS-adäquate MAS-Perspektive.

Der CEP-Ansatz ist für sämtliche IoX-basierten Systeme maßgeblich,⁴²²⁴ angefangen von der *Smart Factory*, bei der er unter Produktionsgesichtspunkten Berücksichtigung findet,⁴²²⁵ bis hin zu sämtlichen IoX-basierten Prozessen.⁴²²⁶ Für das IoD ist er maßgeblich, indem das *Information Flow Processing* (IFP) zunächst von DBMS zu *Data Stream Management Systems* (DSMS) geführt hat.⁴²²⁷ Mit der damit verbleibenden,⁴²²⁸ auf SQL aufbauenden *Continuous Query Language* (CQL) mündet das IFP-Paradigma schließlich im CEP-Ansatz.⁴²²⁹ Demgegenüber resultiert der IoS-Zusammenhang aus der unmittelbaren Verknüpfung zwischen Ereigniserkennung und dem Aufruf distinkter Services (ED-SOA), während insbesondere über die Sensorik die direkte, elementare IoT-Verbindung ins Spiel gelangt. Auch die Verbindung zu allen Agentenklassen ist unmittelbar gegeben, indem IoA- oder IoP-Agenten nicht nur im Sinne des *IoX-Monitoring* auf CEP-Basis operieren, sondern Aktionen maschineller Agenten wie die "Click Streams" menschlicher Agenten ihrerseits wiederum eine Sequenz von Ereignissen bedeuten. Richtig verstanden ist es jedoch erst, wenn es auf das *Ubiquitous Computing* bezogen wird. Entsprechend ist das CEP

⁴²²⁴ Vgl. etwa Boubeta-Puig et al. (2014).

⁴²²⁵ Vgl. etwa Grauer et al. (2011b).

⁴²²⁶ Vgl. etwa Barros et al. (2007).

⁴²²⁷ Vgl. etwa Babcock et al. (2002).

⁴²²⁸ Vgl. Arasu et al. (2006); vgl. zu alternativen Ansätzen etwa J. Liu/Guan (2010).

⁴²²⁹ Vgl. etwa Margara/Cugola (2011) sowie Cugola/Margara (2012b).

immer universal als *Ubiquitous Complex Event Processing* (U-CEP) zu verstehen,⁴²³⁰ was schließlich mit dem *U-PLM-Referenzszenario* korrespondiert. Mit dem U-CEP wird zugleich der Gedanke des *Distributed Complex Event Processing* (DCEP) eröffnet. Demgemäß ist das CEP-Konzept mit Verweis auf das *Real-Time Enterprise* (RTE) im zweiten Teil immer in *Echtzeit* (RTE-CEP) auszulegen.⁴²³¹ Indem Cyber-physische Systeme (CPS) unmittelbar auf den CEP-Ansatz hinauslaufen wird deutlich,⁴²³² dass sie *ereigniszentrierte Systeme* bilden. Das zeigt sich nicht nur etwa an der *EPCIS Event Ontology*,⁴²³³ die in die CEP-Sphäre fällt, sondern auch am Umstand, dass das CEP auf dem *Event-Driven SOA* (ED-SOA) basiert, was *Complex Event Services* (CES) zur Konsequenz hat.⁴²³⁴ Cyber-physische Systeme (CPS) verlangen entsprechend eine *ereigniszentrierte Semantik* (Event-based Semantics), wie sie bereits erörtert wird.⁴²³⁵ Dabei steht außer Zweifel, dass diese Semantik keine linguistische Semantik sein kann, sondern eine spezifisch-ontologische, indem die Ontologie wiederum als *integrierte metaphysische Wissensontologie* zu verstehen ist. Allein auf dieser Basis ist das *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) richtig ausgelegt,⁴²³⁶ was nicht zuletzt dann nachvollziehbar wird, als auch das SCEP-Paradigma auf die *Top-level Ontologie* referenziert.⁴²³⁷ Mit Fiorini et al. (2013) geht es dabei um genau jenen Vorgang, der nicht nur das HLIF-*Procedere* verkörpert, sondern letztlich als Kern der ganzen Informatik zu sehen ist. Denn es betrifft in direkter Weise die Raffination ihres "Grundstoffs": der komplizierte Prozess, der aus Rohdaten *Informationen* macht und diese schließlich in Wissen transformiert. Fiorini et al. (2013) setzen dabei nicht nur im CEP-Sinne mit der Signalperzeption bzw. Signalinterpretation an *Sensor-Rohdaten* an, sondern behandeln die Strukturiertheit von Informationen bis zur Repräsentation von Domänenwissen im Kontext der *Top-level Ontologie*. Indem dabei mit DOLCE und UFO zwei TLO-Ansätze bemüht werden, die sich wiederum anders darstellen als der *Top-level* bei Teymourians (2014) SCEP-Ansatz offenbart nicht nur die Relevanz von Castels (2002) *Ontological Computing*, sondern genauso das TLO-Inkommensurabilitätsproblem. Der Umstand, dass der *Top-level* bei Teymourian (2014) modular gestaltet ist, ändert nichts an dem Erfordernis seiner inneren Konsistenz bzw. Stringenz, womit auch in diesem Fall sämtliche TLO-Module unter dem gleichen metaphysischen Regime stehen müssen. Anders gewendet impliziert die in der folgenden Abb. 47 dargestellte Modularisierung der *Top-level Ontologie* gerade nicht, dass auf ihre metaphysische Fundierung verzichtet werden kann; vielmehr ist mit Verweis auf Abb. 3 genau das Gegenteil der Fall:

⁴²³⁰ Vgl. etwa von Ammon (2011), J.-Y. Jung et al. (2012) sowie Starks et al. (2018).

⁴²³¹ Vgl. hierzu Zang/Fan (2007).

⁴²³² Vgl. Gavrilesco et al. (2011), R. Klein et al. (2011, 2013), F. Li/Yu (2013) sowie F. Li et al. (2013).

⁴²³³ Vgl. hierzu Lamparter/Legat et al. (2011).

⁴²³⁴ Vgl. hierzu Sasa/Krisper (2012) bzw. F. Gao et al. (2017).

⁴²³⁵ Vgl. etwa Talcott (2008).

⁴²³⁶ Vgl. hierzu Paschke (2009), Teymourian/Paschke (2009), Teymourian et al. (2011a, 2011b), Zhou et al. (2012), Keskiä/Blomqvist (2013) sowie Metzke et al. (2014).

⁴²³⁷ Vgl. hierzu Teymourian et al. (2010), Paschke/Coskun et al. (2011), Paschke/Vincent/Springer (2011), Paschke/Boley et al. (2012) sowie Teymourian (2012).

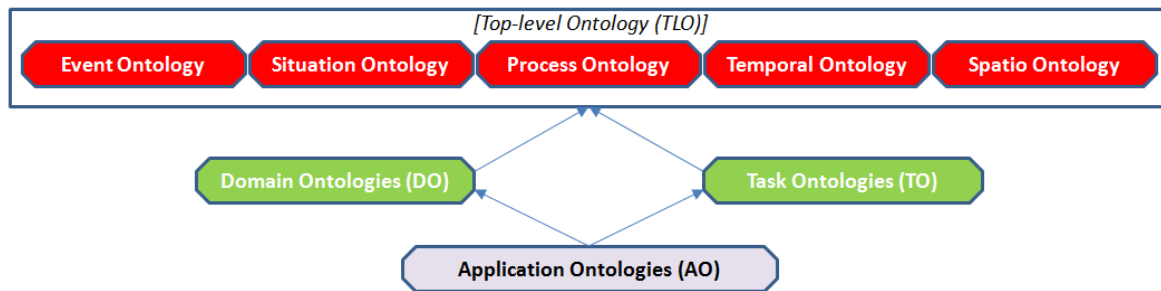


Abb. 47:⁴²³⁸ Top-level Ontologie im *Semantic Complex Event Processing* (SCEP)

Geht es um *Semantik* im *Complex Event Processing*, d.h. um den SCEP-Ansatz, kommen wiederum die beiden Semantik- bzw. Ontologieverständnisse ins Spiel. Tatsächlich gibt es zwei SCEP-Verständnisse, wobei das eine im Zeichen des *Semantic Web* (SW) ein *linguistisches* ist, während das andere ein echtes ontologisches ist. Im ersten Fall geht es entweder um das *RDF Stream Processing* (RSP),⁴²³⁹ oder um SCEP auf Basis von RDFS/OWL.⁴²⁴⁰ Der zweite Fall hingegen zielt mit Paschke et al. (2011) oder Teymourian (2014) auf echte, *TLO-referenzierende ontologische* Semantik. Mit Calvier et al. (2016) sind Ereignisse zwar domänenspezifisch, lassen sich jedoch weder real in kausaler Hinsicht trennen, noch mit der Einheit des Wissens im Hinblick auf eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation isoliert behandeln. Entsprechend ist eine TLO-Referenz im CEP-Kontext nicht nur für Domänenontologien erforderlich, sondern mit Pkt. 3.3.1 auch für Methoden-, Aufgaben- oder Funktionsontologien usf.⁴²⁴¹ Im ersten Fall geht es also wiederum im IoP-Kontext des *Semantic Web* um die Grammatik der Alltagssprache, im zweiten um ein echtes fundamentales Weltmodell, das nicht zuletzt auf die Belange der Cyber-Physik abzustellen hat. Dazu ist zunächst festzustellen, dass die linguistische Variante zwar den Vorteil besitzt, dass sie methodisch auf Basis von SW-Technologie vergleichsweise weit herangereift ist. Andererseits ist jedoch wiederum die Grundproblematik zu sehen, dass sie die Semantik bzw. Ontologie auf den Kopf stellt; sie hat den IoP-Kontext im Fokus, weder die eigentlichen IoT-Belange mit ihrer cyber-physischen Problematik noch insgesamt den *IoX-Hyperspace* als solchen. Auf letzteren kommt es beim U-CEP-Ansatz an, insbesondere mit Blick auf die Cyber-Physik wie generelle Computing-Aspekte. Gerade im Hinblick auf das U-CEP lässt sich nicht strikt zwischen den fünf IoX-Subsystemen abgrenzen; vielmehr hängen die CEP-Prozesse zwischen ihnen unmittelbar zusammen. Della Valle et al. (2009b) liegen zwar richtig mit der Feststellung: *It's a Streaming World!* Allerdings handelt es sich dabei um die *4D-Event Streams* der Cyber-Physik Whiteheads, womit es im Hinblick auf die ontologische Interdependenzproblematik wenig Sinn macht, den IoP-Kontext isoliert zu behandeln.⁴²⁴² Bezogen auf den *IoX-Hyperspace* kann das universale

⁴²³⁸ Quelle: eigene Darstellung nach Paschke et al. (2011: 135), unwesentlich modifiziert.

⁴²³⁹ Vgl. etwa Keskiärrkkä (2014), Keskiärrkkä/Blomqvist (2015) oder J.-H. Um et al. (2016).

⁴²⁴⁰ Vgl. etwa J. Yu et al. (2011), Keskiärrkkä/Blomqvist (2013) sowie Tommasini et al. (2017).

⁴²⁴¹ Das geht über die Verbindung von Domänen- und Sensorontologien bei J. Yu/Taylor (2013) weit hinaus.

⁴²⁴² Vgl. Zielinski (2015), Meridou et al. (2017), S. Roy/Chowdhury (2017) sowie Moldovan et al. (2018).

CEP-Fundament ontologisch letztlich nicht auf SW-Technologien gründen, die auf die Grammatik der Alltagssprache bezogen sind. Analoges gilt für Linked Data-Prinzipien; diese zeigen sich nicht mehr auf das IoP-Subsystem beschränkt, sondern inzwischen auf den IoX-Hyperspace bezogen.⁴²⁴³ Damit erweist sich insgesamt die Cyber-Physik Cyber-physischer Systeme (CPS) im IoT-Subsystem des IoX-Hyperspace als entscheidend: Natürlich besteht eine unmittelbare ontologische Interdependenz zwischen IoT- und IoD-Subsystem, wenn es um physische Sensor- bzw. Multisensorsysteme und Big Data geht.⁴²⁴⁴ Analog besteht diese ontologische Interdependenz zwischen dem IoT- und IoS-Subsystem, konkret etwa in Bezug auf Service-Enabled Sensing (Sensing as a Service) wie insgesamt mit Blick auf die *Service-Oriented Architecture* (SOA) bzw. ereigniszentrische ED-SOA-Umgebungen.⁴²⁴⁵ Natürlich gilt diese ontologische Interdependenz auch zwischen dem IoT- und IoA-Subsystem, wenn in CPS-Kontexten Agenten auf MAS-Basis miteinander interagieren.⁴²⁴⁶

Welche echte, *TLO-referenzierende* Ontologie das CEP tatsächlich fundieren kann, hat die CEP-Forschung bisher nicht abschließend klären können.⁴²⁴⁷ Teils wird auch in dieser Sache auf die linguistische DOLCE-TLO referenziert.⁴²⁴⁸ Doch auch in ihr kann kein Kompromiss zwischen beiden Positionen, also der linguistischen SW-Position, und jener philosophischer Ontologie bestehen. Denn der CEP-Ansatz kann gewiss nicht auf der *deskriptiven Metaphysik* gründen, wie es bei DOLCE der Fall ist. Vielmehr muss es sich um die *revisionäre Metaphysik* handeln, die den Zugang zur *physischen* Sphäre im Zeichen echter *techno-wissenschaftlicher* Erfahrung öffnet. Natürlich muss ein universales CEP-Verständnis gerade etwa dem *Internet of Geophysical Things* (IoGT), dem *Internet of Chemical Things* (IoCT), oder dem *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) gerecht werden. Dabei läuft die ontologische Verkopplung dann auf echte wissenschaftliche bzw. technologische Ontologien vom Popperschen Typus *objektiven Wissens* hinaus. Also auf das, was DOLCE explizit nicht teilt. Dass die SW-Verfechter in dieser Sache umdenken sollten, lässt sich anhand von drei Argumenten nahelegen: (i) DOLCE wird vor allem aus dem Grunde als CEP-relevanter TLO-Ansatz erachtet, weil er die Referenzbasis der W3C *SSN Sensor Ontology* bildet, während er kein echtes Physikmodell besitzt.⁴²⁴⁹ (ii) Dennoch benötigen die SW-Verfechter eine eingehende *Ontology of Events*,⁴²⁵⁰ und machen diese am *Event-Model-F* von Scherp/Franz et al. (2009) fest,⁴²⁵¹ das als explizite *Core Ontology* ebenfalls

⁴²⁴³ Vgl. Le-Phuoc/Hauswirth (2018).

⁴²⁴⁴ Vgl. Jesse (2016) sowie N. Dey (2018).

⁴²⁴⁵ Vgl. Zaslavsky et al. (2012), Perera et al. (2013b), Kotsev et al. (2015) sowie Keramidis et al. (2017).

⁴²⁴⁶ Vgl. Q. Bai et al. (2011) sowie H. Yu et al. (2013).

⁴²⁴⁷ Vgl. etwa Astrova et al. (2014).

⁴²⁴⁸ Vgl. Sitaram/Subramaniam (2016).

⁴²⁴⁹ Vgl. zu diesem Zusammenhang etwa Stocker et al. (2014a).

⁴²⁵⁰ Eine OWL2 *EventOntology* wird im analogen Kontext bei Taylor/Leidinger (2011) bzw. Leidinger/Taylor (2011) umrissen.

⁴²⁵¹ Vgl. etwa Rinne/Blomqvist et al. (2013).

auf DOLCE+DnS Ultralight (DUL) referenziert.^{4252, 4253} Soweit bleibt man damit im deskriptiven Lager. (iii) Mit dem *Semantics Ecosystem* (SES) bei Scherp/Jain (2009) ändert sich dies jedoch unvermittelt, wenn hier auf Poppers *Drei-Welten-Lehre* Bezug genommen wird, was nicht zuletzt den *physischen* Ereignissen geschuldet ist. Damit wird deutlich, dass die epistemischen Kategorien von DOLCE nicht ausreichend sind und es vielmehr mit Popper auf eine revisionäre *Mehrweltenontologie* Whiteheadscher Provenienz ankommt, wie sie in Pkt. 3.5 mit CYPO FOX umrissen wurde. Dabei steht gerade im CEP-Kontext außer Zweifel, dass es auf einen TLO-Ansatz ankommt, der unmittelbar auf die Digitalmetaphysik der Informatik als *Cyber-Physik* rekurriert. Ferner ist die CEP-Ontologie notwendig auf das *totale IoX-Diskursuniversum* zu beziehen, indem sie universal zu konzipieren ist. Denn das CEP ist im Sinne des U-CEP universal, womit das SCEP nicht weniger universal konzipiert sein kann. Dieses Erfordernis gilt umso mehr, als der CEP-Ansatz unmittelbar im CPS/SEA- wie im MAS/CAS-Kontext steht. Entsprechend wird hier wiederum eine omnipotente Top-level Ontologie erforderlich, konkret eine *Vier-Welten-Ontologie*, wie sie mit CYPO FOX in Pkt. 3.5 dargelegt wurde. Vor ihrem Hintergrund ist der CEP-Ansatz insgesamt in ein *Ontology-driven Complex Event Processing* (CYPO OCEP) zu transformieren, indem dieser auf den IoX-Hyperspace insgesamt zu beziehen ist. D.h. es ist dann nicht bloß eine TLO-Referenz und die Verkopplung des CEP-Ansatzes mit dem ganzen in Pkt. 3.3.1 umrissenen System von Ontologien relevant. Vielmehr geht es dann um das IMKO OCF, indem der CEP-Ansatz bzw. das U-CEP wiederum vor dem Hintergrund des *Ontological Computing* zu verstehen ist. Dabei verweist das U-CEP generell auf den *IoX-Hyperspace* einerseits und die Verkopplung von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz andererseits. Somit verfügen die Agenten über eine ontologiebasierte Intelligenz, die sie situativ bzw. raumzeitlich die richtigen Services auslösen lässt, wie es im Zuge des *Intelligence as a Service* (INaaS) angedacht ist,⁴²⁵⁴ das im Hinblick auf die praktische Inkontextsetzung des Wissens auch als *Wisdom as a Service* verstanden werden kann.⁴²⁵⁵ INaaS stellt dabei einen Servicetypen dar, der darauf abzielt, Ereignisse zu erkennen (Event Ontology), zugehörige Aufgaben ontologiegestützt zuzuweisen (Task Ontology), und die zu deren Ausführung erforderlichen Services aufzurufen (Service Ontology). Diese können auch die *Analytics as a Service* (AaaS) bzw. *Big Data as a Service* (BDaaS) umfassen (Method Ontology),^{4256, 4257} deren extrahierten Ergebnisse – etwa via Dashboard –

⁴²⁵² Vgl. dazu Scherp et al. (2012: 318).

⁴²⁵³ Auf Basis von DOLCE+DnS Ultralight (DUL) läuft dieses allerdings entscheidend zu kurz; darüber hinaus wird der *cyber-physische* Aspekt mit keinem Wort erwähnt, während es dieser ist, der für eine Ereignisontologie samt integriertem Physik- und Informatikmodell entscheidend ist. Es geht zwar explizit um Ereignisse in der *realen Welt*, jedoch sollte dann auch Korrespondenz zum Physikmodell bestehen, das jedoch nicht thematisiert wird. Zumindest wird erwähnt, dass sich Objekte auch im Zeichen des *exklusivistischen Vierdimensionalismus* fassen lassen, vgl. Scherp et al. (2012: 294). Allerdings lässt diese cyber-physisch richtige Fundierung die gewählte, unzweckmäßige TLO-Basis nicht zu.

⁴²⁵⁴ Vgl. Torkashvan/Haghighi (2012).

⁴²⁵⁵ Vgl. J. Chen/Ma et al. (2016).

⁴²⁵⁶ Vgl. Padmanabhan et al. (2012), X. Sun/Gao et al. (2012), EMC (2013) sowie Lomotey/Deters (2014).

⁴²⁵⁷ Bzgl. BDaaS vgl. etwa Skourletopoulos et al. (2017).

spezifischen Nutzern zur Verfügung gestellt werden (z.B. BAM Ontology). Damit wird nochmals deutlich, was *Artifizielle Intelligenz* (AI) im Kern ist; denn dieser ist an der IoA-Interaktion *Machine to Machine* (M2M) festzumachen. Dabei lassen sich auch diese M2M-Interaktionen am besten auf Basis des CEP-Ansatzes verstehen.⁴²⁵⁸ CEP ist im Zeichen *komplexer Systeme* als generelles Paradigma des *Computing* zu werten.⁴²⁵⁹ CEP-Engines bauen dabei zumeist entweder auf der Automatentheorie,⁴²⁶⁰ auf der Graphentheorie,⁴²⁶¹ auf Petri-Netzen,⁴²⁶² sowie in Ausnahmefällen auf weiteren Verfahren auf.⁴²⁶³ CEP bildet entsprechend eine Basistechnologie des IoX-Hyperspace; es stellt zugleich eine *cyber-physische Brücke* zwischen *physischen* und *virtuellen* Ereignissen her.⁴²⁶⁴ Wenn das *Computing* generell im Zeichen der *CEP-Engine* zu begreifen ist, impliziert das Leibniz-Whiteheadsche *Ontological Computing* das *Ontology-driven Complex Event Processing* (OCEP). Was dann *M2M-Superintelligence* bedeutet, ist im Kontext der Leibniz-Whiteheadschen Kopplung von *Perzeption* und *Kognition* zu verstehen; d.h. nicht auf dem, was bisher als *Cognitive Computing* (CC) verstanden wird. Vielmehr läuft sie auf das CYPO *Ontology-driven Complex Event Processing* (CYPO OCEP) hinaus, das im Leibniz-Whitehead-Popperschen Sinne auf CYPO *FOX* bzw. dem IMKO *OCF* in Kombination aller fünf IoX-Subsysteme als AI-Ontologie des *IoX-Hyperspace* aufbaut. Mit Blick auf die verschiedenste physische wie virtuelle Sensorik bzw. Perzeption im Leibniz-Whiteheadschen Sinne wird dann deutlich, warum der CEP- bzw. OCEP-Ansatz als eigentlicher Kern der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) zu sehen ist. In der Tat setzt sich die Auffassung, dass der RTBDA-Gedanke zuvorderst auf den CEP-Ansatz hinausläuft, zunehmend durch.⁴²⁶⁵

Der CEP-Ansatz besitzt dabei den Vorteil, dass er im Grunde mit allen SEA-Aspekten direkt kombinierbar ist, wobei auch diese Kombination nicht auf das einfache CEP, sondern auf das SCEP bzw. auf CYPO OCEP hinausläuft. Paschke et al. (2011) haben bereits neben BPMN für die Prozessbeschreibung und OWL für Ontologien den Einsatz von SBVR zur semantischen Spezifizierung sowie zur Spezifizierung von *Business Rules* (BR) im CEP-Kontext dargelegt. Dabei beziehen sie mit Blick auf OWL und SBVR bereits die *Top-level Ontologie* zur Spezifizierung allgemeinsten CEP-Konzepte mit ein. De Roover/Vanthenen (2011) beziehen SBVR demgegenüber auf die *ereignisgesteuerte Durchsetzung von Geschäftsregeln* (BR), indem jede SBVR-Regel in eine oder mehrere *Event-Condition-Action* (ECA)-Regeln transformiert wird. Vor dem Hintergrund des *Complex Event Processing* (CEP) wird deutlich, dass bezüglich der ontologischen Ereignisdifferenzierung nicht nur jene zwei Ansätze in Betracht zu ziehen sind, die Galton/Augusto (2002) im

⁴²⁵⁸ Vgl. dazu Bruns/Dunkel et al. (2015).

⁴²⁵⁹ Vgl. hierzu exemplarisch Terroso-Sáenz et al. (2015).

⁴²⁶⁰ Vgl. Cugola/Margara (2012a); vgl. zu *ereignisgesteuerten endlichen Automaten* Gehani et al. (1992).

⁴²⁶¹ Hier ist zu differenzieren zwischen *Matching tree model* und dem *Directed graph model*.

⁴²⁶² Vgl. Gatzu/Dittrich (1994a, 1994b).

⁴²⁶³ Hierzu gehört etwa SASE, vgl. E. Wu et al. (2006).

⁴²⁶⁴ Vgl. etwa F. Wang/Liu (2006).

⁴²⁶⁵ Vgl. etwa Babiceanu/Seker (2015, 2016), Jayasekara et al. (2015), Bhargavi (2016), Sitaram/Subramaniam (2016) sowie I. Flouris et al. (2017).

Bereich der auf dem ECA-Konzept aufsetzenden *Active Database Systems* (ADBS) einerseits, und in der KR-Sphäre andererseits ausmachen. Diese Ansätze sind nicht nur notwendig zu vereinheitlichen, weil in IoX-Systemen beide genannten Aspekte aufeinandertreffen.⁴²⁶⁶ Vielmehr geht es in IoX-Systemen um Ereignisse, die sich auf verschiedenen Ebenen bewegen, jedoch dabei dezidiert im Zusammenhang stehen.⁴²⁶⁷

Daneben gibt es in praktisch allen Domänen Ereignisse, die mit Verweis auf Pkt. 3.5 nach Welttypen zu separieren sind. Dennoch besitzen sie alle eine metaphysische Einheit, aber nur dann, wenn man die richtige Metaphysik, nämlich mit Pkt. 4.1 eine techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik bemüht. Genau das ist unabdingbar, denn es gibt in der CM- wie in der AI-Ontologie nicht annähernd ein einheitliches Ereignisverständnis. Darin besteht vor dem Hintergrund des Ziels der Systemintegration wie der vollumfänglichen semantischen Interoperabilität ein überaus wesentliches Problem, da es die Fehleranfälligkeit hochautomatisierter AI-Systeme in den CPS-Kontexten von *Reality Machines* direkt betrifft. Wie mit Pkt. 5.7 deutlich wurde, fangen die Probleme etwa bei der nicht unumstrittenen Frage der kategorialen Verhältnisbestimmung von Ereignissen und Objekten an. Daneben betreffen sie jedoch in einer noch umfassenderen Breite meta-ontologische Dispositionen, die im Kontext der Verhältnisbestimmung der Kategorien etwa darauf zielen, ob es sich um 3D- oder 4D-Entitäten handelt. Oder ob sie als abstrakte oder konkrete Entitäten aufzufassen sind; ob sie als aktuale oder mögliche Entitäten zu behandeln sind, bis etwa hin zu der Frage, ob es bei ihnen überhaupt um ontische oder epistemische Entitäten geht. Mit Pkt. 3.3.2 ist auch letztere Frage überaus umstritten, wenn Linguisten behaupten, dass es in der Welt nicht wirklich Ereignisse gibt. Vor diesem Hintergrund lässt sich offenkundig nicht auf die Schnelle klären, was *Ereignisse* in der Informatik genau sind, indem es vollkommen disparate Typen von Ereignissen gibt. Allerdings stehen diese allesamt in einer ontologischen Verbindung, indem etwa ein Softwareereignis kausal ein realweltliches Ereignis (et v.v.) auslöst, womit eine integrierte Ontologiearchitektur einzufordern ist, die alle Ereignistypen entsprechenden durchgängigen Welttypen zuordnet. Somit lässt sich abschließend im Sinne meta-ontologischer Dispositionen festhalten, dass eine CPSS-adäquate *Top-level Ontologie* folgende zehn unabdingbare Anforderungen erfüllen muss:

1. Der TLO-Ansatz muss sich gleichzeitig auf reale und virtuelle Welten und deren Interaktion beziehen können. Indem sich reale und virtuelle Welten substantiell unterscheiden, sind die Grundstrukturen der Welten im metaphysischen Sinne herauszuarbeiten und in entsprechenden Welttypen zu differenzieren. Eine solche Differenzierung läuft auf eine Mehrweltenontologie mit mindestens vier

⁴²⁶⁶ Hinter dem ECA-Konzept (Event-Condition-Action) als ADBS-Basis steht mit der Struktur aktiver Regeln die *Event Driven Architecture* (EDA), die in Fusion mit SOA als *Event-Driven SOA* (ED-SOA) die Gesamtarchitektur von IS/KS-Systemen im Allgemeinen und von IoX-Systemen im Besonderen bestimmt. Entsprechend wird die *Top-level Ontologie* gerade auch insofern erforderlich, um ontologische Konflikte in der *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu vermeiden.

⁴²⁶⁷ Vgl. dazu etwa die drei Ereignisebenen bei Bugaite/Vasilecas (2009).

elementaren wie disparaten Welttypen hinaus. Gemäß des Ockhamschen *Spar-samkeitsprinzips* (Parsimonieprinzip) sollte man es bei diesen *vier Welten* und ihren Subtypen belassen, solange keine zwingenden Argumente für die Eröffnung weiterer Welttypen sprechen.

2. Mit dem Erfordernis der CPSS-Adäquanz wird die Existenz der Außenwelt vorausgesetzt genauso wie ihre prinzipielle Erkennbarkeit. Damit setzen CPSS-adäquate Ontologien einen *metaphysischen* wie *epistemologischen Realismus* voraus, was indes für die meisten TLO-Ansätze nicht selbstverständlich ist.
3. CPS laufen mit ihrer Einbettung in *Event Streams* als selbststeuernde AI-basierte Systeme notwendig auf die in Pkt. 3.5 erörterte *integrierte metaphysische Wissensontologie* hinaus. Denn physische Systeme verlangen im Zeichen eines *universalen* Ontologieverständnisses primär nach dem klassisch-metaphysischen bzw. *philosophischen Ontologiebegriff*, der sich mit Angeles (1981: 198) als »the order and structure of reality in the broadest sense possible« definieren lässt. Damit muss sich jeder CPSS-adäquate TLO-Ansatz auf die Welt 1 (W1) erstrecken können. Mit der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* wird entsprechend jede Differenzierung zwischen einem philosophischen und einem AI-Ontologieverständnis hinfällig. Vielmehr ist *Ontologie* universal im Sinne *semantisch explizit spezifizierter formaler Weltmodelle* zu definieren, wobei das fundamentale Weltmodell durch die metaphysisch verankerte *Top-level Ontologie* verkörpert wird.
4. Der TLO-Ansatz muss den Grundprinzipien der Komplexitätsforschung, insbesondere *Complex Adaptive Systems* (CAS), entsprechen. Indem die Adaption auf *Ereignissen* basiert, ist auch der TLO-Ansatz *ereigniszentriert* zu konzipieren.
5. Das CEP-Konzept läuft nicht nur im Sinne des *Event Processing Network* (EPN) auf CAS bzw. verwandte Ansätze wie die Automatentheorie hinaus, sondern mit *Event Processing Agents* (EPA) auch auf einen *agentenbasierten AI-Ansatz*.⁴²⁶⁸
6. Das CEP-Konzept ist bei intelligenten Systemen mit Pkt. 6.2.1 immer als SCEP-Konzept zu verstehen, das seinerseits wiederum nicht ohne eine TLO-Referenz auskommt. Indem das CEP-Konzept eine Sensorik voraussetzt, die im perzeptiven CPS-Sinne "in der Welt" ist, steht außer Frage, dass die TLO-Basis in beiden Fällen die gleiche zu sein hat. Mit anderen Worten muss nicht nur die TLO-Basis von Smithens *R-ontology* die gleiche sein wie jene der *E-ontology*; sondern alle vier Ontologietypen benötigen im CPS-MAS-Konnex notwendig eine einheitliche TLO-Fundierung. Bei einer CPSS-Adäquanz der Ontologie wird damit zugleich die *integrierte metaphysische Wissensontologie* des IMKO OCF für die Informatik zwingend. Die Ontologie ist also im Sinne von Weltmodellen notwendig einheitlich zu konzipieren, indem die fundamentalen Strukturen der

⁴²⁶⁸ Vgl. hierzu Luckham (2012).

W1-Ontologie in der CPS-MAS-Kombination notwendig mit jenen der W2-, W3- und W4-Ontologie zu korrespondieren haben.

7. Indem CPS pluralistisch angelegt sind, laufen sie auf *Multiagentensysteme* (MAS) hinaus. Analog dazu bedingt auch die Kombination von EPN und EPA das MAS-Konzept, woraus folgt, dass ein CPSS-adäquater TLO-Ansatz MAS-adäquat zu konzipieren ist. Mit einer MAS-basierten AI-Ontologie bzw. MAS-basierten CPS erweitert sich der CPS-Gedanke auf *Cyber-physische Soziosysteme* (CPSS). Damit muss sich jeder CPSS-adäquate TLO-Ansatz auch auf die Welt 4 (W4) erstrecken können.
8. Wenn ein *agentenbasierter* AI-Ansatz zugrundezulegen ist, kann die AI-Ontologie nicht allein auf objektives Wissen hinauslaufen, sondern hat zwingend auch *subjektives Wissen* bzw. *beliefs* zu berücksichtigen. Damit muss sich jeder CPSS-adäquate TLO-Ansatz auch auf die Welt 2 (W2) erstrecken können. Gleichzeitig stellt sich im AI-Kontext damit das Erfordernis nach einer *universalisierten Epistemologie*, die auf alle Klassen von Agenten projizierbar ist und dabei insbesondere auf die W2-W1-Interaktion abstellt. Diese Epistemologie hat auf den oben genannten doppelten Realismus abzustellen.
9. Im Zeichen des in Pkt. 2.5 ff. behandelten PPR-Frameworks verlangen CPS im Sinne der PPR-Integration nach der in Pkt. 4.6 umrissenen *Ontologie der Artefakte*. Diese ist nicht nur für CPS-Steuerungsaspekte wesentlich, sondern auch im PPR-Sinne für sämtliche *Engineering Ontologies*. Damit muss sich jeder CPSS-adäquate TLO-Ansatz auch auf die Welt 3 (W3) erstrecken können.
10. Eine MAS-bezogene AI-Ontologiekonzeption kombiniert die vier genannten Welten W1, W2, W3 und W4 in systematischer Weise. Damit ist die oben erwähnte integrierte Ontologiekonzeption unabdingbar, die auf eine gemeinsame TLO-Fundierung hinausläuft. Insofern hat eine CPSS-adäquate TLO-Konzeption vor allem auch diese Integrationsleistung einer solchen Mehrweltenontologie zu vollbringen. Das gilt umso mehr, als die Ontologiekonzeption mit Pkt. 6.3 nach einer Architektur verlangt, die die *Superintelligenz* der dritten AI-Generation nicht von vornherein verschließt. Mit der Integration der vier Welten hat die metaphysische Verankerung jeder CPSS-adäquaten Top-level Ontologie mit Verweis auf Pkt. 4.1 auf Basis einer Klasse-4-Metaphysik zu erfolgen. Denn nur diese kann allen vier Welten sowie den für MAS relevanten wissenschaftlichen, technologischen wie praktischen Ontologien gleichzeitig entsprechen.

6.2.2 Deskriptive vs. revisionäre Metaphysik in CPSS/SEA-Kritik

»Systematic attempts to specify the categorial structure of reality, however, and to resolve the difficulties that emerge in Descriptive Metaphysics lead to Revisionary Metaphysics. Therefore, discovering the categorial structure of reality amounts to selecting the best system of Revisionary Metaphysics.«

— Markku Keinänen (2008: 24)

Das für die Informatik elementare Ziel umfassender semantischer Interoperabilität erfordert die Überwindung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems, das in seiner metaphysischen Veranlagung allein über die Selektion von TLO-Theorieanwärtlern vollziehbar ist. Entsprechend verlagert sich die Evaluierung und Selektion einzelner *Top-level Ontologien* zunächst einmal in die Metaphysik, indem es um die Frage sachgerechter Metaphysik wie einer insgesamt adäquaten Metaphysikkonzeption geht. Eine systematische Näherung an diese Frage ist allein möglich auf Grundlage der Abgrenzung einzelner Metaphysikklassen, wie sie in Pkt. 4.1 vollzogen wurde. Zwischen diesen Klassen verläuft eine deutliche Grenze, indem Klasse-1- bzw. Klasse-2-Metaphysiken im Sinne Strawsons (1959) *deskriptive* Metaphysiken sind, während Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken *revisionäre* Metaphysiken verkörpern.^{4269, 4270, 4271} Indem fast alle Versuche, den Unterschied zwischen

⁴²⁶⁹ *Revisionäre Metaphysiken* implizieren im Zeichen des *Ratio-Empirismus* die *Priorität von Wissenschaft und Technologie*, womit sie im Zeichen der *techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik* im Unterschied zum linguistischen OE-Ansatzpunkt der Klasse-2-Metaphysik einen *realistischen* OE-Ansatzpunkt favorisieren. Entscheidend ist Whiteheads (1933: 164) »interplay between science and metaphysics«, und insofern ist jede sachgerechte Metaphysik in seinem Sinne *revisionäre Metaphysik* und alle andere Art von Metaphysik im Zeichen von Kants (1781) Metaphysikkritik als unhaltbar abzulehnen.

⁴²⁷⁰ Guizzardi/Wagner et al. (2015) vertreten eine dazu konträre Position, wenn sie sich – jenseits *Cyberphysischer Systeme* (CPS) und *Scientific Ontologies* – für die *deskriptive Metaphysik* und explizit gegen die *revisionäre Metaphysik* aussprechen. Allerdings scheint dabei die Natur der *revisionären Metaphysik* unverstanden, wenn sie ausschließlich auf Bunge bzw. die BWW-TLO bezogen wird – indessen geht sie auf Whitehead zurück und zeigt sich dabei in der transdisziplinären *Klasse-4-Metaphysik* keinesfalls auf die Physik beschränkt. Stattdessen stützen sich Guizzardi/Wagner et al. (2015) mit ihrer UFO-TLO im Rekurs auf E.J. Lowe auf das neo-aristotelische *Ontologische Quadrat*; damit handelt es sich auch bei diesem TLO-Ansatz unter CPS-Gesichtspunkten um eine Fehlkonzeption.

⁴²⁷¹ Eine etwas umfassendere Begründung für diesen Schritt findet sich selten, etwa bei Dölling (1993: 134): für ihn geht es gerade nicht um »the categorial commitments of physics«, denn »such an "ideal" ontology is not all ontology which we need. Instead of this, for the purposes of everyday life, we use an ontology which accommodates every entity which can be the object of ordinary talking. The world given by this includes, for example, coloured and sounding objects, i.e. objects with qualities being not real for physics«. Entscheidend sei somit die »elucidation of the structure of our commonsense view of the world«; indessen steht außer Zweifel, dass damit letztlich nichts anderes gemeint sein kann als eine Reflexion der grammatikalischen Struktur der Alltagssprache. Problem und Lösung sind somit evident: Döllings (1993) Votum für die *deskriptive Metaphysik* übersieht die Wesentlichkeit der Physik, die diese für alle *cyberphysische Reality Machines* besitzt. Analoges gilt für sämtliche Erfahrungs- bzw. Strukturwissenschaften, die mit dem *Internet of Everything* (IoX) elementar sind. Andererseits ist Dölling (1993) zuzustimmen, da sich viele Informationssysteme gewiss unmittelbar auf die "*commonsense world*" beziehen. Diese muss durch die Ontologiekonzeption erschließbar sein, während nichts dagegen spricht, sie gegenüber wissenschaftlichen Fakten als sekundär bzw. ergänzend zu behandeln. Die "*commonsense world*" ist also der wissenschaftlichen und damit auch der davon abgeleiteten technologischen Welt nicht über-, sondern untergeordnet. Die Ontologiearchitektur hat somit offensichtlich *verschiedene Welten* zu adressieren, womit sie als *Mehrweltenontologie* zu konzipieren ist, die im Zuge einer einheitlichen TLO-Referenz die Konsistenz aller Welten im Sinne ihrer kosmologischen Einheit zu gewährleisten hat. Mit einer solchen Mehrweltenontologie lässt sich der oben mit Heil (2003: 189) konstatierte linguistische Denkfehler beheben, ohne dabei die Maßgeblichkeit distinkter Sprachwelten zu verkennen. Voraussetzung für eine solche Symbiose ist indessen eine exaktere Spezifikation der Alltagssprache in Form einer *techno-*

der deskriptiven und revisionären Metaphysik richtig zu fassen, an den eigentlich entscheidenden Aspekten vollständig vorbeigehen,⁴²⁷² ist diese für die Ontologie- bzw. AI-Problematik elementare Frage nochmals genauer darzulegen. Gemäß dieser Differenzierung gilt mit Strawson (1959): »Descriptive metaphysics is content to describe the actual structure of our *thought* about the world, revisionary metaphysics is concerned to produce a better structure«. ⁴²⁷³ Dabei bezieht sich die deskriptive Metaphysik im Wesentlichen auf das *konzeptuelle Schema* im Sinne Kants.⁴²⁷⁴ Nach CYPO-Konvention geht es mit Pkt. 3.5 dabei um die *epistemische W2-Ontologie*, um nicht mehr und nicht weniger. Demnach gilt, dass zwar auf den Unterschied von deskriptiver und revisionärer Metaphysik in der philosophischen Diskussion umfassend Bezug genommen wird,⁴²⁷⁵ indessen in den seltensten Fällen richtig verstanden wird, worum es dabei eigentlich geht. Das gilt mit den weiteren Ausführungen zuvorderst für Strawson (1959) selbst.

Worum es eigentlich geht wird anhand drei anderer, auf Strawson (1959) aufbauender bzw. ihm vorauslaufender Differenzierungen offensichtlich: (i) In der Strawson vorauslaufenden Differenzierung Carnaps zwischen *interner und externer Metaphysik* besteht eine wichtige Ergänzung zu erstem,⁴²⁷⁶ weil damit klarer wird, wie tief die Problematik der Differenzierung Strawsons eigentlich liegt: Wenn deutlich wird, dass mit deskriptiver Metaphysik eigentlich Carnaps interne Metaphysik gemeint ist, und entsprechend mit revisionärer Metaphysik Carnaps externe Metaphysik, ist evident, dass die Problematik dieser Differenzierung vor allem in zwei großen Streitpunkten liegt: (a) in der über Jahrhunderte strittigen metaphysischen Frage nach der Existenz der Außenwelt; (b) sowie in der damit verbundenen ebenso umstrittenen epistemologischen bzw. methodologischen Frage nach der Möglichkeit objektiven Wissens. Beide Probleme stehen im Zeichen des extremen Idealismus wie des radikalen Konstruktivismus; sie werden irrtümlicherweise mit Kant (1781) zusammengebracht, für den jedoch weder die Existenz der Außenwelt noch die Möglichkeit objektiven Wissens an sich in Zweifel steht. Dabei ist insofern eine Verbindung zum nachfolgenden Pkt. gegeben, als die Phänomenologie Kognitionsakte und subjektives Wissen fokussiert. (ii) Gracia (1988) differenziert zwischen realistischer und phänomenologischer Metaphysik.⁴²⁷⁷ Dabei zielt die realistische Metaphysik, wie sie bereits in Pkt. 3.3.2 gegenüber dem linguistischen OE-Ansatzpunkt abgegrenzt wurde, darauf »to find out the

logisch orientierten Semantik, wie sie auch im *U-PLM-Referenzszenario* vollzogen wird, etwa indem Objekte als prozessual-ereigniszentrische *Objektlebenszyklen* konzipiert werden. Mit dieser universalen CPSS-adäquaten TLO-Referenz ist wiederum eine *maximale ontologische Verpflichtung* verbunden.

⁴²⁷² Insbesondere das, was unter *revisionärer Metaphysik* verstanden wird, entbehrt dabei jeder Basis, vgl. dazu etwa Kabbaj et al. (2006: 302) sowie S. Dasgupta (2009).

⁴²⁷³ Vgl. Strawson (1959: 9), Hvh. des Verf.

⁴²⁷⁴ Vgl. auch Hamlyn (1984: 4).

⁴²⁷⁵ Vgl. zu diesem Widerstreit Burt (1963), R.L. Phillips (1965, 1967), McDougall (1973), Sarkar (1977), Haack (1979), Hamlyn (1984), Bales (1987), Lemos (1988), Löffler (2001, 2007), Hirsch (2002), Fuller (2004a), Keinänen (2008), Stjernberg (2009), Kanzian (2010), Pelletier (2011), Edward (2012) sowie Kriegel (2013).

⁴²⁷⁶ Vgl. hierzu auch B. Smith (2003a).

⁴²⁷⁷ Vgl. Gracia (1988: xiv ff.).

way the world is«, während die phänomenologische Metaphysik allein mit dem konzeptuellen Bezugsrahmen beschäftigt ist. Darin besteht insofern eine wichtige Ergänzung zu Strawson, als erst damit offensichtlich wird, dass sich das Moment der revisionären Metaphysik – »to produce a better structure« – auf die fundamentalen Strukturen der Realität bezieht. Darin besteht die eigentliche Aufgabe der Metaphysik. Dann ist offenbar die revisionäre Metaphysik die eigentliche Metaphysik.

(iii) Noch näher kommt man den eigentlich entscheidenden Gegensätzen mit einer dritten Differenzierung, die Sider (2001) und eine Reihe anderer Ontologen bzw. Metaphysiker aufbauend auf Strawson (1959) vornehmen,⁴²⁷⁸ auch wenn bei diesem davon selbst keine Rede ist. Diese Modifikation erscheint auf den ersten Blick gar nicht weiter beachtenswert, indem statt von *revisionärer* Metaphysik von *präskriptiver* Metaphysik die Rede ist. Ihre Relevanz besteht dennoch: Denn mit ihr wird erst das entscheidende Moment revisionärer Metaphysik greifbar, nämlich das *empiristische* Prinzip. Richtig verständlich wird dies jedoch erst bei Semy et al. (2004), wenn diese unterstreichen, dass der *wissenschaftliche Realismus* der revisionären Richtung zu einer *präskriptiven* Ontologie führt. Dann geht es offenbar um das, was Einstein (1934), der das Kantische Werk richtig verstanden hat, wichtig war: dass Metaphysik um das *empiristische* Moment anzureichern ist. Genau das unterstreicht auch N. Hartmann (1942) im Rekurs auf Kant mit der *Neuen Ontologie*, zu der insbesondere auch Whitehead zu rechnen ist. Denn anders ist das in Pkt. 4.1 erwähnte "Zensoramt", das der Metaphysik bei Kant (1781) zukommt, nicht zu erfüllen. Wenn außer Frage steht, dass Metaphysik – neben anderen Welten – zuvorderst auf die Beschreibung der fundamentalen Strukturen der Realität zielt bzw. zielen muss, dann haben all jene Metaphysiken, die Gegenstand der Kantischen Kritik sind, tatsächlich ein elementares Problem: sie sind nicht *fallibel*, und wenn sie dies nicht sind, lassen sich diese Strukturen – jenseits logischer Inkonsistenz – auch nicht widerlegen. Das aber ist für Kant inakzeptabel, weil sich darin die Unmündigkeit all Jener begründet, denen eine solche Metaphysik oktroyiert wird. Gute Metaphysik ist vor diesem Hintergrund fallibel; sie ist wissenschaftliche Metaphysik, nicht Metaphysik vorkantischer Epochen. Wenn also der Sinn und Zweck der *revisionären* Metaphysik in diesem *Fallibilismus* liegt, in dem Korrekturzwang auf Basis allgemein akzeptierter empirischer Theorie, dann kann Strawson (1959) seine Differenzierung in ihrem entscheidenden Punkt selbst nicht zu Ende gedacht haben. Dass dem faktisch so ist, wird schon daran ersichtlich, dass er Berkeley als Beispiel für revisionäre Metaphysik anführt. Insofern ist es auch falsch, gerade Kant als Beispiel für die deskriptive Metaphysik zu bemühen; denn Kants (1781) *Kritik der reinen Vernunft* ist in dieser Sache durchaus wörtlich zu nehmen. Strawsons Zuordnung Kants zur deskriptiven Metaphysik ist auch insofern un schlüssig, als diese mit Van Fraassen (2002) einen Rück-

⁴²⁷⁸ Von *präskriptiver* Ontologie ist bei der revisionären Richtung auch bei Masolo et al. (2003: 13), Semy et al. (2004) sowie bei Obrst (2010: 40) die Rede.

fall in den Metaphysikstil des siebzehnten Jahrhunderts bedeutet, also genau jenem, den Kant mit Pkt. 4.1 zu Recht attackiert.

Der Umstand, dass alle bisherigen TLO-Evaluierungen nicht in die erforderliche Tiefe gehen ist insofern inakzeptabel, als auf einer unzureichend begründeten Basis keine richtige Evaluierung bzw. Selektion erfolgen kann. Das ist gerade im Hinblick auf die Differenzierung von *deskriptiver* vs. *revisionärer* Metaphysik der Fall. Natürlich reicht es nicht aus, ihre Unterschiede ungefähr zu verstehen bzw. zu definieren. Vielmehr sind sie genauestens zu explizieren, wenn es um die richtige Klassifikation der einzelnen TLO-Theorieanwärter geht. Tatsächlich weisen die bisherigen eher oberflächlich durchgeführten TLO-Evaluierungen auch insofern Fehler auf, indem sie TLO-Theorieanwärter, die eigentlich deskriptiv sind, als revisionäre Ansätze auffassen und auf dieser Basis vermeintlich richtige Selektionsentscheidungen treffen, die sich bei genauerer Analyse indessen als verkehrt erweisen. Dabei kommt dieser Fehler in zwei Varianten vor, teilweise auch kombiniert: entweder liegt er (i) im Verständnis von dem, was *revisionäre Metaphysik* überhaupt ausmacht, oder aber er besteht (ii) darin, dass die TLO-Ansätze selbst nicht richtig verstanden werden und sie in ihrem Fehlverständnis falsch zugeordnet werden. Beides sei kurz illustriert: ad (i) Jureta et al. (2009: 177) verkürzen die *revisionäre Metaphysik* im ontischen Sinne »to the aim of capturing the intrinsic nature of the world, that is, answering what exists«, während die deskriptive Metaphysik in epistemischer Hinsicht darauf fixiert sei, »what may be perceived to exist«. Wie in Pkt. 5.5 dargelegt, lässt sich die Unterscheidung von deskriptiver und revisionärer Metaphysik jedoch nicht an der Differenzierung zwischen ontischen und epistemischen Kategorien festmachen, indem nicht allein die *Kantian or auxiliary categories* den »content to describe the actual structure of our *thought* about the world« bilden, sondern genauso die *Aristotelian or ontic categories*, und entsprechend begründet Strawson (1959) seine deskriptive Metaphysik sowohl mit Aristoteles als auch mit Kant. Umgekehrt lässt sich sagen, dass die aristotelischen ([Cat.]) *Kategorien* gewiss nicht dabei helfen »to produce a better structure«. Indem dieser Sachverhalt für Jureta et al. (2009) offenbar unklar ist, werden BFO und OCHRE ohne weitere Prüfung als *revisionäre* Ontologien behandelt. Das sind sie natürlich schon insofern nicht, als es sich bei beiden um neo-aristotelische Ansätze handelt, die mit Verweis auf Pkt. 5.2 ganz im Zeichen der aristotelischen ([Cat.]) *Kategorien* stehen. Folgeschwerer wiegt jedoch, dass damit beide Ansätze in der TLO-Selektion als inferior verstanden werden, indem irrtümlich vorausgesetzt wird, dass eine Kernontologie für das *Requirements Engineering* (RE) auf einem deskriptiven TLO-Ansatz beruhen sollte. Darin besteht jedoch gerade mit Blick auf IoX-Technologien und CPS-Erfordernisse ein grundsätzlicher Trugschluss, indem eine CPSS-adäquate Ontologie immer ein *naturwissenschaftlich* richtiges Verständnis der physischen Welt voraussetzt.⁴²⁷⁹ Denn Computer als *Reality Ma-*

⁴²⁷⁹ Jureta et al. (2009) zielen mit dem RE allein auf das *Software Engineering*, das in universaler Hinsicht die CPSS-Adäquanz bei *Reality Machines* zu erfüllen hat. Analoges gilt für das RE im PLM-Lebenszyk-

chines sind existenziell wie kausal "in der Welt", für die eine alltagssprachliche Beschreibung vollkommen unzureichend bzw. gar fehlerinduzierend ist.

Ad (ii) liegt Oberle (2006: 50) zwar mit der Einsicht richtig, wonach die revisionäre Metaphysik die Debatte um die sachgerechten ontologischen Voraussetzungen auf *wissenschaftlicher* Basis führe, womit revisionäre Ontologien allein *raumzeitliche* Entitäten als existent voraussetzen könnten. Auf dieser richtigen Auffassung werden die TLO-Ansätze dennoch falsch zugeordnet: Die BFO wird als *revisionäre* Ontologie eingestuft, indem allein auf deren *ontologischen Realismus* verwiesen wird.⁴²⁸⁰ Allerdings ist der ontologische Realismus auch für die deskriptive Metaphysik problemlos voraussetzbar, indem mit Rescher (2003a: 349) zwischen der subjektiven Weltauffassung und der physisch gegebenen Welt an sich zu differenzieren ist. Analoges gilt im Grunde bereits für Kant (1781). Auch hat der ontologische Realismus für sich genommen rein gar nichts mit dem revisionären Postulat »to produce a better structure« zu tun. Vielmehr ist evident, dass sich eine bessere kategoriale Struktur bzw. ein besseres Verständnis der Realität wie der logico-mathematischen Struktur möglicher Welten bzw. der Cyberwelten weder auf linguistischer noch auf sprachphilosophischer Basis erzielen lässt. Genauso wenig lässt sich auf dieser Basis prüfen, ob die kategoriale Struktur überhaupt richtig ist. Beides ist nur möglich, wenn man sich mit diesen Welten im *ratio-empirischen* Sinne selbst befasst, was allerdings eine *techno-wissenschaftliche* revisionäre Metaphysik voraussetzt. Demnach gilt: eine CPSS-adäquate Ontologie, die den Anforderungen von Computern als *Reality Machines* gerecht wird, ist nicht auf linguistischer bzw. sprachphilosophischer Basis realisierbar, sondern nur auf der revisionären Grundlage einer techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass das gegenwärtige Ontologieverständnis im Bereich der Semantic Web Technologien bzw. dem Web 3.0 unhaltbar ist. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, die auf dem Smart Web bzw. Web 4.0 aufbaut, verlangt vielmehr eine CPSS-adäquate ontologische Fundierung auf Basis der Klasse-4-Metaphysik, die in der Konsequenz ihrer CAS/MAS-Architektur in CYPO FOX mündet. Dass Oberles (2006) Verortung der BFO-TLO als *revisionäre* Metaphysik nicht richtig ist, hängt somit nicht nur damit zusammen, dass sie sein o.g. konstituierendes Merkmal der alleinigen Voraussetzung *raumzeitlicher* Entitäten gerade nicht erfüllt. Vielmehr ist die BFO ungeachtet ihres Realismus und Empirismus mit Verweis auf Pkt. 5.2 *deskriptiv*, indem sie keinen *ratio-empirischen* Zugang zur Ontologie sucht, sondern die fundamentalen Kategorien in einem neo-aristotelischen Paradigma vielmehr sprachphilosophisch bestimmt. Bezüglich der allgemeinen Verortung der OCHRE-TLO liegt Oberle (2006: 102) genauso falsch, auch wenn dies auf einer anderen Argumentation beruht: es könne sich deshalb nicht um deskriptive Metaphysik handeln, weil die durch OCHRE vorausgesetzten "*thick objects*"

lus, indem gerade auch in Industrien wie der Luft- und Raumfahrt usf. die physische Welt nicht im Konflikt mit den Naturwissenschaften stehen kann. Die deskriptive Metaphysik nimmt jedoch darauf keinerlei Rücksicht; entsprechend setzt die *CPSS-Adäquananz* eine *revisionäre Metaphysik* voraus.

⁴²⁸⁰ Vgl. Oberle (2006: 99).

nicht mit dem menschlichen *Common Sense* kompatibel seien. Richtig ist jedoch, dass OCHRE keinen echten 4D-Ansatz darstellt; vielmehr handelt es sich um eine "3D+T"-TLO, bei der Enduranten (*thin objects*) in Prozessen partizipieren. Damit aber geht es um das aristotelische Prozessverständnis, das auf Basis der Substanzidee im Sinne der aristotelischen ([Cat.] *Kategorien*) nicht nur insgesamt als *deskriptives* zu verstehen ist, sondern auch mit dem menschlichen *Common Sense* kompatibel ist. Es sollte außer Frage stehen, dass sich die TLO-Debatte nicht fachgerecht führen lässt, wenn bereits die Zuordnungen der TLO-Ansätze nicht stimmt bzw. ein Unverständnis hinsichtlich der meta-ontologischen Differenzierungen besteht.

Die entscheidende These im Streit um die *deskriptive vs. revisionäre Metaphysik* ist diese: Richtig verstanden haben die *revisionäre Metaphysik* jene, die sie wie Haack (1979), Maurin (2002: 26 ff.) oder McHenry (2015) speziell wie explizit an Whitehead festmachen.^{4281, 4282} Mit ihnen wird nochmals untermauert, dass Strawson (1959) seine Differenzierung in ihrem entscheidenden Punkt selbst nicht zu Ende gedacht haben kann. Denn im Gegensatz dazu wird die *revisionäre Metaphysik* durch Strawson (1959) weder in eine Verbindung zu Whitehead (1929a) gebracht noch findet dieser in Strawsons Monographie überhaupt Erwähnung. – Was hat es also mit der These auf sich, dass die *revisionäre Metaphysik* direkt etwas mit Whitehead zu tun hat? Genauer gesagt hat sie mit Kant (1781) und Whitehead (1929a) zu tun. Denn Kant will – wie in Pkt. 4.1 dargelegt – die *Metaphysik* in keiner Weise überwinden. Für Kant ist evident, dass kein Weg an der *Metaphysik* vorbeiführt. Kant votiert also nicht etwa für einen Positivismus bzw. Empirismus, wie man lange Zeit fälschlicherweise gedacht hat. Vielmehr fordert Kant implizit genau das, was Einstein (1934) – im Einklang mit dem epochalen Werk Whiteheads (1929a) – verstanden hat: Kant will eine völlig andere Art von *Metaphysik*, nämlich eine, die zwar notwendig rationalistisch, aber dennoch fallibel ist. Mit anderen Worten geht das, was Kant (1781) vorschwebt in Richtung einer Symbiose aus dem Rationalismus des Descartes (1644a) und dem Empirismus bei Hume (1739). Mit der klassischen Physik Newtons (1736) bemüht Kant (1781) dabei bereits erfahrungswissenschaftliche Theorie im metaphysischen Kontext. – Wenn neben Strawson (1959) sich auch Hirsch (2002) in die Debatte einschaltet und unter dem programmatischen Titel "*Against Revisionary Ontology*" Bedenken gegenüber der *revisionären* Ontologie anmeldet, hat er genauso wenig wie erster verstanden, worum es dabei eigentlich geht: Hirsch (2002) liegt zwar noch richtig, wenn er die *revisionäre* Ontologie synonym als *anti-commonsensical ontology* erachtet. Allerdings ist es ein Irrtum, auch die *revisionäre* Ontologie in die Analytische Philosophie verlegen zu wol-

⁴²⁸¹ Vgl. hierzu ergänzend Poser (1986).

⁴²⁸² Dabei bringt Whitehead gewissermaßen die *revisionären Metaphysiken* des *britischen Idealismus* von F.H. Bradley und McTaggart einerseits, und des *britischen Emergentismus* von S. Alexander andererseits mit seiner *Cyber-Physik* zum Abschluss.

len.⁴²⁸³ Deren Position soll bei Hirsch (2002: 109) dann lediglich in dem Postulat bestehen, »that common sense ontological judgments are a priori necessarily false«, das er wiederum etwa Chisholm zuschreibt. Doch bei Strawson geht es weder um dieses Postulat noch um Chisholm, während es umgekehrt bei Hirsch weder um den *Ratio-Empirismus* noch um Whitehead oder Bunge geht. Natürlich ist eine Diskussion um die meta-ontologischen Dispositionen auf Basis solcher Irrtümer kaum sinnvoll zu führen.

Als profunder Kant-Kenner begründet Whitehead (1929a) nicht nur seine zweite Kopernikanische Wende wie sein *Subjekt-Superjekt* unmittelbar auf Kant aufbauend. Vielmehr entwickelt er ungeachtet seiner konstruktiven Kant-Kritik auch die erste Metaphysik, die der Metaphysikkritik Kants gerecht wird, nämlich die *ratio-empirische Metaphysik*, die das stetige Wechselspiel mit den Wissenschaften sucht. Damit geht er noch über Eislers (1905: 125 f.) in Pkt. 4.1 behandelte empiristische Universalsynthese hinaus, wenn auch beides vom Prinzip her in die gleiche Richtung läuft. Whiteheads *Ratio-Empirismus* hat Kant (1781) vorausgedacht, aber schon deshalb nicht in ähnlicher Weise praktizieren können, als die große Zahl wissenschaftlicher Theorien einschließlich der heute gültigen naturwissenschaftlichen Schlüsseltheorien erst Jahrzehnte nach ihm entwickelt wurde. Dabei intensivierte sich nicht nur die Forschung in der Physik mit immer neuen Theorien, sondern es kamen auch Theorien anderer Disziplinen hinzu; in der Biologie etwa mit Lamarck (1809) oder Darwin (1859). Whitehead (1929a) steht also in einem völlig anderen Kontext als Kant, nämlich in einem bereits ausdifferenzierten Wissenschaftssystem. Whiteheads empiristische Universalsynthese und ihre rationale Reflexion basiert etwa auf Darwin (1859), der zusätzliche Impulse für Whiteheads organismisches Evolutionsverständnis liefert, auf Maxwells Theorie elektromagnetischer Felder, auf Plancks Quantenhypothese, auf Einsteins Relativitätstheorie usf.

Vor diesem Hintergrund kann die Symbiose aus Rationalismus und Empirismus, die Whitehead (1929a) gleich zu Anfang seines Werks betont, allein darauf hinauslaufen, dass die ontologischen Kategorien auf Basis einer empiristischen Universalsynthese gewonnen werden und anschließend im platonistischen Sinne auf logico-mathematischer Basis rational reflektiert und verdichtet werden. Ein ähnliches, jedoch im aristotelischen Sinne akzentuiertes Vorgehen findet sich später bei Bunge (1977a, 1996: 322). In diesem Sinne ist revisionäre Metaphysik immer *primär* Kosmologie; zum einen, indem sie auf die fundamentalen Strukturen der Realität zielt, zum anderen, weil mit Quine (1977: 187) gilt, »that the fundamental objects are the physical objects«. Das aber muss – entgegen der in *aristotelischer* Tradition stehenden Perspektive Bunges – keineswegs bedeuten, dass die fundamentalen Strukturen der Welten als Gegenstandsbereich der Metaphysik notwendig auf die aktualistische eingegrenzt sind. Vielmehr liegt es in der Natur der platonistischen Welt-sicht, dass es um eine Vielzahl logico-mathematisch adressierbarer Welten gehen muss,

⁴²⁸³ Darin besteht ein deutlicher Indikator für die unter analytischen Philosophen weitverbreitete Auffassung, es gäbe zur *Analytischen Philosophie* keine Alternative, was mit Rescher (2001b) anders zu sehen ist.

wie es schließlich in Leibnizens *Metaphysica* realisiert ist. Whitehead steht primär in dieser Platon-Leibnizschen Linie, doch ist die aristotelische mit dem empiristischen Moment bei ihm genauso gegenwärtig. Wenn Strawson (1959) selbst die *deskriptive* Metaphysik verkörpert und dabei dem OLP-Lager zuzurechnen ist,⁴²⁸⁴ während Whitehead (1929a) die *revisionäre* vertritt, gilt zweifelsfrei: *deskriptive vs. revisionäre Metaphysik* ist prototypisch gleichzusetzen mit *Strawson vs. Whitehead*. Und dieser Gegensatz besagt: So vehement Strawson (1959) die Ontologie im Sinne der linguistischen Wende zur sprachphilosophischen Ontologie erklären will, so entschieden lehnt genau dreißig Jahre zuvor Whitehead (1929a) diese als Zugang zur Ontologie bzw. als Wesensverständnis ebensolcher ab. Was revisionäre Metaphysik darstellt, ist damit entschieden: sie ist entweder Klasse-3-Metaphysik, wenn man – wie Bunge – die Metaphysik auf den Ratio-Empirismus im aristotelischen empirisch-physischen Sinne beschränkt. Es geht dann um streng *wissenschaftliche* Ontologie. Oder sie ist Klasse-4-Metaphysik, wenn sie dies – mit Whitehead – inkorporiert, jedoch der Ratio-Empirismus zu einer höheren, platonistischen Stufe verdichtet wird. Es geht dann um ontologische Kategorien, die in ihrem strukturalistischen Kern zugleich *logico-mathematische* sind, womit sich erst der zusätzliche Zugang zur *technologischen* Ontologie der Technopraxis eröffnet.

Wenn Strawson die *deskriptive* Abteilung primär in den Werken Kants und Aristoteles' begründet sieht,⁴²⁸⁵ sind dazu drei wichtige Anmerkungen zu machen, die sich bereits im fünften Teil abzeichneten. (i) Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass es in der deskriptiven Metaphysik verschiedenste Arten von Kategorien gibt: es gibt nämlich nicht nur (a) *linguistische* Kategorien, wie sie sich etwa bei Gruber (1993, 1995) finden, oder (b) *mathematische* Kategorien bei Quine und Nachfolgern. Vielmehr sind Kant und Aristoteles in kategorialer Hinsicht entscheidend, indem es mit Kant (c) *epistemische* Kategorien gibt, und mit Aristoteles schließlich auch (d) *ontische* Kategorien. Offenbar hat Strawson (1959) die kategorialen Unterschiede mit seiner deskriptiven Metaphysik nicht bedacht; insbesondere dann nicht, wenn er Kant und Aristoteles gleichzeitig zu Begründern dieser Richtung macht. Insofern sind auch die TLO-Ansätze inkommensurabel; denn diese setzen etwa ad (a) mit SUMO oder Cyc auf *linguistische* Kategorien; ad (b) mit dem *Analytic Approach* auf *mathematische* Kategorien; ad (c) mit DOLCE auf Kantische *epistemische* Kategorien; ad (d) mit BFO oder BWW schließlich im neo-aristotelischen Sinne auf *ontische* Kategorien. Darin bestehen sehr wesentliche Unterschiede, die schon daran ersichtlich werden, dass *ontische* Kategorien (z.B. BFO) nicht mit einer Mögliche-Welten-Semantik bzw. einer Modalmetaphysik konform gehen; *epistemische* Kategorien (z.B. DOLCE) hingegen schon. Andererseits sind es *ontische* Kategorien, die im Zeichen des *Scientific Realism* (z.B. BWW) stehen, nicht *epistemische* Kategorien, in deren Kontext die Möglichkeit

⁴²⁸⁴ Vgl. hierzu Pkt. 5.5.

⁴²⁸⁵ Vgl. Strawson (1959: 9).

objektiven Wissens im Allgemeinen mindestens bezweifelt bzw. verschiedentlich auch strikt zurückgewiesen wird.

(ii) Kant (1781) ist hier insofern von Relevanz, weil mit seiner Kopernikanischen Wende der *Epistemologie* und damit dem *konzeptuellen Schema* Vorrang gegeben wird vor der ontischen Außenwelt. Insofern sind die Kantischen Kategorien epistemische Kategorien. Mit Verweis auf Pkt. 4.1 heißt das allerdings gerade nicht, dass Kant damit die Existenz der Außenwelt infrage stellt, wie das im Idealismus Berkeleys der Fall ist. Mit der auf Carnap (1950) zurückgehenden Differenzierung von *interner und externer Metaphysik* erhält zwar bei Kant die in der Klasse-1-Metaphysik vernachlässigte *interne Metaphysik* bzw. das konzeptuelle Schema die primäre Stellung, ohne dass jedoch dabei der Gedanke der *externen Metaphysik* verworfen wird. Moderne Metaphysikkonzeptionen, insbesondere jene Reschers (1996, 2000b), widmen zu Recht beiden Aspekten die nötige Aufmerksamkeit, also insbesondere auch dem konzeptuellen Schema. Bei Carnap (1928b) ist das hingegen anders als bei Kant oder später bei Rescher, nämlich insofern, als dieser die Frage nach der Existenz der Außenwelt zum philosophischen Scheinproblem degradiert. Dass darin ein Trugschluss besteht, wird bereits mit dem radikalen Konstruktivismus offensichtlich, der sich auf Kant beziehend diesen nunmehr vollends falsch auslegt und eine genuin *Außenweltlose-Ontologiekonzeption* entwirft. Wie ausgeführt, besteht das Ziel der deskriptiven Metaphysik primär darin, die ontologischen Annahmen, die menschlicher Kognition und der natürlichen Sprache *in Erkenntnisprozessen* zugrundeliegen, explizit zu machen. Entsprechend referenzieren die Kategorien auf kognitive Artefakte, die mehr oder weniger von menschlicher Wahrnehmung, ihrer kulturellen Prägung und sozialen Konventionen abhängen. Kategorien sind in dieser W2-Ontologie nicht Kategorien des Seins, sondern im Sinne Kants (1781) *Kategorien des Denkens*. Mit Verweis auf Pkt. 6.2.6 ist für die deskriptive Richtung damit weniger ein Realismus kennzeichnend als vielmehr eine Affinität zum *methodischen Konstruktivismus*, der sich genauso an den Werken Kants (1781) und vor allem Wittgensteins (1953) orientiert. Man sollte nicht meinen, dass diese tiefen metaphysischen Fragen, die etwa auf den extremen Idealismus G. Berkeleys (1710) zurückreichen, viel mit der Informatik zu tun haben. Doch tatsächlich haben konstruktivistische Auffassungen hier eine gewisse Tradition, und verwechseln dabei oftmals die Ebenen.

Während bei McCarthy/Hayes (1969) noch ein *metaphysischer Realismus* existent ist, und sich dieser auch etwa bei Wand/Weber (1989b, 1990a), Sowa (2000) oder Batres/West et al. (2005, 2007) bzw. M. West (2011) findet, wird davon in den heute gängigen AI-Ontologien abgesehen. Indessen kann damit die weit überwiegende Zahl an AI-Ontologien *nicht* CPSS-adäquat sein, womit sie sich in universaler Hinsicht insgesamt disqualifizieren. Denn CPS-Computer sind als *"Reality Machines"* selbst "in der Welt", und als kausaler Teil der Welt gehören sie zur Realität. Vor allem aber sind solche *"Reality Machines"* nur programmierbar, wenn sie mit McCarthy (1995) einen *"general world view"* besitzen, der weder ein linguistischer ist noch sich auf linguistischer Basis sachgerecht realisieren lässt.

Damit ist nicht nur klar, wie zentral McCarthys (1995) Postulat des "*general world view*" für die Informatik ist, sondern auch, dass die Disziplin damit notwendig einer metaphysischen Fundierung bedarf. Insofern besteht der Dreh- und Angelpunkt der modernen Informatik in Cyber-physischen Systemen (CPS), mit denen das Erfordernis einer Neuinterpretation des Leibnizprogramms als ihr Ursprungsparadigma impliziert ist. Speziell Leibnizens *Metaphysica* bedarf mit Pkt. 4.1 dabei der Erneuerung durch die Whiteheadsche Prozessmetaphysik.

Die CPSS-Inadäquanz gängiger AI-Ontologien betrifft zuvorderst Hobbsens (1985a) *Common Sense-Ontologies* wie Grubers (1993, 1995) linguistische Ontologiekonzeption, die in ihrer Popularität Strawsons (1959) deskriptive Metaphysik in der Informatik erst richtig zum Durchbruch verhilft. Für diese ist nach konstruktivistischer Lesart kennzeichnend, dass man sich über die fundamentalen Strukturen der Außenwelt keine Gedanken mehr zu machen braucht. Stattdessen wird der Ontologiedanke im Kern auf die Beschreibung der Oberflächenstruktur der natürlichen Sprache reduziert. So stellen Wyssusek/Klaus (2005b: 336) unter direkter Bezugnahme auf Gruber fest: »Hence, ontologies in artificial intelligence are linguistic conventions that do not tell us anything about the outside world«. Wenn die deskriptive Metaphysik sich mit der Explikation der Kategorien des *Common Sense* zufrieden gibt, sollte nachvollziehbar sein, dass darin keine Basis einer tatsächlich *universalen Ontologie* bestehen kann. Das gilt nicht zuletzt deshalb, weil bei Gruber keine Top-level Ontologie systematische Verankerung findet. Sollte sie am Rande doch eine Rolle spielen, was für Gruber eine empirische Frage ist, dann geht es bei ihm um *linguistische* Top-level Ontologien, die Gruber (1991) im Zeichen des *Common Sense* als *Common Ontologies* bezeichnet. Doch an sich ist Grubers Ontologiekonzeption nicht mal *Common Sense*, sondern basiert lediglich auf dem Konsens der *unmittelbar* Beteiligten.

Zwar beschränkt sich die deskriptive Metaphysik bei weitem nicht auf die *Common Sense-Ontologie*, indem selbst die *Scientific Ontology* B. Smithens, die Phänomenologie wie schließlich auch die analytische Metaphysik zu ihr zu zählen sind. Mit B. Smith (2009) bildet die Ontologie zwar *per se* ein *deskriptives* Unterfangen, das mit Smith (1987a) allerdings nicht linguistisch, sondern *phänomenologisch* zu vollziehen ist. Entsprechend kann Guarinos (1995: 630) Auffassung, wonach sie nichts anderes sei als die *Commonsense Metaphysics* von Hobbs et al. (1987), kaum richtig sein. Tatsächlich wird Strawsons (1959) deskriptive Metaphysik gerade als geeignet erachtet, um die fundamentalen Entitätstypen des *Common Sense* zu spezifizieren.⁴²⁸⁶ Insofern zeigt sich die vereinte Ausrichtung aller Varianten am linguistischen OE-Ansatzpunkt (vgl. Pkt. 3.3.2). Entsprechend lässt sich die *Commonsense Metaphysics* gewissermaßen als Kern des Problems identifizieren, die alternativ auch als *Natural Language Metaphysics*,⁴²⁸⁷ oder etwa auch als "*naive*

⁴²⁸⁶ Vgl. L. Schneider/Cunningham (2003).

⁴²⁸⁷ Vgl. E. Bach (1986a) sowie E. Bach/Chao (2012).

Metaphysics" bezeichnet wird.⁴²⁸⁸ Wenn K. Fine sie ferner als "*shallow metaphysics*" bemüht,⁴²⁸⁹ wird ihre Problematik bereits daran deutlich, dass sich die Kantische Metaphysikkritik *explizit* auf diese bezieht. Kant wendet sich gerade explizit gegen »alle Schikanen einer seichten Metaphysik«, was in der englischen Fassung richtig mit "*shallow metaphysics*" übersetzt ist.⁴²⁹⁰ Dieser Vorwurf an die *deskriptive Metaphysik* ist umso mehr zu bekräftigen, als K. Fine die "*naive Metaphysics*" gerade nicht als Kritik der – auch in der Informatik – gängigen Metaphysikpraxis vollzieht, sondern diese vielmehr gegenüber der *revisionären Metaphysik* vielmehr verabsolutieren will.⁴²⁹¹ Als solche wird die "*naive Metaphysics*" bei K. Fine (2016) explizit als "*Metaphysik der Erscheinungen*" verstanden,⁴²⁹² welche sowohl bei Strawson (1959) als auch in Form der *naive Metaphysics* bei Klempner (1994) direkt auf Kant bezogen wird. Allerdings wird dabei übersehen, dass eine "*Metaphysik der Erscheinungen*" das letzte gewesen wäre, was Kant vorschwebt. Das gilt erst recht für die Position K. Fines (2012b), indem er diese als primär gegenüber der *revisionären Metaphysik* sieht, während für Kant genau das umgekehrte gilt.⁴²⁹³ Gemeinhin unverstanden ist ferner der Umstand, dass Kant die Metaphysik keineswegs ablehnt, sondern sie gerade für erforderlich hält. Allerdings nur in einer speziellen Variante, die gewiss nicht die deskriptive, sondern die revisionäre ist. Denn Kant (1783a: 43) zielt mit der Metaphysik im Sinne des "Zensoramt" gerade nicht etwa auf subjektive Erscheinungen, sondern im Sinne ihrer Revision vielmehr explizit auf die "objektive Realität". Mit anderen Worten besteht das Ziel für ihn gerade nicht in der deskriptiven, sondern in der *revisionären Metaphysik*. Kant geht es um *wissenschaftliche Metaphysik*, also um eine, die an der Erfahrung festmacht, was wiederum mindestens eine *Klasse-3-Metaphysik* impliziert, was Strawsons Idee der deskriptiven Metaphysik als *Klasse-2-Metaphysik* entsprechend vollständig disqualifiziert. Dennoch steht außer Frage, dass die Kritik der deskriptiven Metaphysik in differenzierter Weise zu erfolgen hat, weshalb neben der universal sprachphilosophischen *Klasse-2-Metaphysik* der neo-aristotelische aktualistische Modus als *Klasse-2A-Metaphysik* (E.J. Lowe, B. Smith usf.) sowie der possibilistische Modus als *Klasse-2P-Metaphysik* (D.K. Lewis usf.) gesondert abzugrenzen sind. Demgegenüber weist auch die

⁴²⁸⁸ Vgl. K. Fine (2016).

⁴²⁸⁹ Vgl. dazu Moltmann (2014).

⁴²⁹⁰ Vgl. Kant (1783b: 45).

⁴²⁹¹ Vgl. K. Fine (2012a): »I'm firmly of the opinion that real progress in philosophy can only come from taking common sense seriously. A departure from common sense is usually an indication that a mistake has been made. If you like, common sense is the data of philosophy and a philosopher should no more ignore common sense than a scientist should ignore the results of observation«, vgl. dazu auch K. Fine (2009: 176). Damit vertritt Fine nicht nur die genaue Gegenposition zur allgemein akzeptierten Metaphysikkritik Kants, sondern auch eine, die mit den Erfordernissen einer *CPSS-adäquaten Ontologie* schlichtweg inkompatibel – und damit für die Informatik völlig unbrauchbar ist.

⁴²⁹² Es wird nicht nur übersehen, dass revisionäre Metaphysik jene der Whiteheadschen Art ist, sondern auch, dass alle Momente der "*Metaphysik der Erscheinungen*" in Form des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* vollständig integrativ mit abgedeckt sind. Mit Whiteheads Prozessmetaphysik ist sie also gegenstandslos.

⁴²⁹³ Das gilt auch dann, wenn K. Fine sich nicht explizit auf Kant bezieht. Es ist davon auszugehen, dass auch in diesem Fall nicht klar ist, was *revisionäre Metaphysik* tatsächlich ist, nicht zuletzt mit Blick auf ihren *Ratio-Empirismus*, der bei vielen althergebrachten Metaphysiken fehlt.

"*cognitive*" metaphysics als weitere Variante deskriptiver Metaphysik ihre Besonderheiten auf,⁴²⁹⁴ indem sich diese auf die spezielle Auslegung von *Kognition* bei Guarino et al. bezieht, die gänzlich anders gehalten ist als die Leibniz-Whiteheadsche Kognition.⁴²⁹⁵

Insgesamt lässt sich sagen, dass allen Klasse-2-Metaphysiken ein Realitätsverständnis zugrundeliegt, das nicht CPSS-adäquat ist, auch wenn die Gründe dafür ganz verschieden sind: bei der Klasse-2P-Metaphysik bzw. dem *Modalen Realismus* von D.K. Lewis (1986b) werden alle möglichen Welten als "real" erachtet, was für CPS nicht zweckmäßig erscheinen kann. Gleichzeitig entfällt mit dem Modalen Realismus die Notwendigkeit, die fundamentalen Strukturen der Realität systematisch zu untersuchen. Demgegenüber basieren Klasse-2A-Metaphysiken zwar auf *ontischen* Kategorien und sind strikt an der aktualistischen Welt orientiert; allerdings nur eingeschränkt, indem es ihnen im Zeichen des immanenten Realismus um die Frage der Instantiierung von Universalien zur Realitätsrepräsentation geht. Demgegenüber spielt die systematische, ratio-empirische Analyse der fundamentalen Strukturen der Realität für sie eine untergeordnete Rolle. Zwar stellen Klasse-2A-Metaphysiken – wie etwa in Pkt. 6.1.3 mit E.J. Lowe gezeigt – Überlegungen zu *ontischen* Kategorien und ganzen Kategoriensystemen an, jedoch geht es dabei um die Aktualisierung bzw. Modifikation des aristotelischen Kategorienschemas, nicht etwa um die an erfahrungswissenschaftlichen Theorien bzw. Technologien orientierte ratio-empirische Neudefinition ontischer Kategorien. Diese auf aristotelische Universalien bezogene 3D-Perspektive mag für banale wissenschaftliche Zwecke genügen; doch in Bezug auf technologische CPS, die "in der Welt" sind, läuft sie bereits mit Blick auf das Realitätsverständnis zu kurz.⁴²⁹⁶ Beim Standardfall der Klasse-2-Metaphysik wurde das defekte Realitätsverständnis oben schon mit Wyssusek und Gruber offensichtlich, weil man sich im ILP- bzw. vor allem im OLP-Sinne auf die Sprache fixiert, und die externe Welt allenfalls mit Blick auf den Extensionsbereich von Relevanz ist. In solchen Fällen besteht dann partiell eine Parallele zur Klasse-2A-Metaphysik. Zudem sind ihre *epistemischen* Kategorien in keiner Weise für eine CPSS-adäquate Ontologie hinreichend, wenn sie auch für Agentenwelten von Relevanz sind. Damit ist gezeigt, dass die deskriptive Metaphysik bereits mit Blick auf das Realitätsverständnis für eine CPSS-adäquate Ontologie unhaltbar ist.

Nun könnte man meinen, dass die Diskussion um den metaphysischen Realismus, die Existenz der Außenwelt wie der Streit um die Notwendigkeit zur Klärung ihrer fundamentalen Strukturen allein etwas mit solch einfachen linguistischen Ontologien zu tun hat. Doch auch das ist unrichtig, denn dieser Streit besteht genauso in der TLO-Debatte. Das ist

⁴²⁹⁴ Vgl. Gangemi/Guarino et al. (2002: 167): »We do not commit to a strictly referentialist metaphysics related to the intrinsic nature of the world: rather, the categories we introduce here are thought of as cognitive artifacts ultimately depending on human perception, cultural imprints and social conventions (a sort of "cognitive" metaphysics)«.

⁴²⁹⁵ Entsprechend sollte die Informatik im Zeitalter des *Cognitive Computing* dann fragen, wie Perzeption und Kognition für alle Agentenklassen universal wie CPSS-adäquat zu konzipieren sind, womit sie wiederum notwendig zu ihrem Leibniz-Whiteheadschen Ursprungparadigma zurückfinden muss.

⁴²⁹⁶ Neo-aristotelische Ansätze sind darüber hinaus aus anderen Gründen CPSS-inadäquat; das beginnt bereits mit ihrer Ablehnung *möglicher Welten*, die sich in ihrem Aktualismus begründet.

etwa bei G.H. Merrill (2010a, 2010b) der Fall, der B. Smithens *deskriptiver* BFO-TLO vorwirft, dass sie den *metaphysischen Realismus* voraussetze; dem entgegen Smith/Ceusters (2010), dass es sich dabei lediglich um einen *methodologisch* verstandenen *ontologischen Realismus* handle. Umgekehrt wird der *metaphysische Realismus* im Zuge der *revisionären* BWW-TLO mit Bunges Metaphysik selbstverständlich vorausgesetzt. In der Tat ist diese alte metaphysische Frage im Grunde sämtlichen TLO-Ansätzen inhärent. So findet sich dazu schließlich auch bei der *deskriptiven* DOLCE-TLO als dritten der am weitesten verbreiteten TLO-Ansätze eine klare Position: Gangemi/Guarino et al. (2001) verneinen die Frage, ob "Ontologie" die "reale Welt" zum Gegenstand habe wie sie etwa durch einen Physiker gesehen wird, zugunsten ihrer Ontologie epistemischer Kognitionsakte. Die an Kants epistemischen Kategorien festmachende DOLCE-TLO, die sich explizit als *deskriptive Metaphysik* versteht,⁴²⁹⁷ bietet damit in dieser Sache die beste Diskussionsbasis, und das in drei Hinsichten: (a) wenn Ontologie bei DOLCE nicht die "reale" Welt des Physikers zum Gegenstand hat, hat DOLCE offenbar ein elementares Problem mit Cyber-physischen Systemen (CPS) bzw. Computern als "*Reality Machines*". Denn diese sind "in der Welt", wobei die Welt eine physische Welt ist. Schon deshalb ist die DOLCE-TLO CPSS-inadäquat. (b) Eine wegweisende Ontologiekonzeption hat Ontologie als Zusammenspiel von universaler Ontologie und regionalen Ontologien zu verstehen. Zu diesen regionalen Ontologien gehört insbesondere auch die Ontologie der Physik, allen voran jene physischer Objekte.⁴²⁹⁸ Dabei kommt offensichtlich die oben erwähnte Inkompatibilität zwischen ontischen und epistemischen Kategorien zum Tragen. (c) Ihr Zusammenspiel wird umso wesentlicher, je mehr *Scientific Ontologies* in den ontologischen Fokus rücken. Diese basieren elementar auf dem Gedanken der *Möglichkeit objektiven Wissens*, die wiederum direkt mit dem metaphysischen Realismus zusammenhängt. Entsprechend steht die DOLCE-TLO der *Möglichkeit objektiven Wissens* skeptisch bis ablehnend gegenüber, womit sie nach allgemeinem Verständnis kaum eine geeignete Grundlage für *Scientific Ontologies* bilden kann.

Der Streit um die Außenwelt wie damit zusammenhängend um die Möglichkeit objektiven Wissens hat die Philosophie über Jahrhunderte bestimmt. Aufgeklärte Philosophen halten es wie Popper, für den der metaphysische Realismus als fundamentale Hypothese genauso unproblematisch ist wie sonstige Hypothesen: Denn »[d]ie rationale Diskussion, das heißt die kritische Auseinandersetzung im Interesse der Annäherung an die Wahrheit, wäre ohne objektive Realität sinnlos.«⁴²⁹⁹ Auch hat Popper mit dem Kritischen Rationalismus gezeigt, dass *objektives Wissen* möglich ist. Kein Philosoph wird ernsthaft bestreiten, dass es sich bei den naturwissenschaftlichen Schlüsseltheorien um "objektives" Wissen im Popperschen Sinne handelt. Dabei spielt insbesondere der Fallibilismus eine zentrale Rolle. Dieser ist nicht nur an sich für objektives Wissen charakteristisch, sondern auch für die

⁴²⁹⁷ Vgl. Guarino/Guizzardi (2006: 121 ff.).

⁴²⁹⁸ Vgl. etwa M. Heller (1990) sowie Collins/Clark (2004).

⁴²⁹⁹ Vgl. Popper (2002b: 92).

Existenz der Außenwelt. Wie sollte der Fallibilismus im empirischen Sinne möglich sein, ohne dass die Außenwelt existierte?⁴³⁰⁰ Mit anderen Worten ist der *metaphysische Realismus* mit Popper und Rescher Voraussetzung für den Fallibilismus. Wie oben etwa mit Hobbs, Gruber, Wyssusek, G.H. Merrill oder Guarino gezeigt, werden diese alten metaphysischen Streitfragen der Philosophie mit der Übernahme der Ontologie indirekt oder direkt in die Informatik verlagert. Gewiss ist diese Sache gerade auch für diese fundamental zu klären, insbesondere deshalb, weil sie hierbei selbst mit völlig veralteten Positionen aufwartet. Dennoch stellt sich gerade hier die Frage, inwieweit solche Grundsatzdiskussionen für die Informatik förderlich oder für ihre ontologische Fortentwicklung eher hinderlich sind. Hier ist durchaus ein gewisser Pragmatismus gefragt: Die Alltagsrationalität des gesunden Menschenverstands (*common sense*) stellt die Existenz der Außenwelt sicherlich kaum mehr in Frage; warum das dann bei "Alltagsontologen" wie Wyssusek noch der Fall ist, erscheint kaum nachvollziehbar. Andererseits sollte man den geforderten Pragmatismus nicht falsch verstehen: Das Erfordernis der CPSS-Adäquanz von Ontologien, speziell der *Top-level Ontologie*, ist bei "*Reality Machines*" nicht verhandelbar.

Tatsächlich sind die Positionen von Hobbs, Gruber, Wyssusek, G.H. Merrill oder Guarino mit Blick auf die Zwecke der Informatik in keiner Weise haltbar. Das gilt in Bezug auf das objektive Wissen etwa hinsichtlich der Anforderungen der *Semantic E-Sciences*, indem diese objektives Wissen elementar voraussetzen. Dabei geht es im transdisziplinären Sinne vor allem um das Verhältnis zwischen universaler Ontologie und regionalen Ontologien. Mit Popper (1972a) ist es gerade das *objektive, wissenschaftliche Wissen*, dem ontologisch Priorität einzuräumen ist. Im Sinne Poppers (1972a) kann entsprechend in *Common Sense-Ontologien* in den Fällen, in denen ein wissenschaftliches Pendant möglich ist, nur ein Notbehelf bestehen. Analoges gilt mit Blick auf *technologische Ontologien*, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen aufbauen. Auch sie besitzen in qualitativer Hinsicht klare Priorität gegenüber den *Common Sense-Ontologien*, wie sie gerade im Fokus der meisten der bisherigen AI-Ontologiekonzeptionen stehen. Dem Transdisziplinaritätsargument kann man sich dabei nicht nur mit Blick auf Smithens *Scientific Ontologies* nicht entziehen, sondern genauso hinsichtlich von Guarinos *ODIS-Ontologies*. Im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* spielen nicht nur beide eine zentrale Rolle, sondern benötigen jeweils eine universalontologische wie transdisziplinäre Konzeption, die die *Einheit des Wissens* systematisch gewährleisten kann. Dabei geht es nicht nur um die Konsistenz der Ontologien als solche, die bei kritischen Prozessen oder PLM-Industrien wie der Luft- und Raumfahrt unabdingbar ist. Vielmehr gilt daneben, dass sich erst auf einer ontologischen Transdisziplinarität und einer entsprechenden Vereinheitlichung allen Wissens die eigentlichen ontologisch bedingten Wettbewerbsvorteile begründen lassen.

(iii) Schließlich ist nochmals auf die verfehlte ontologische Auslegung der aristotelischen Kategorienlehre hinzuweisen. Denn allein dadurch wird die aristotelische Position in

⁴³⁰⁰ Vgl. Rescher (2003a: 347 ff.), insbes. pp. 349, 357.

die deskriptive Metaphysik transformiert. Die aristotelische Metaphysik bzw. Physik läuft vielmehr auf die Bungesche Position hinaus; dann aber geht es nicht um deskriptive, sondern um revisionäre Metaphysik. Entsprechend hatten wir festgestellt, dass Aristoteles zwischen beiden Positionen steht. Das gilt heute ähnlich für neo-aristotelische TLO-Ansätze wie jenem Smithens, der jedoch vom Grundsatz her deskriptiv ist. Indem deskriptive Metaphysik darauf zielt, die ontologischen Annahmen, die hinter der für Erkenntnisprozesse notwendigen Sprache und Kognition bzw. Perzeption stehen, offenzulegen und zu beschreiben, wird deutlich, dass die deskriptive Metaphysik eine zutiefst heterogene Strömung darstellt. Sie ist Klasse-1- und Klasse-2-Metaphysik, wobei insbesondere die Klasse-2-Metaphysik mit Verweis auf Pkt. 4.1 sowie den fünften Teil durch größte Heterogenität geprägt ist. Im Grunde genommen fallen neben Strawson (1959) und Chisholm (Pkt. 5.4) die gesamte analytische Ontologie resp. Metaphysik (Pkt. 5.5) hierher. Diese Strömungen machen die deskriptive Metaphysik in sprachphilosophischer Hinsicht wie in rein rationalistischer Hinsicht (analytische Metaphysik) aus. Daneben ist jedoch auch Husserls Phänomenologie (Pkt. 5.6) unter die deskriptive Metaphysik zu fassen; sie begründet die deskriptive Metaphysik in Sachen Kognition bzw. Perzeption. Weiter sind neo-aristotelische Ansätze (Pkt. 5.2) insofern ebenfalls zu dieser Richtung zu zählen, als sie jenseits von Bunge im Sinne der ontologisierten Kategorienlehre verstanden werden. Insofern teilen sie das deskriptive Moment mit der Analytischen Philosophie, obschon sie mit dem immanenten Realismus ganz anders, nämlich empiristisch akzentuiert sind. Allerdings bezieht sich dieses empiristische Moment nicht – wie bei Bunge – auf die Bildung der Kategorien als solche, wie es der *Ratio-Empirismus* vorsieht. Vielmehr sind die Kategorien sprachphilosophische, womit sich das empiristische Moment im Wesentlichen auf die Instantiierung von Universalien beschränkt.

Wie in Pkt. 5.7 dargelegt, erfährt die Heterogenität der deskriptiven Metaphysik dadurch ihren Höhepunkt, dass sie mit Verweis auf D.K. Lewis, Rescher, W. Sellars, Seibt, M. Heller oder Sider mehr und mehr in 4D-basierte Prozessontologien transformiert wird. Wenn C.D. Broad (1923) explizit wie fundamental auf Whitehead (1919, 1920) aufbaut, W. Sellars (1981a) wiederum explizit wie fundamental auf C.D. Broad (1933), und Seibt (1990a, 1990b) explizit wie fundamental auf W. Sellars (1981a), wird offensichtlich, dass die prozessontologische Analytische Philosophie auf den Schultern Whiteheads ruht. Analoges gilt für die Linie Quine-Lewis-Heller-Sider, oder für den zweifelsfrei bestehenden Umstand, dass der Kern der Prozessmetaphysik Reschers ebenfalls auf Whitehead zurückgeht: Wenn der gesamte ereignis- bzw. prozesszentrische Vierdimensionalismus durch Whitehead begründet wird und die Analytische Philosophie genauso wie neo-aristotelische Verfechter (P. Simons; GFO-TLO) zunehmend auf diesen umschwenkt, ist eines unverkennbar: in der prozessontologischen Transformation bestand der letzte Schritt all dieser Traditionen. Denn die *deskriptive* Metaphysik hat sich damit selbst erledigt, indem sie die grundlegenden prozessualen Sachverhalte nicht selbst begründen kann. Denn diese kom-

men mit Whitehead (1929a) allein aus der *revisionären* Metaphysik. Wenn Strawson (1959: 9) postuliert: »Revisionary metaphysics is at the service of descriptive metaphysics«, ist klar, dass dieses Postulat genau umzudrehen ist, nämlich insofern, als normal-sprachliche Repräsentationen allein eine Benutzerschnittstelle zur eigentlich revisionären Ontologie bilden, die als *realistische* Konzeption entsprechende Kategorien vorgibt.

Wenden wir uns nun nochmals genauer der *revisionären Metaphysik* zu, die in allen metaphysischen Positionen, also hinsichtlich der Ontologie, Epistemologie und Methodologie genau gegensätzliche Positionen vertritt. Die *revisionäre Metaphysik* bildet für Strawson (1959) ein überwiegend *rationalistisches* Unterfangen, worin schon der erste Irrtum besteht. In der oben erwähnten richtigen Reflexion der revisionären Metaphysik ist diese gerade eine *ratio-empirische*, indem das revisionäre Moment unmittelbar mit dem Fallibilismus zu tun hat. Auch hatten wir festgestellt, dass das erste System revisionärer Metaphysik von Whitehead (1929a) stammt, den Strawson (1959) jedoch an keiner Stelle erwähnt – wenngleich es sich mit Verweis auf Pkt. 4.2 dabei um den wohl epochalsten Metaphysikentwurf des zwanzigsten Jahrhunderts handelt. Stattdessen verweist Strawson (1959: 9) bei der revisionären Richtung auf die Metaphysiken von Descartes, Leibniz oder Berkeley, gegen die er mit seiner deskriptiven Metaphysik schon allein aufgrund der mehr als zweieinhalb Jahrhunderte Erkenntnisfortschritt leichtes Spiel hat. Denn mit Verweis auf Pkt. 4.1 fallen Descartes und Berkeley noch unter die *reine Metaphysik*, also unter die Klasse-1-Metaphysik, während es Leibniz vorbehalten ist, die *exakte Metaphysik*, also die Klasse-2-Metaphysik, zu begründen, wobei das Leibnizprogramm insgesamt klar in Richtung der Klasse-4-Metaphysik weist. Demgegenüber ist mit Eisler (1905) die wissenschaftliche Metaphysik, also das, was in Pkt. 4.1 als Klasse-3-Metaphysik abgegrenzt wurde, seit langem in der Diskussion, während selbst die Klasse-4-Metaphysik mit Whitehead (1929a) dreißig Jahre vor Strawson (1959) dargelegt wird. Demnach ist von dessen Ratio-Empirismus bei ihm kein Wort, was kaum für die Qualität von Strawsons metaphysischer Analyse spricht.

Offenbar ist Strawsons metaphysische Analyse einseitig verfasst; sie ist nicht objektiv, sondern OLP-parteilich, denn sie thematisiert in keiner Weise den damaligen Stand metaphysischer Forschung. Dabei wird nicht nur Whitehead (1929a) ausgeblendet; genauso wird N. Hartmanns (1940) *Aufbau der realen Welt* als weiterer kategorialer Ansatz der empirisch gehaltenen *Neuen Ontologie* durch Strawson (1959) ignoriert. Indem es bei Strawson in erster Linie um Ontologie, nämlich um ein sprachphilosophisches Ontologieverständnis und weniger um Metaphysik im eigentlichen Sinne geht, steht außer Zweifel, dass die *revisionäre Ontologie* ohne jedes Eingehen auf die *Neue Ontologie* verfälscht dargestellt ist. Ontologie ist immer kategorial, und der *Fallibilismus* ist auch für die *Ontologie* erforderlich, nämlich insofern, als die ontologischen Kategorien permanenter Revision bedürfen. Das gilt nicht nur für die Wahl der Kategorien, sondern vor allem auch für ihre Verhältnisbestimmung wie schließlich für die Wahl der vorgenommenen ontologi-

schen Dichotomien. Neben ihrer insgesamt metaphysischen Fundierung unterscheidet sich genau darin die große Zahl der Kategoriensysteme. Insofern ist mit Keinänen (2008: 24) zu postulieren: »discovering the categorial structure of reality amounts to selecting the best system of *Revisionary Metaphysics*«. Das läuft vor allem auf einen kritischen Vergleich der beiden großen revisionären Metaphysiksysteme, nämlich jenem Whiteheads (vgl. Pkt. 4.2) sowie Bunges (vgl. Pkt. 5.3) hinaus.

Deskriptive Metaphysiker haben es bei der Beantwortung der eigentlichen metaphysischen Fragen naturgemäß schwer; denn sie sind einerseits fixiert auf die Normalsprache, andererseits betreiben sie keinen systematischen Ratio-Empirismus. Damit verfügen sie nicht über den notwendigen Kompass, sondern schwanken in der Frage hin und her, wie das Kategoriensystem nun genau zu veranlagten ist. Man kann das den verschiedenen Varianten deskriptiver Systementwürfe direkt entnehmen, exemplarisch etwa bei Chisholm in Pkt. 5.4 oder bei E.J. Lowe in Pkt. 6.1.3. Ontologische Kategorien besitzen immer einen *universalen* Anspruch; und was universal ist, das ist zugleich notwendig *regional*. D.h. tatsächlich universal ist eine Ontologie nur dann, wenn sie auch in der Lage ist, alle regionalen Ontologien zu fundieren. Man kann das über sprachliche Kategorien versuchen, doch kommt man dabei nicht weit. Mathematische Kategorien sind zwar an sich universal, doch nicht jedes mathematisch veranlagte Kategoriensystem kann universale Geltung für alle regionalen Ontologien beanspruchen. Es kommt also auf den Zuschnitt an, wobei der sachgerechte Zuschnitt nur dann erfahrbar ist, wenn man sich mit den regionalen Ontologien auch beschäftigt. Dabei spielen insbesondere die regionalen Ontologien der Wissenschaften eine entscheidende Rolle, denn universale Ontologien müssen sich vor allem auch zur Repräsentation *wissenschaftlichen Wissens* eignen. B. Smithens Ontologie zielt als neoaristotelische Ontologie gar primär bis ausschließlich auf *Scientific Ontologies*. Nach allgemeinem Wissenschaftsverständnis basieren diese auf *objektivem* Wissen und *ontischen* Kategorien.⁴³⁰¹ Mit Popper ist kein sachgerechter Wissenschaftsbetrieb im Ergebnis auf Basis subjektiven Wissens und epistemischen Kategorien vollziehbar. Indem regionale wissenschaftliche Kategorien *ontisch* sind, müssen es universale Kategorien auch sein. Daneben kommt es offensichtlich darauf an, dass die Kategorien auch tatsächlich *wissenschaftsadäquat* sind; d.h. sie müssen dem aktuellen Stand der Wissenschaften entsprechen. Wie will man das ohne eine empiristische Universalsynthese gewährleisten?

Mit Pkt. 6.2.6 steht außer Frage, dass ein *naiver Realismus* verfehlt ist; Kants (1781) *konzeptuelles Schema* wie seine Hilfskategorien besitzen gewiss ihre Berechtigung. Auch ist das durch Guarinos DOLCE-TLO betonte Moment *kognitiver Verzerrung* (cognitive bias) keinesfalls in Abrede zu stellen. Dabei nehmen revisionistische Ontologen, die eine Prozessmetaphysik vertreten, das Moment *kognitiver Verzerrung* mindestens genauso ernst wie deskriptive Ontologen; allerdings im Sinne eines kritischen Realismus, nicht im Sinne sprachlicher Probleme: So sind es *revisionäre* Ontologen, die die durch "Furniture-Ontolo-

⁴³⁰¹ Bei Smith ist es demgegenüber intersubjektiv objektiviertes Wissen.

gien" vorgenommene gängige Unterscheidung zwischen Dingen und Ereignissen schon immer als kognitiven Irrtum erkannt haben.⁴³⁰² Deskriptive Ontologen haben diese "belief revision" im Sinne *deskriptiver* 4D-Ontologien wie jener M. Hellers (1990), Seibts (1990b) oder Siders (2001) erst im Nachhinein vollzogen. Natürlich ist die klassische linguistische bzw. sprachphilosophische deskriptive Ontologie als 3D-Ansatz bzw. ggf. als 3D+T-Ansatz konzipiert. Wenn sich diese in dieser Form nicht haltbare ontologische Trennung gerade in der offenbar defekten Alltagsrationalität des gesunden Menschenverstands begründet, ist zu fragen, warum an kognitiven Defekten ansetzende Ontologen dann gerade am *Common Sense* festmachen, also daran, wie uns die Dinge auf Grundlage von Alltagsrationalität erscheinen?⁴³⁰³ Das oftmals vorgebrachte Argument der Eingängigkeit in der Anwendung kann man dabei gewiss nicht gelten lassen; Verständlichkeit ist kein Garant für metaphysische Richtigkeit. Das ist wissenschaftlich wie technologisch bedenklich, zumal wissenschaftlich wie technologisch versierte Ontologen wie Anwender von *Scientific Ontologies* selbst eher dem 4D- denn dem 3D-Schema verhaftet sind. Prozessoptimierer in *Smart Factories* denken und handeln genauso raumzeitlich wie etwa Fluglotsen auf Basis von 4D-Trajektorien. Und es sind gerade solche komplexen Prozesse, bei denen Ontologien als Wissensontologien zum Einsatz kommen. Dabei gilt mit Blick auf die *Ontologie komplexer IoX-Systeme*, dass diese mit Produktlebenszyklen und Wertschöpfungsprozessen bei verteilter Produktion einer raumzeitlichen Ontologiekonzeption bedürfen. Selbstverständlich gilt gleiches für Cyber-physische Systeme (CPS).

Vor allem aber ist es ein Trugschluss von Guarinos deskriptiver Metaphysikposition, wonach sich aus dem Moment *kognitiver Verzerrung* die Unmöglichkeit *objektiven* Wissens wie die einseitige Fixierung auf *epistemische* Kategorien folgern lässt, was bei ihm den Wegfall *ontischer* Kategorien impliziert: An der Möglichkeit wie der Notwendigkeit *wissenschaftsadäquater Kategoriensysteme* ändert das Moment der *kognitiven Verzerrung* nichts. Offensichtlich verkennt Guarino die Natur des Wissens, wenn mit Rescher (2003a: 349) gilt: »The limits of our knowledge may be the limits of *our* world, but they are not the limits of *the* world. We do and must recognize the limitations of our cognition«. Somit lässt sich bereits aus der *Natur des Wissens* das Erfordernis einer *Mehrweltenontologie* herauslesen, die mit Pkt. 3.5 mindestens den vier Welten von CYPO FOX zu entsprechen hat. Insbesondere die wissenschaftliche Repräsentation der Welt 1 kann nicht auf Alltagsrationalität beruhen, weil sie sich in vielen Fällen nicht mit wissenschaftlichen Einsichten deckt. Indem die Welt 1 in kategorialer Hinsicht notwendig die primäre ist, lässt sie sich im Popperschen Sinne allein auf Basis eines revisionären Ansatzes konzipieren. Bzgl. der Welt 3 sieht das Ganze nur auf den ersten Blick anders aus; denn der praktische Zusammenhang ist mit dem technologischen interdependent, und dieser wiederum mit dem wissenschaftlichen. Insofern ist ontologische Konsistenz zu gewährleisten, was insbesondere

⁴³⁰² Wie erwähnt, ist diese Unterscheidung für Quine sogar ontologisch irrelevant.

⁴³⁰³ Vgl. hierzu auch Guizzardi (2005: 92).

dann Relevanz erfährt, wenn in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* sämtliche Wissens- bzw. Ontologietypen parallel existieren. Und in dieser Parallelität bzw. dem Auftreten ontologischer Konfliktsituationen besteht das für die Informatik vorauszusetzende resp. relevante Szenario.

Das im Sinne der *Superintelligenz* zu hebende eigentliche ontologische Potential besteht in der Kombinierbarkeit der unterschiedlichsten Ontologietypen, was bereits etwa mit der erwähnten Kombination von Klinikinformationssystemen, deren Workflows auf *Task Ontologies* (TO) basieren,⁴³⁰⁴ mit biomedizinischen *Domain Ontologies* (DO) beginnt, die TLO-basiert vollzogen wird.⁴³⁰⁵ In der *Smart Enterprise Integration* (SEI) ist diese vollkommen beliebige ontologische Kombinierbarkeit und damit eine integrierte Ontologiekonzeption entsprechend programmatisch anzustreben. Dieses Ziel ist jedoch nur dann einlösbar, wenn die jeweiligen Ontologien sich nicht in ihren Grundannahmen widersprechen; sie benötigen also ein einheitliches "*ontological backbone*", das ihnen allein durch Referenz auf *eine* einheitliche *Top-level Ontologie* zugänglich wird. Insofern ist es als kritisch zu werten, wenn EO-Ansätze als Kernontologien auf *Common Sense-Ontologien* hinauslaufen.⁴³⁰⁶ Es ist damit gerade dieser Hintergrund des ontologischen Konsistenzanfordernis, vor dem die paradigmatischen Annahmen der Alltagswelt explizit zu machen sind. Denn nur auf diese Weise ist in W3-Welten nicht nur ein geteiltes Weltverständnis und semantische Interoperabilität möglich,⁴³⁰⁷ sondern darüber hinaus auch die Gewährleistung ontologischer Konsistenz.

Mit dem Ziel der Entwicklung *wissenschaftsadäquater Kategoriensysteme* muss die revisionäre Metaphysik eine *zweite* Kopernikanische Wende vollziehen, die nach Kant (1781) wieder der metaphysischen Ontologie Priorität vor der Epistemologie einräumt. An die Stelle eines ausschließlichen methodischen Konstruktivismus muss ein grundsätzlicher ontologischer Realismus treten, der die Existenz einer von menschlicher Erkenntnis unabhängigen realen Außenwelt postuliert.⁴³⁰⁸ Diese zweite Kopernikanische Wende wird durch Whitehead (1925, 1929a) explizit in Gegenposition zu Kant (1781) vollzogen. In dieser realen Außenwelt existieren Entitäten in Raum und Zeit, unabhängig davon, ob sie perzipiert werden. Diese Auffassung, nach der die Existenz des Universums an sich unabhängig von menschlicher Wahrnehmung gegeben ist, teilen nahezu alle Naturwissenschaftler. Die Frage, ob es im Zuge kognitiver Prozesse unterschiedlich, d.h. etwa relativistisch, kontextuell usf. wahrgenommen wird, bleibt davon unberührt, allerdings wird sie im Zeichen insbesondere der Relativitäts- und der Quantentheorie wie der damit verbundenen zweiten Kopernikanischen Wende Whiteheads (1925, 1929a) genauso bejaht: So wie bei Whitehead das Subjekt als *Subjekt-Superjekt* integraler Bestandteil der Natur ist, entspricht dies

⁴³⁰⁴ Vgl. etwa A. Kumar et al. (2004).

⁴³⁰⁵ Vgl. exemplarisch Uciteli et al. (2011), die auf der GFO-TLO aufbauen.

⁴³⁰⁶ Vgl. etwa Fox/Chionglo/Fadel (1993).

⁴³⁰⁷ Vgl. hierzu auch Guarino (2014a).

⁴³⁰⁸ Vgl. hierzu auch Rescher (2003a).

der Sichtweise philosophisch geprägter Naturwissenschaftler wie Einstein (1917), Bertalanffy (1927a, 1943),⁴³⁰⁹ Heisenberg (1931), Schrödinger (1956), des Einstein-Schülers Hutten (1968) bis hin etwa zu Neurobiologen wie Maturana/Varela (1980, 1987) oder Physikochemikern wie Prigogine (1993c); sie wird aber im Kontext der Quantentheorie genauso durch naturwissenschaftlich orientierte Philosophen wie Popper (1982b) vertreten,⁴³¹⁰ der damit auch in dieser Hinsicht Whitehead (1929a) folgt.⁴³¹¹ Mit der Frage nach dem *Wesen der Welt* geht es bei Strawsons (1959) *revisionärer* Abteilung tatsächlich um *Metaphysik*, mit Popper (1959: 15) um *Kosmologie*, und mit Blick auf Carnap (1950) um das, was bei ihm unter *externe Metaphysik* fällt.

Indem alle *wissenschaftliche* Metaphysik notwendig mit allen wissenschaftlichen Schlüsseltheorien wie der Relativitäts-, der Quanten- oder auch der synthetischen Evolutionstheorie in Einklang stehen muss, hat Strawson (1959) in seiner Kritik der *revisionären* Richtung ganz offenbar entscheidende Aspekte übersehen. Dass Strawson die revisionäre Richtung insbesondere an Descartes festmachen will, missachtet den Grundgedanken der

⁴³⁰⁹ Vgl. Bertalanffy (1951c: 344) »there is no sharp borderline between the 'knower' and the 'known' [...]«.

⁴³¹⁰ Den Anfang des Eingeständnisses, dass die subjektlose, "objektive" Physik Galileis und Newtons nicht ausreichend ist und einer falschen metaphysischen Weltauffassung unterliegt, macht Einstein (1917) im Rahmen seiner *Relativitätstheorie*, indem er darlegt, dass Beobachtungen nicht absolut, sondern relativ zum Standpunkt eines Beobachters, oder besser: relativ zu seinem Koordinatensystem sind. Damit galt es für die Naturwissenschaften, die Position und Funktion des *Beobachters* zu explizieren, vgl. hierzu auch Dingle (1950). Intelligente komplexe Systeme bestechen nicht zuletzt dadurch, dass sie in ihrer Selbstorganisation selbst *wahrnehmen*, mithin zu *erkennen* vermögen, was schließlich eine *Überwindung der Subjekt-Objekt-Dichotomie* erzwingt. Dies ist bereits mit Blick auf Schellings (1799) Feststellung von der Autonomie selbstorganisatorischer Prozesse einzufordern. Dabei ist die Frage nach den erkenntnis-konstitutiven Beziehungen zwischen Erkenntnissubjekt und Erkenntnisobjekt selbstredend eine metaphysische. Gleiches gilt für das damit verbundene *Postulat der Reintegration des Humanum in die Natur*, wie es durch Prigogine im Kontext der Komplexitätsforschung erhoben wird, vgl. Prigogine/Stengers (1981: 227). Dabei war es die Physik selbst, die in ihrem Streben nach objektiver, exakter Wissenschaft den Menschen aus der Natur verbannt hatte. In Folge dieses einschneidenden Schrittes entstand das *subjektlose Universum*, in dem alles Materie ist, während alles "Geistige" – und im Sinne Hartmanns (1940) auch die damit verbundene höhere Komplexitätsebene – eliminiert ist. Schon Heisenberg (1931: 182) räumt in Kritik Kants im Kontext der *Quantenmechanik* ein, dass eine "objektive" Physik im Sinne einer scharfen Trennung der Welt in Subjekt und Objekt »nicht mehr möglich ist«; denn Beobachtungsprozesse können nach Heisenberg »nicht mehr einfach objektiviert«, ihre Resultate »nicht unmittelbar zum realen Gegenstand gemacht werden«. Für alle Wissenschaften vom Komplexen, zuvorderst für die Physik, ist diese *Reintegration des Menschen* heute konstituierend, weil sie eine wesentliche Voraussetzung ihrer wichtigsten Theorien stellt. Neben physikalischen Erkenntnissen besteht einer der Ausgangspunkte dieser Entwicklung in der Feststellung des Psychologen C. Lloyd Morgan (1887: 90), von dem auch das den Schichtengedanken induzierende Konzept der *emergenten Evolution* stammt: »The laws of nature, or, as I should prefer to call them, the laws of science, are human products, the result of observation and of inference based thereon«. Entsprechend heißt es bei Bertalanffy (1927a: 263): »Die Einheit von Objekt und Subjekt, von Natur und Erkenntnis [...] wird in einer kritischen Form die Grundlage einer neuen Erkenntnistheorie sein«. Diese findet sich bei Popper, der wie Whitehead einen kritischen Realismus vertritt: »All science is cosmology, and all civilizations of which we have knowledge have tried to understand the world in which we live, including ourselves, and our own knowledge, as part of that world«, vgl. Popper (1982b: 1). Dabei gilt mit Hutten (1968: 141): »Science, or knowledge, is a natural phenomenon and so subject to the process of evolution as everything else that occurs in human life«.

⁴³¹¹ Mit seinem *Identitätssystem* resp. seiner *Identitätsphilosophie*, die sich an seine Naturphilosophie anschließt, überwindet bereits Schelling die *Subjekt-Objekt-Dichotomie*. Wenn Prigogine und andere die *Reintegration des Menschen in die Natur* fordern, steht dieses Postulat damit bereits im Zeichen von Schellings *Naturphilosophie*. Diese repräsentiert im grundlegenden Unterschied zu Schellings (1800a) *System des transscendentalen Idealismus* nicht einen subjektiven, sondern einen *objektiven Idealismus*.

universalen Gültigkeit der Kategorien. Implizit assoziiert er damit die revisionäre Metaphysik mit einem Natur- resp. Physikverständnis, das nicht dem seinerzeitigen Stand entspricht. Denn der Cartesische Dualismus mit seiner strikten Trennung zwischen *res cogitans* und *res extensa* ist selbstverständlich nicht nur bereits bei Leibniz und später bei Whitehead (1929a) *ad acta* gelegt,⁴³¹² sondern auch in der modernen Physik. Neben anderen insistiert Heisenberg (1955: 21) darauf, dass der Cartesische Dualismus »sich nicht mehr als Ausgangspunkt zum Verständnis der modernen Naturwissenschaft« eignet.⁴³¹³ Das Bild, das Strawson von der revisionären Metaphysik zeichnet, wird nicht besser wenn er auch Berkeleys (1710) extremen Idealismus der revisionären Richtung zurechnet. Auch dessen Metaphysik besitzt entsprechendes Diskreditierungspotential, denn dieser extreme Subjektivismus, der ein Solipsismus ist, endet nicht nur im Skeptizismus. Vielmehr impliziert dessen Kombination mit dem Solipsismus die Unmöglichkeit des *Fallibilismus*, in dem jedoch wiederum die Grundvoraussetzung wissenschaftlicher Metaphysik besteht. Insofern führt auch dieser zweite Fall in die Irre. Es bleibt somit rätselhaft, weshalb Strawson (1959) die revisionäre Metaphysik gerade an diesen eigenwilligen Ansätzen festmachen will. Natürlich ist damit der durch Strawson heraufbeschworene Widerstreit von *deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik* automatisch zugunsten erster entschieden. Allerdings hat ein solches Vorgehen mit einem kritischen philosophischen Diskurs wenig bis gar nichts zu tun.

Vor diesem Hintergrund kann es kaum überraschen, dass Strawsons (1959) Differenzierung von *deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik* nicht auch von anderer Seite in fundamentaler Hinsicht kritisiert wird, etwa durch Burt (1963), McDougall (1973) oder Lemos (1988). Hamlyn (1984: 4 ff.) bemängelt zu Recht ihre irreführende Unterscheidung einzelner Strömungen und die falsche Zuordnung einzelner Positionen. Tatsächlich ist sie nicht nur unklar,⁴³¹⁴ sondern allein schon deshalb unhaltbar, als ein objektiver Zugang zur Metaphysik nur dann gegeben ist, wenn die *revisionäre* Metaphysik vorausgesetzt wird.⁴³¹⁵ Indem sich letztlich keine einzige fundamentale Kategorie auf Grundlage von Strawsons deskriptiver Metaphysik in tragfähiger Weise bestimmen lässt, sondern dies allein auf Basis revisionärer Metaphysik möglich ist, gilt mit Bales (1987: 165): »All metaphysics or ontology is 'revisionary' in Strawson's sense«. Das lässt sich an einem Beispiel illustrieren: Davidson (1967) führt zwar die *Ereignissemantik* in die OLP-Grundsatzdebatte der deskriptiven Metaphysik ein, aber natürlich kann er diese selbst nicht metaphysisch, sondern

⁴³¹² Whiteheads "actual entity" verkörpert als *wirkliches Einzelwesen* gleichzeitig "geistige" wie "materielle" Momente in sich, womit es gelingt, das *metaphysische* Problem des Cartesischen Dualismus auch *metaphysisch* zu überwinden.

⁴³¹³ Vgl. hierzu auch Heisenberg (1959: 66): »Die Naturwissenschaft beschreibt und erklärt die Natur nicht einfach, so wie sie ‚an sich‘ ist. Sie ist vielmehr ein Teil des Wechselspiels zwischen der Natur und uns selbst. Sie beschreibt die Natur, die unserer Fragestellung und unseren Methoden ausgesetzt ist. An diese Möglichkeit konnte Descartes noch nicht denken, aber dadurch wird eine scharfe Trennung zwischen der Welt und dem Ich unmöglich«.

⁴³¹⁴ Vgl. Löffler (2007).

⁴³¹⁵ Vgl. hierzu Lemos (1988: 36 f.), Simons (1998a) sowie E.J. Lowe (2009).

lediglich sprachphilosophisch begründen. Das ist selbstverständlich allein auf einem revisionär-realistischen Metaphysiksystem möglich. Davidson hat die Einsicht, die Ontologie auf Basis von 4D-Entitäten zu konzipieren, auch gewiss nicht aus der Sprachphilosophie gewonnen, sondern dem Ratio-Empirismus seines akademischen Lehrers Whitehead zu verdanken. Anders gewendet kann theoriebasierte Sprache mit Sarkar (1980) im kategorialen wie im weiteren Sinne allein auf einer Metaphysik aufbauen, die *wissenschaftliche* bzw. *revisionäre* Metaphysik ist.

Indem die Bestimmung dieser fundamentalen Kategorien das zentrale Wesen der *Top-level Ontologie* ausmacht, steht außer Frage, dass ihr grundsätzlicher Zugang allein *revisionärer* Natur sein kann. Auch gilt zweifelsohne, dass Unklarheiten in den Konzepten deskriptiver Metaphysik zwangsläufig eine revisionäre Metaphysik erfordern;⁴³¹⁶ denn nur diese ist in der Lage, ontologische Streitfragen im ratio-empiristischen Diskurs techno-wissenschaftlicher Metaphysik zu lösen. Natürlich gibt es diese typisch metaphysischen Streitfragen auch in der Analytischen Philosophie, der Strawson selbst zuzuordnen ist. So sind traditionelle, 3D-orientierte sprachphilosophische Ansätze weder ohne weiteres etwa mit Lewis' möglichen Welten noch mit Siders' Vierdimensionalismus oder Seibts monistischer Aktivitätskategorie vereinbar. Auf die *metaphysica generalis* bezogen gibt es wohl keine einzige fundamentale metaphysische Frage, die in den Reihen der Analytischen Philosophie nicht diskutiert würde. Vielmehr wird ein "neues Bedürfnis" nach Metaphysik konstatiert, nicht nur in der philosophischen Disziplin allgemein,⁴³¹⁷ sondern speziell auch in den Reihen der Analytischen Philosophie.⁴³¹⁸ Auch ist evident, dass die deskriptive Metaphysik weder Priorität gegenüber der revisionären besitzen kann noch ohne sie auskommt. Damit aber wird die deskriptive Metaphysik offensichtlich hinfällig, indem sie sich nicht selbst genügen kann und somit auch keinen genuinen, separaten metaphysischen Ansatzpunkt darstellen kann. Was bleibt ist die Frage der sprachlichen Repräsentation, aber dann geht es um Repräsentationsmethoden und nicht um Metaphysik.

Wie dargelegt, ist die Aufhebung des Widerstreits von *revisionärer* vs. *deskriptiver Metaphysik* für die Überwindung des in Pkt. 1.2 umrissenen paradigmatischen TLO-Inkommensurabilitätsproblems unabdingbar. Denn das Kernproblem der Ontologie besteht vor dem Hintergrund der verschiedensten miteinander verwobenen Integrationsszenarien der Informatik in der vollumfänglichen semantischen Integration. Auf Basis des deskriptiven Ansatzes ist das Inkommensurabilitätsproblem jedoch nicht lösbar, was sich bereits mit Pkt. 5.5 unmittelbar aus Wittgensteins (1953) *relativistischer* Bedeutungstheorie herleiten lässt. Weder sprachrelativistische Grundsatzpositionen noch relativistische Erkenntnisansätze mitsamt des Theorienrelativismus konkurrierender Paradigmata sind mit dem Ziel der vollumfänglichen semantischen Integration unterschiedlichster Ontologien verein-

⁴³¹⁶ Vgl. Keinänen (2008).

⁴³¹⁷ Vgl. etwa M. Gabriel et al. (2015).

⁴³¹⁸ Vgl. P.M. Simons (2009a); vgl. in Bezug auf *Positivismus vs. Metaphysik* auch Rescher (2001b: 63).

bar.⁴³¹⁹ Eine dauerhaft effiziente, flexible und robuste Verschaltung von Ontologien wird allein auf Basis eines universalontologischen Ansatzes möglich, der an realistischen Kategorien festmacht. Denn die Realisierung des Ziels, die Inkommensurabilität von Ontologien, insbesondere der *Top-level Ontologien* zu überwinden, verlangt nach *einheitlichen* Begründungs-, Rationalitäts- und Sprachstandards, die mit der relativistischen Position der deskriptiven Metaphysik nicht zu realisieren sind. Vielmehr kann dies nur mit einem Ansatz gelingen, der im oben erörterten Sinne eine *präskriptive* Metaphysik verkörpert, wobei in dem *präskriptiven* Moment im Zeichen der TLO-Referenz das integrative Bindemittel auszumachen ist. Umgekehrt lässt sich sagen, dass mit der relativistischen Position der deskriptiven Metaphysik die Entstehung des Inkommensurabilitätsproblems geradezu vorprogrammiert ist.

Ungeachtet aller Kritik an der deskriptiven Metaphysik seien als letzter Test fünf mögliche Einwände diskutiert, die man zu ihrer Verteidigung ins Feld führen könnte: (i) moderne EI- bzw. CM-Ansätze wie jene der OMG nutzen zunehmend natürlichsprachliche Repräsentationen, etwa zur Definition von Produktionsregeln (OMG PRR) oder zur Definition von Workflows (OMG SBVR).⁴³²⁰ – Solche Ansätze sind jedoch analog zu Sowa's *Controlled English* zu sehen, das bezeichnenderweise lediglich als Benutzerschnittstelle zum ISO Standard *Common Logic* (CL) entwickelt wurde.⁴³²¹ Ontologisch aber vertritt Sowa mit der Sowa-TLO demgegenüber einen metaphysischen Realismus bzw. einen realistischen Standpunkt, der unmittelbar auf Whiteheads Vierdimensionalismus aufbaut. Bei den OMG-Ansätzen bzw. ähnlich gelagerten Fällen ist dies analog zu sehen, indem solche Modellierungsansätze unter dem Regime der *Enterprise Architecture* (EA) bzw. des jeweiligen EA-Frameworks stehen. Moderne EA-Frameworks gründen dabei ebenfalls auf dem Vierdimensionalismus (vgl. Pkt. 6.2.5). Solche EA-Frameworks kommen in CPS-Kontexten selbstverständlich nicht um eine realistische Grundposition umhin. Damit wird auch in diesem Fall deutlich, dass der OE-Ansatzpunkt kein linguistischer sein kann, sondern ein realistischer sein muss, bei dem die Normalsprache im Dienst der revisionären Ontologie bzw. Metaphysik steht.

(ii) Wenn mit Pkt. 6.2.6 gegen den *naiven Realismus* argumentiert wird, könnte man einwenden, dass dies insofern für die deskriptive Metaphysik spricht als damit das kognitive Schema in den Mittelpunkt rückt. Das ist zwar richtig, doch ist Whiteheads zweite Kopernikanische Wende zu beachten, womit es oben mit Rescher (2003a: 349) zwei unmittelbar interdependente Welten gibt; nach Popperscher Konvention sind das die Welt 1 und die Welt 2, die damit beide *ontologisch* zu berücksichtigen sind. Wir hatten bereits festgestellt, dass für die Welt 2 nicht nur mit H.A. Simon (1972a) *begrenzte Rationalität* besteht, sondern dass hier im revisionären Zusammenhang unmittelbar mit der *evolutionären Epistemologie* Reschers angesetzt werden kann. Deren Grundannahmen hinsichtlich

⁴³¹⁹ Vgl. hierzu auch Schütte/Zelewski (1999).

⁴³²⁰ Vgl. OMG (2009a, 2009b, 2013b).

⁴³²¹ Vgl. hierzu auch Pease/Li (2010).

des metaphysischen Realismus, des kritischen Realismus, des Fallibilismus und der Möglichkeit objektiven Wissens sind mit Whitehead und Popper kompatibel. Mit anderen Worten ist die Auseinandersetzung mit dem kognitiven Schema in keiner Weise der deskriptiven Metaphysik vorbehalten. Vielmehr gehört die Epistemologie zu jeder richtig konzipierten, nämlich *agentenbezogenen* Metaphysik, die im Sinne von Whitehead, Popper, H.A. Simon und Rescher objektivistische und subjektivistische Standpunkte eint.

(iii) Ontologien sind zwar allgemein auf Welten, auch auf mögliche Welten bezogen, doch ist dabei dennoch das Realitätsverständnis primär und zentral. Nun kann man mit Kutschera (1993) gewiss anführen, dass für Realitätsrepräsentationen nicht nur das objektive, wissenschaftliche Wissen von Relevanz ist, sondern gewiss auch das Alltagswissen wie jede andere Form praktischer Ontologien. Selbst wenn man den *Common Sense* kritisch sieht, bleibt – wie oben dargelegt – mit Rescher (2005a: 55) noch ein letzter Rest. Allerdings bleibt auch das Problem, dass Ontologie im metaphysischen Sinne immer auch "Weltauffassung" ist und dass für CM- wie für AI-Zwecke ein einheitliches Ontologieverständnis zugrundezulegen ist. Darauf aufbauend steht außer Frage, dass ontologisch repräsentierte Sachverhalte nicht im Widerspruch zueinander stehen können. Zwar sollte zur Repräsentation einfachster Zusammenhänge ein linguistischer Zugang zur Ontologie möglich sein. Dennoch ist vor dem Hintergrund des Integrationsaspekts der Informatik das mögliche Auftreten von Konflikten zu beachten. Diese Konflikte lassen sich allein durch eine TLO-Referenz ausschalten, die in OE-Prozessen mit Verweis auf Pkt. 3.3.1 zwingend praktiziert werden sollte. Das betrifft etwa die Verhältnisbestimmung von Ereignis und Objekt, die in einer realistischen ereigniszentrierten 4D-Ontologie eine andere ist als bei der auf der 3D-Perspektive aufsetzenden objektbezogenen Normalsprache. Indem mit M. West (2009: 234) die normalsprachliche Repräsentation auf Basis des Vierdimensionalismus problemlos möglich ist, sollte auch eine entsprechende TLO-Referenz von *Common Sense-Ontologien* bewerkstelligbar sein. Rescher (1996: 60 ff.) hat zudem die zentralen Argumente von Strawsons (1959) deskriptiver Metaphysik gegen den Prozessualismus zurückgewiesen. Natürlich sind individuelle Sachverhalte genauso auf Basis des Prozessparadigmas artikulierbar. Dieser Sonderfall stellt sich mit Rescher (2005a: 55) ohnehin nur für das trivialste Alltagswissen; er gilt für solche mit Alltagssprache erfassbare Sachverhalte, die Kutschera (1993: 128) anführt, etwa "dieser Körper ist rot". Für solche trivialen Aussagen bedarf es in der Tat keines *Kritischen Rationalismus* bzw. einer Ableitung von *Scientific Ontologies*. Ontologie stellt zwar eigentlich nicht auf solche atomare Aussagen, sondern auf das jeweilige Weltganze ab; solche trivialen Aussagen für intersubjektive Zwecke dennoch repräsentierbar zu machen, ist Sache des linguistischen W3L-Modus, der in Richtung von Davidson (1967, 1970a, 1980) verstanden werden muss und damit kategorial mit dem TLO-basierten "*ontological backbone*" zu vereinbaren ist. Anders sieht es jedoch schon bei der *Naïve Physics* aus; diese sollte als vereinfachte Variante aus entsprechenden *Scientific Ontologies* abgeleitet werden, damit die Konsistenz der Ontologien

gewahrt ist. Mit der notwendigen TLO-Referenz gelangen wir somit auch hier zu dem Schluss, dass zwar einfachste linguistische Ontologien möglich sind, jedoch der linguistische OE-Ansatzpunkt deskriptiver Metaphysik als solcher verfehlt ist.

(iv) Man könnte ferner einwenden, dass einer revisionären Metaphysik, für die objektives Wissen primär ist, jeder Pragmatismus fehlt, der insbesondere im ODIS-Kontext erforderlich ist. Dann nämlich gilt gemäß Mikas' (2007) "*ontologies are us*", was für deskriptive Ansätze wie jenem Grubers (1993, 1995) charakteristisch ist: Konkret ließe sich dann der revisionären Metaphysik vorwerfen, dass die Korrespondenztheorie der Wahrheit für diese Kontexte unpassend ist. – Dieser Vorwurf ist zunächst insofern zu relativieren, als die Korrespondenztheorie auch durch deskriptive Ansätze, die auf *Scientific Ontologies* zielen, verfochten wird. Das ist bei der BFO-TLO der Fall. Daneben ist entscheidend, ob es bei der Ontologiekonzeption um eine *Monoweltenontologie* oder um eine *Mehrweltenontologie* geht. Wenn es sich – wie bei der BFO-TLO – um eine Monoweltenontologie handelt, die zugleich auf *Scientific Ontologies* fixiert ist, dann entsteht in der Tat dieses Problem. Denn damit sind Konzepte ausgeschlossen, wie es in Pkt. 6.2.3 näher erörtert wird. Allerdings sind solche unnötigen Einschränkungen, wie sie die BFO-TLO vornimmt, weder zielführend noch zwingend. Das gilt dann, wenn die revisionäre Metaphysik als Whitehead-Poppersche Variante konzipiert wird, die – wie CYPO – als *Mehrweltenontologie* auf das gesamte Spektrum an Ontologietypen zielt, bei denen *Scientific Ontologies* nur eine legitime Spielart darstellen. Eine CPSS-adäquate Ontologie lässt sich mit Pkt. 6.2.7 allein als multiplikative TLO-Konzeption realisieren, die *Mehrweltenontologie* ist. Dann wird mit Pkt. 6.2.8 ersichtlich, dass für jeden Welttypus von CYPO *FOX* ein spezifischer Wahrmacher gelten kann. Insbesondere wird dann neben der durch Rescher verfochtenen Kohärenztheorie mit Blick auf W3-Ontologien auch die *Konsenstheorie* als Wahrmacher möglich. Werden etwa die Methoden- (MO) oder Aufgabenontologien (TO) für ein Cyberphysisches System (CPS) *organisationsspezifisch* auf vollkommen eigene Art entwickelt, also ohne Bezug auf etwaige OS-Referenzontologien, haben wir es mit den in Pkt. 6.2.9 thematisierten *proprietären* Ontologien zu tun. Indem es dann um rein praktische Ontologien geht, ist als Wahrmacher im Sinne Mikas' (2007) die Konsenstheorie adäquat. Somit ist gezeigt, dass die Konsenstheorie in keiner Weise auf die deskriptive Metaphysik beschränkt ist; umgekehrt ist die deskriptive Metaphysik jedoch auch insofern defekt, als die Konsenstheorie bei einer CPSS-adäquaten Ontologie in offenen IoX-Umgebungen in keiner Weise das generelle Mittel der Wahl darstellen kann. Vielmehr basieren intelligente AI-Systeme auf einem Mix von wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien, die mit Pkt. 6.2.8 ihren je spezifischen Wahrmacher besitzen.

(v) Selbst der CYPO-F-Modus kann nicht als letzter der deskriptiven Metaphysik vorbehalten bleiben, indem bei fiktiven Sachverhalten der Bezug zur Außenwelt keine Rolle spielt, während gleichzeitig auch keine kritischen Prozesse gegeben sind. Doch ist der F-Modus weder mit den "*toy problems*" bei Hayes (1979) gleichzusetzen, noch sind revisio-

näre Kategorien für diesen irrelevant. Denn was fiktiv ist, lässt sich nur kontrafaktisch bestimmen. Allein schon auf diese Weise hängt auch der F-Modus mit den anderen Modi im System der Ontologien zusammen; analoges gilt für die grundsätzlichen AI-Kategorien, allen voran für ihren Ereigniszentrismus, der für den F-Modus genauso konstituierend ist. Insofern muss die TLO-Referenz auch auf die gleiche *Top-level Ontologie* vollzogen werden, wobei diese mit ihrem primären W1-Modus notwendig eine *revisionäre* ist. Somit wird insgesamt deutlich, dass der sachgerechte OE-Ansatzpunkt niemals ein linguistischer, sondern prinzipiell immer ein realistischer ist. Das gilt gerade auch im Fall normalsprachlich repräsentierter Ontologien. Für die Ontologie, die im Sinne der Heavyweight-Ontologie zu verstehen ist, zeigt sich die Idee der deskriptiven Metaphysik also insgesamt als ungeeignet. Anwenden lässt sich diese interne "Metaphysik" allenfalls auf spezifische Varianten semantischer Netze, nicht aber auf Ontologien, womit ihre Bezeichnung offensichtlich irreführend ist.

Zwei Aspekte sind für die Debatte entscheidend, indem sie die Lösung bringen: (i) Mit H.A. Simon (1995a) steht die zentrale Rolle von *Scientific Ontologies* für die AI-Disziplin außer Frage, womit insgesamt den *Semantic E-Sciences* mitsamt des notwendig werdenden Transdisziplinaritätsmoments eine zentrale Rolle zukommt. Das gilt gerade für wissenschaftsnahe Integrationsszenarien, wie sie für PLM-Industrien typisch sind. (ii) Das CPS-Argument führt dazu, dass Computer als "*Reality Machines*" zu verstehen sind und entsprechend die fundamentalen Strukturen der Realität freizulegen sind. Es ist entsprechend eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption zu fordern. Damit haben sich insgesamt die ontologischen Probleme verschoben; sie bestehen jetzt etwa in der Frage: wie lässt sich eine transdisziplinäre Interaktion von Ontologien realisieren? Was macht eine geteilte, transdisziplinäre Universalontologie aus? Wie sind *wissenschaftsadäquate Kategoriensysteme* zu entwickeln? Wie ist die Konsistenz des Wissens zu gewährleisten, wenn es keine strukturellen Unterschiede zwischen praktischem, technologischem und wissenschaftlichem Wissen geben kann?

Indem Ontologie immer kategorial ist und sich jede Welt durch Wandel geprägt zeigt, ist die revisionäre Metaphysik schon insofern notwendig, um den Wandel in den kategorialen Konzepten bzw. im konzeptuellen Schema bewerkstelligen zu können: »If change in the categorial concept and conceptual frame-work [sic!] is accepted, a revisionary metaphysics cannot be denied.«⁴³²² Demgegenüber sind die fundamentalen Kategorien, etwa der Vierdimensionalismus, auf Basis deskriptiver Metaphysik gar nicht bestimmbar. Insofern kann der sachgerechte OE-Ansatzpunkt mit Pkt. 3.3.2 allein ein *realistischer* sein, womit die AI-Ontologie zweifellos auf der *revisionären Metaphysik*, konkret auf der Whiteheadschen *techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik* aufzubauen hat. Sachgerechte Metaphysik ist revisionäre Metaphysik, womit gleichzeitig außer Frage steht, dass Strawsons (1959) deskriptive Metaphysik in vollem Umfang zurückzuweisen ist. Weil im Widerstreit

⁴³²² Vgl. Sarkar (1977: 403).

zwischen deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik ein wesentlicher Faktor des Inkommensurabilitätsproblems als Kernproblem konkurrierender TLO-Theorieanwärter besteht, kommen wir mit der Zurückweisung der deskriptiven Metaphysik auch der Überwindung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems ein gutes Stück näher.

Abschließend lässt sich als Fazit festhalten, dass diese Debatte um die deskriptive vs. revisionäre Metaphysik für die Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter nicht nur von grundlegender Relevanz ist. Sie ist letztlich für diese überaus entscheidend, indem das TLO-Inkommensurabilitätsproblem maßgeblich in ihr begründet liegt. Mit Blick auf das im siebten Teil vollzogene *Requirements Engineering* konnte in dieser Sache ein klares Ergebnis erzielt werden, indem diese Debatte zugunsten des revisionären Metaphysikan-satzes zu entscheiden ist, während die Idee der deskriptiven Metaphysik grundsätzlich abzulehnen ist. Das war insofern umfassender zu begründen, als die gängige Position der Informatik in diesem Punkt genau das Gegenteil besagt. Das wiederum liegt darin begründet, dass diese metaphysische Debatte bisher nicht in der Tiefe geführt wurde und bislang nicht an den richtigen Fragen festgemacht hat: Festzumachen ist sie mit Pkt. 7.2 an einem generischen Anforderungsprofil von Ontologien und an den fundamentalen Fragen: Wo-rauf zielt das Ontologieverständnis ab? Kriterien dazu sind: (i) Lightweight- vs. Heavy-weight-Ontologien; (ii) einfache unkritische vs. komplexe kritische Prozesse; (iii) "toy problems" vs. "nontoy worlds" im Sinne CPS-basierter "*Reality Machines*"; (iv) Alltags-wissen vs. objektives Wissen (Scientific Ontologies); (v) Irrelevanz vs. Relevanz des Außenweltbezugs mitsamt der Annahme der empirisch bedingten Wandelbarkeit von Katego-rien. Beantwortet man diese Aspekte jeweils mit der ersten Option, liegt die Idee eines lin-guistischen OE-Ansatzpunkts im Kontext der deskriptiven Metaphysik nahe. Beantwortet man sie jedoch mit der zweiten Option, wie es im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* etwa in PLM-typischen Industrien wie der Luft- und Raumfahrt der Fall ist, steht der realistische OE-Ansatzpunkt mitsamt der revisionären Metaphysik außer Frage: Dann muss die AI-Ontologiekonzeption über ihren Experimentierstatus hinaus – und ihre bisher favorisierte deskriptive Metaphysik vollends aufgeben. Der führende Ontologe P.M. Simons (2004c) kommt zum selben Schluss, wenn auch für ihn evident ist, dass sich die Metaphysik im 21. Jahrhundert genau zwischen der *deskriptiven* und der *revisionären* Metaphysik entscheiden muss. Dabei ist dies gerade für die Informatik als *transdisziplinäre Schlüsseldisziplin* unabdingbar,^{4323, 4324} wobei eigentlich auch für jeden Nicht-Ontolo-

⁴³²³ Mit McCarthy (1963a: 33) gilt: »Computation is sure to become one of the most important of the sciences. This is because it is the science of how machines can be made to carry out intellectual processes«. Zu ergänzen ist, dass die konzeptuellen und semantischen Modelle der Informatik darüber bestimmen, wie sämtliche Diskursuniversen modelliert und sämtliches Wissen repräsentiert werden, also etwa in 3D- oder in 4D-Form; so gesehen handelt es sich um die Schlüsseldisziplin.

⁴³²⁴ Damit steht gleichzeitig der Status der Informatik als Disziplin infrage: sie ist eine Multidisziplin, indem sie es mit verschiedensten Systemen zu tun hat: beim IS-Engineering ist sie gewöhnlich Technologie; beim KS-Engineering und insgesamt bei der Ontologiefrage im Zeichen *universaler Ontologie*, des *Transdisziplinaritätsmoments* oder der Natur *komplexer Systeme* bzw. der Natur der *Information* muss sie sich jedoch selbst mit einer ganzen Reihe von Grundfragen beschäftigen, die letztlich auf eine techno-

gen klar ist, dass man die gesamte Ontologiediskussion im Grunde gar nicht zu eröffnen braucht, ohne zuvor diese alles entscheidende Metaphysikfrage in neutraler Weise geklärt zu haben.

6.2.3 Universalien vs. Tropen vs. Konzepte in CPSS/SEA-Kritik

»Wenn [...] das gesamte materielle Universum, wie die moderne Kosmologie annimmt, mathematisch beschreibbar ist, dann muß es eine immaterielle Logik geben, die größer ist als das Universum.«

— John D. Barrow (1996: 63)

Es ist ein grundlegender Irrtum wie Gruber (1993, 1995) anzunehmen, dass die Ontologiefrage eine simple sei und man einfach alle Objekte in einheitlicher Weise ohne Vorschaltung von *Top-level Kategorien* repräsentieren kann. Es ist ein Trugschluss zu meinen, dass Ontologien jenseits einer TLO-Referenz sachgerecht konzipiert werden können, wie es bei Quillians semantischen Netzen, also etwa bei Taxonomien, Wortnetzen bzw. Thesauri, noch vorausgesetzt wird. Dabei stehen linguistische Ontologien wie die Grubersche (1993, 1995) genau in dieser Tradition, während der Universalienstreit und andere umfangliche metaphysische Probleme keine Rolle spielen. Demgegenüber ist es mit B. Smith (2004) grundsätzlich verfehlt, wie Gruber die Differenzierung von Universalien und Partikularien auszublenden, und stattdessen allein *Konzepte* zu berücksichtigen. Das gilt generell, insbesondere mit Blick auf Smithens Argument der *Scientific Ontologies*, aber ebenso insofern, als auch der Status von *Konzepten* zu klären ist.⁴³²⁵ Mit Cumpa (2011) ist nicht nur generell an den Kategorien als *universaler Ontologie* anzusetzen,⁴³²⁶ sondern damit auch zu klären, ob Kategorien etwa als Universalien bzw. Abstrakta oder vielmehr als Partikularien bzw. Konkreta zu behandeln sind.⁴³²⁷ Ggf. sind diese Positionen auch zu kombinieren, wie es bereits anhand einiger der in Pkt. 6.1.3 dargestellten Kategoriensysteme deutlich geworden ist. Bedeutende klassische Ontologen, von Russell (1910/11, 1911/12, 1912) bis Popper (1972a), vertreten einen Universalienrealismus.⁴³²⁸ Wenngleich grundsätzlich skeptisch gegenüber Universalien, vertreten Nominalisten wie Quine (1960a) diese in Gestalt von *Klassen* (bzw. Mengen).⁴³²⁹ Das ändert nichts an der Tatsache, dass es sich auch hier um *Universalien* bzw. *abstrakte Entitäten* handelt.⁴³³⁰ Bereits mit Russell

wissenschaftliche *Metaphysik der Informatik* hinauslaufen. Insgesamt ist sie in strukturwissenschaftlicher Hinsicht Wissenschaft; sie ist als AI-Disziplin im Sinne McCarthys (1963a) Schlüsseldisziplin, die den verschiedensten bei Rapaport (2017) diskutierten Facetten entspricht.

⁴³²⁵ Bei *Konzepten* handelt es sich um *intensionale* bzw. "*hyperintensionale*" Entitäten, die Bealer (1995: 89) als "*kind of universal*" klassifiziert; bei Gruber (1993, 1995) ist nicht nur diese Zuordnung fraglich, sondern vielmehr sind seine Konzepte – im Gegensatz zu Guarino – nicht *intensionaler*, sondern *extensionaler* Natur, vgl. Pkt. 3.3.2.

⁴³²⁶ Vgl. Cumpa (2011: 29).

⁴³²⁷ Vgl. Cumpa (2011: 41 ff.).

⁴³²⁸ Popper (1972a: 123 f., Fn. 13) vertritt diesen im expliziten Hinweis auf die Welt 3.

⁴³²⁹ Vgl. Quine (1960a: 266 ff.), speziell p. 267; vgl. ferner Quine (1987: 225 ff.), insbes. p. 229.

⁴³³⁰ Vgl. hierzu Quine (1947: 79): »The fact that classes *are* universals, or abstract entities, is sometimes obscured by speaking of classes as mere aggregates or collections, thus likening a class of stones, say, to

(1910/11) wird deutlich, dass nicht nur die mathematische Logik ihre metaphysischen Präsuppositionen besitzt, sondern natürlich auch die Normalsprache, was für eine kritische Beurteilung von Grubers (1993, 1995) linguistischer Ontologiekonzeption zweifellos in Betracht zu ziehen ist.

Mit Davidson (1985: 176) gilt es, die »metaphysics implicit in our language« freizulegen. Dabei besitzt gerade die Alltagssprache eine nicht unproblematische Form von Metaphysik, deren universale Eignung zur Repräsentation sämtlicher Wissens- bzw. Ontologietypen etwa mit Quine (1977: 183) oder Rescher (2009: 40) grundsätzlich anzuzweifeln ist. Schon Russell (1910/11) stellt fest, dass der Satz "this is yellow" nicht nur "this" als Partikularium bzw. als "sense-datum" ausweist, sondern auch "yellow" als Universalie, womit auch letztere in Form von Eigenschaftsrelationen Wahrnehmungs- bzw. Bewusstseinsobjekte darstellen. Auch wird offensichtlich, dass die Normalsprache und somit linguistische Ontologiekonzeptionen eine auf der aristotelischen Substanz-Akzidenz-Relation basierende ontologische Vereinnahmung von Entitäten impliziert,⁴³³¹ was Linguisten wie Gruber (1993, 1995) jedoch genauso wenig reflektieren. Metaphysik ist also immer im Spiel, wobei mit dieser metaphysischen Präsupposition linguistische Ontologiekonzeptionen kaum an der Universalienfrage vorbeikommen. Dennoch wird sie bei Genesereth/Nilsson (1987) explizit wie in dieser Tradition durch Gruber (1993, 1995) implizit einfach ausgeblendet. Indem Sprache offensichtlich durch die Substanz-Akzidenz-Relation wie insgesamt durch das Substanzparadigma metaphysisch präsupponiert ist, stellen sich eine Reihe weiterer Fragen. Dazu gehört, ob sich auf Basis eines linguistischen Ontologieverständnisses ein sachgerechter Zugang zur Problematik entwickeln lässt, wie prozessuale Sachverhalte zu repräsentieren sind bzw. wie sich die Kategorien von Ereignis und Prozess richtiggehend konzipieren lassen. Unter Hinweis auf Pkt. 5.7 sowie Pkt. 6.2.5 ist dies zu verneinen. Das gilt umso mehr, als sich der Universalienstreit seit dem zwanzigsten Jahrhundert nicht nur auf Dinge und Eigenschaften bezieht, sondern genauso auf die Ereigniskategorie.⁴³³² Dabei werden Ereignisse nicht nur als *Partikularien* oder als *abstract particulars* gesehen, was jede sachgerecht konzipierte Ontologie berücksichtigen können sollte. Vielmehr stellt sich etwa mit Quine (1960a: 34) wie Chisholm (1970a) auch das Problem der ontologischen Behandlung *wiederkehrender Ereignisse*; entsprechend werden sie bei ihm als *Universalien* behandelt. Natürlich ist es ontologisch wie für Zwecke der *Smart Enterprise Integration* (SEI) ausschlaggebend, wie Ereignisse kategorisiert werden.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass es ein Fehlurteil ist zu glauben, die Existenzfrage bei AI-Ontologien sei eine andere als bei philosophischen Ontologien, und damit, dass man auf eine metaphysische Fundierung von Ontologien verzichten kann. Demnach ist auch die vielzitierte, allerdings genauso wenig hinterfragte Auffassung Grubers

a heap of stones. [...] Classes, therefore, are abstract entities; we may call them aggregates or collections if we like, but they are universals«.

⁴³³¹ Vgl. hierzu auch H.R. Smart (1925), insbes. p. 80.

⁴³³² Vgl. auch Lombard (1995).

falsch zu meinen »what ‘exists’ is exactly that which can be represented«. ⁴³³³ Mit Blick auf den Einsatz von AI-Ontologien in vollautomatischen komplexen Systemen sollte erkannt werden, dass die Problematik des Ganzen sehr viel tiefer liegt als das inakzeptable Grubersche Ontologiekonzept glauben macht. Entsprechend wird mit der Universalienfrage und allen damit zusammenhängenden Aspekten ein weiteres Mal deutlich, warum in Pkt. 3.3.2 das Votum gegen die linguistische und für die *realistisch-metaphysische* Ontologie ausgefallen ist, warum mit Pkt. 4.1 die Metaphysik als *techno-wissenschaftliche* Metaphysik der Klasse 4 verstanden werden muss, warum mit Pkt. 6.1.3 die Ontologie immer *metaphysisch-kategorial* zu verstehen ist, und schließlich warum mit Pkt. 6.2.2 im Einklang mit Pkt. 4.1 die Metaphysik immer als *revisionäre Metaphysik* und mit Pkt. 3.5 die Ontologie immer als *Mehrweltenontologie* mit disparaten Welten auszulegen ist.

Das zentrale Problem Grubers (1993, 1995) besteht darin, dass er das linguistische Moment für primär hält, obwohl es lediglich sekundäre, nämlich technisch-beschreibende Relevanz besitzt. Primär sind ganz andere Fragen, nämlich metaphysische und damit verbunden epistemologische und wissenschaftstheoretische Basisentscheidungen. Denn zunächst interessieren die fundamentalen Strukturen der jeweiligen Welten, allen voran der Realität als aktueller Welt. Hier ist zunächst zu klären, ob es Invarianten in der Realität gibt, und inwiefern sie ontologisch von Belang sind. Umgekehrt ließe sich fragen, ob die Welten allein aus Partikularien bestehen bzw. nur diese ontologisch von Relevanz sind. Indem Gruber (1993, 1995) diese Frage nicht stellt wird implizit vorausgesetzt, dass sie für das Ontologieverständnis wie für das konkrete *Ontology Engineering* irrelevant ist. Diese Position ließe sich auch so auslegen, dass alle Ontologiezwecke einheitlich gehandhabt werden können. Doch darin besteht ein Irrtum; die Welten sind als Welttypen verschieden.

Die Frage nach den Invarianten der Realität, die mit jener nach faktischen Regelmäßigkeiten zusammenhängt, steht vielmehr in unmittelbarem Zusammenhang mit den Ontologiezwecken, genauso wie die Fokussierung des Partikulären. Die Dichotomie *Universalien vs. Partikularien*, die mit jener von *Abstrakta vs. Konkreta* zusammenhängt, ist genauso metaphysisch-kategorial wie etwa jene in Pkt. 6.2.5 behandelte von *Kontinuanten vs. Okkurrenten*. Indem sie metaphysisch-kategorial sind, wird die Referenz aller Ontologien auf die *Top-level Ontologie* zwingend, indem durch diese das jeweilige Kategoriensystem bestimmt wird. Während das naive Grubersche Ontologieverständnis an diesen Zusammenhängen vollends scheitert, erweist sich die TLO-Debatte nicht weniger problematisch. Denn sie wird nicht pragmatisch geführt, indem sie nicht in zentraler Weise auf die Ontologiezwecke abstellt, und indem man sie zuvorderst deskriptiv auf Basis linguistischer Grundsatzdiskussionen und nicht metaphysisch-realistisch bzw. revisionär führt. Gerade aber eine universale Ontologiekonzeption muss genau dies tun, und anders lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem der *Top-level Ontologien* in keiner Weise auflösen, indem sich diese im Kern durch solche metaphysische bzw. ontologische Dichotomien konditio-

⁴³³³ Vgl. Gruber (1993: 199).

niert zeigt. Im dritten Teil wurde bereits zwischen wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien differenziert; mit Blick auf die fundamentalen Strukturen der Welten ist dies konsequent, indem Welten im AI-Kontext auf solche Ontologiezwecke bezogen sind. Entsprechend gibt es auch etwa vollkommen unterschiedliche Domänenontologien; etwa solche, die wissenschaftlicher Natur sind oder solche, die technologischer bzw. praktischer Provenienz sind.

Klasse-4-Metaphysiken zielen immer auf *Systemontologien*, auf *komplexe Systeme* und stehen damit im Zeichen der Komplexitätsforschung. Komplexe Systeme werden dabei genauso wie Ontologien mit unterschiedlichen Zwecksetzungen bemüht:

- (i) Komplexe Systeme im wissenschaftlichen Kontext (z.B. dissipative Systeme);
- (ii) Komplexe Systeme im technologischen Kontext;
- (iii) Komplexe Systeme im praktischen Kontext.

Geht es vor dem Hintergrund komplexer Systeme um die Frage der fundamentalen Strukturen der Realität (bzw. Welten), lässt sich die Frage nach Invarianten bzw. Varianten gemäß der folgenden drei Fälle bzw. Ontologiezwecke wie folgt zuordnen:

- (i) wissenschaftliche Ontologien – zielen auf Invarianten in der Realität;
- (ii) technologische Ontologien – zielen auf Invarianten/Varianten in der Realität;
- (iii) praktische Ontologien – zielen auf Varianten in der Realität.

Gibt es in den Welten nur Allgemeines oder nur Einzelnes, oder gibt es Allgemeines und Einzelnes? Darin besteht eine zentrale Frage zum Ontologieverständnis, die wie erwähnt im metaphysischen, epistemologischen wie methodologischen Zusammenhang steht. Natürlich lässt sich diese Frage anhand der Ontologiezwecke beantworten: *Scientific Ontologies* der nomothetischen Variante besitzen nur dann einen Zweck, wenn es *Invarianten in der Realität* gibt. Interessieren allein wissenschaftliche Gesichtspunkte, gilt das nomothetische Interesse im Allgemeinen auch nur dem Invarianten. Die Universalien bei Aristoteles wie der immanente Realismus stehen genau in diesem Zeichen, genauso wie etwa bei Bunge.⁴³³⁴ *wissenschaftliches Wissen* ist universal, real und empirisch; es handelt sich somit um Wissen *a posteriori*, wie es bereits in Aristoteles' ([An.post.]) *Analytica posteriora* grundgelegt wird. Diese Position wird ungeachtet der Frage nach legitimen anderen Wissensarten in den Wissenschaften wie in wissenschaftsnahen Disziplinen im Allgemeinen auch nicht in Frage gestellt. Wenn dem so ist, sind auch Smithens *Scientific Ontologies* wie seine Ontologiepositionen insgesamt in genau diesem Bezug auf rein *wissenschaftliches Wissen* legitim wie schlüssig. Insofern kommt die Ontologie auch nicht an dieser wissenschaftlichen Position vorbei, weil es kaum sinnvoll erscheinen kann, die Repräsentation wissenschaftlichen Wissens aus der Ontologiekonzeption auszuschließen. Etwas anderes ist jedoch der Universalitätsanspruch von Smithens *immanenten Realismus*, der ungeachtet seines Perspektivismus ontologisch impliziert, dass *allein* wissenschaftliches Wissen bzw. *allein* immanente Universalien der Realität gegeben sind. Mit den oben

⁴³³⁴ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 239, Nr. 2-5).

abgegrenzten komplexen System- bzw. Ontologiearten ist eine solche Auffassung natürlich unhaltbar. Entsprechend ist auch klar, dass Smithens Position den insgesamt bestehenden Ontologieanforderungen in keiner Weise hinreichend gerecht wird. Schließlich gilt dies auch insofern, als es mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 gewiss einen Unterschied macht, ob es sich um Whiteheads (1929a) bzw. Reschers (1996: 69 ff.) im 4D-Kontext stehende *prozessbasierte* Universalien handelt,⁴³³⁵ oder ob diese wie bei Smith im neo-aristotelischen 3D+T-Kontext als *substanzbasierte* Universalien konzipiert werden. Es besteht hier ein direkter Bezug zwischen Metaphysik und Wissenschaftstheorie. Denn die letztere Universalienposition läuft auf den erwähnten klassischen *nomothetischen* Theorietypus hinaus, während erstere den *historischen* Theorietypus implizieren.⁴³³⁶

Die Ontologieanforderungen der Informatik zielen gewiss nicht allein auf die Invarianten in der Realität: Praktische Ontologien sind vielmehr oftmals gerade insofern von zentralem Interesse, als sie auf *Varianten in der Realität* abstellen; technologische Ontologien verbinden beide Ontologiezwecke, und orientieren sich somit genauso an Invarianten (nämlich an den Wissenschaften) wie an den Varianten (Praxis).⁴³³⁷ Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bildet mit ihrem exemplarischen Fall der U-PLM-Systeme insofern ein geeignetes Referenzszenario, als alle drei Ontologiezwecke gleichzeitig konstituierend sind. In Sektoren wie der Luft- und Raumfahrtindustrie oder der Biotechnologie sind natürlich die Invarianten in der Realität im wissenschaftlichen Kontext entscheidend, indem wissenschaftliche Theorie genauso wie entsprechende *Scientific Ontologies* als Referenzontologien sich genau an diesen orientieren. Praktische Ontologien spielen vor dem Hintergrund des in Pkt. 2.5 behandelten PPR-Frameworks eine fundamentale Rolle, gerade auch in Form der in Pkt. 3.3.1 abgegrenzten Anwendungsontologien. Produkt- und Prozessontologien stellen zweifelsohne metaphysisch auf Varianten in der Realität ab, indem es auf ihrer Basis gilt, sich zu differenzieren und Wettbewerbsvorteile zu begründen.⁴³³⁸ Die Frage einer IoX-adäquaten *Top-level Ontologie* hat somit nicht nur auf alle Ontologiezwecke, sondern gleichzeitig auf Invarianten wie Varianten in der Realität abzustellen.

Indem Entitäten bzw. Attribute sich in der Realität (bzw. Weltenstruktur) entweder wiederholen oder nicht wiederholen, indem dem Allgemeinen, Universalen oder Pluralen auf der einen Seite, und dem Einzelnen, Besonderen oder Singulären auf der anderen Seite besonderes Interesse eingeräumt wird, spielen die weiter unten erörterten *Universalien*, *Partikularien* resp. *Tropen* sowie jenseits davon *Konzepte* in den einzelnen TLO-Ansätzen eine mehr oder weniger zentrale Rolle. Obschon es bei Top-level Ontologien um universale Ontologie geht, sind die einzelnen TLO-Ansätze zumeist vor dem Hintergrund bestimmter Zwecksetzungen entwickelt worden. Entsprechend verwundert es nicht, wenn

⁴³³⁵ Vgl. hierzu ergänzend Shields (2004).

⁴³³⁶ Vgl. hierzu exemplarisch Dopfer (1986).

⁴³³⁷ Natürlich gibt es auch in der Praxis die Fokussierung des Invarianten, etwa im Paradigma der Massenproduktion. Primär entscheidend ist jedoch die individuelle Problemlösung.

⁴³³⁸ Vgl. hierzu etwa O'Leary (2000).

einzelne TLO-Ansätze ganz im Zeichen von *Universalientheorien* stehen, während andere auf der Grundlage von *Tropentheorien* begründet werden, während in wieder anderen Fällen beide zum Zuge kommen.

TLO-Konzeptionen, die wie die BFO-TLO in erster Linie *Scientific Ontologies* verpflichtet sind, zielen automatisch auf das erste, während TLO-Ansätze wie DOLCE, auf denen etwa organisationsspezifische Lösungen (ggf. auch Wettbewerbsvorteile) begründet werden bzw. etwa im ODIS-Kontext eine große Flexibilität resp. individuelle Gestaltungsfreiheit bieten sollen, genauso wesensnotwendig das zweite forcieren. Aus diesem Grunde setzt BFO allein auf *Universalien* in Gestalt des immanenten Realismus,⁴³³⁹ womit Universalien wie Partikularien als Instanzen ersterer zulässig sind. Demgegenüber stellt DOLCE einen *partikularisierten* TLO-Ansatz dar, der nicht direkt – sondern lediglich zur Beschreibung von Partikularien – auf *Universalien* (Klassen und Eigenschaften) referenziert. Schließlich besteht eine dritte Gruppe, die *gleichzeitig* auf Universalien *und* Partikularien abstellt. Zu dieser Gruppe gehören etwa UFO, GFO oder SUMO. Es ist also kein Zufall, wenn SUMO gleich mit der ersten Dichotomie im Kategoriensystem zwischen physischen und abstrakten Entitäten differenziert, während sich bei BFO eine solche Differenzierung nicht findet. Vielmehr hängt es unmittelbar mit dem Universalienproblem zusammen und liegt somit in der metaphysischen Fundierung der TLO-Ansätze begründet.

Zu dieser Verankerung aller Dichotomien bzw. Kategorien in der Metaphysik lassen sich zahllose weitere Beispiele anführen. Metaphysik beschäftigt sich mit den fundamentalen Strukturen der Welt bzw. Realität. Obwohl etwa GFO in einem ähnlich wissenschaftlichen Kontext entwickelt worden ist wie BFO und auf ähnliche Domänen angewendet wird, weichen beide in der Frage der Repräsentation der Realität grundlegend ab. Wiederrum im direkten Zusammenhang mit dem Universalienproblem geht GFO davon aus, dass es nicht ausreichend ist, bei der Realitätsrepräsentation allein auf die Invarianten in der Realität, und somit auf Universalien, abzustellen. Vielmehr wird in expliziter Abweichung von BFO die Auffassung vertreten, dass zu einer erschöpfenden Repräsentation der Realität neben *Universalien als verstandesunabhängigen Kategorien* auch *Konzepte als verstandesabhängige Kategorien* zu berücksichtigen sind. Solche Konzepte werden jedoch im Ontologieverständnis B. Smithens (2004) vor dem Hintergrund der Fixierung auf *Scientific Ontologies* strikt abgelehnt.

Entsprechend wird die durch und durch gegebene metaphysische Prägung der *Top-level Ontologie* einmal mehr offensichtlich und damit auch die Tatsache, dass der philosophische Ontologiebegriff in keiner Weise vom AI-Ontologiebegriff getrennt werden kann. Denn jede AI-Ontologie ist nur dann sachgerecht konzipiert, wenn die ontologischen Dichotomien eingehend geklärt sind und insofern ist sie mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 immer kategorial. Dieser Umstand wird an Dutzenden Fragen offensichtlich, und sei hier an einer, nämlich der Kategorie der *Trope* kurz gezeigt: Die Kategorie der *Trope* ist jene der *indivi-*

⁴³³⁹ Vgl. B. Smith (1997, 2005a) sowie Neuhaus/Grenon/Smith (2004).

duellen *Qualität* bzw. der *partikularisierten Eigenschaften* (abstract particulars), die bisweilen auch als *Eigenschaftsindividuen* (individual properties) bezeichnet wird. Es handelt sich also um *individuierte Eigenschaften*, die als solche – im Gegensatz zu *Partikularien* – selbst keines Individuationsprinzips bedürfen.⁴³⁴⁰ Ein *abstract particular* bildet dabei ein *Token* eines Types.⁴³⁴¹

Die Bezeichnung *Trope* wurde durch D.C. Williams (1953a, 1953b) in diesem Kontext eingeführt, der sie wiederum Santayana (1930) entliehen hat. Inhaltlich gesehen ist die Kategorie der *Trope* allerdings ungleich älter: sie lässt sich in den Grundgedanken bis auf die aristotelische ([Cat.]) *Kategorienschrift* zurückführen und findet sich hier wie in Husserls (2005) *Logischen Untersuchungen* in Form der *Momente*,⁴³⁴² später im Rahmen einer einschlägigen Debatte mit G.E. Moore in Form von G.F. Stouts (1923) "*particular character*",⁴³⁴³ sowie nochmals später bei I. Segelberg (1947). Aus der heutigen philosophischen Ontologie ist die Kategorie der *Trope* in keiner Weise wegzudenken; diese Position hat sich – wenn auch in teils höchst divergierenden Facetten – in jüngerer Zeit auf breiter Linie durchgesetzt.^{4344, 4345} Die Ansätze von D.C. Williams (1953a, 1953b, 1986) und K. Campbell (1990) gehen dabei so weit, dass sie die gesamte Ontologie auf die Basis von *Tropen* als fundamentaler Kategorie stellen wollen. Auch für die meisten TLO-Ansätze sind *Tropen* bzw. *Momente* von wesentlicher Bewandnis, allerdings mit je unterschiedlichem Stellenwert. Für die UFO-TLO etwa sind *Tropen* elementar,⁴³⁴⁶ während dies für die BFO-TLO nicht gilt, indem der primäre Fokus auf immanenten Universalien liegt.

Die hinter der Einführung von *Tropen* stehende Idee besteht darin, *Eigenschaften* in der Metaphysik zuzulassen, ohne sich dabei mit Blick auf den weiter unten thematisierten Universalienstreit auf die Zugrundelegung von Universalien zu verpflichten. Die Lösung des Universalienproblems soll somit in partikulären bzw. einmaligen statt in universalen Eigenschaften bestehen, womit mit K. Campbell (1990: xi) gilt: »[P]roperties can be particulars, so the denial of universals need not be the denial of properties«. Campbell weist an

⁴³⁴⁰ Partikularien wie individuelle Dinge bedürfen demgegenüber eines Individuationsprinzips; dazu gibt es indessen die unterschiedlichsten Ansätze, die wiederum deutlich im Zeichen der Metaphysikkategorie stehen. Diese reichen vom "*form-token*" bei Denkel (1996: 135 ff.) bis zur ursprünglich auf Duns Scotus zurückgehenden "*haecceitas*", die durch D. Kaplan (1975) als "*thisness*" bzw. "*haecceity*" (*Haecceitism*) angliert wird, seitdem fester Bestandteil der Ontologiedebatte ist, vgl. Rosenkrantz (1993). Im Grunde handelt es sich um das Individuationsprinzip schlechthin, wenn gilt: »An haecceity is one kind of *individual essence*: a property that is *essential* to its owner, and *essentially unique* to its owner, in the sense that it is impossible that there be something else that has it«, vgl. Plantinga (1995: 199), Hvh. im Orig.

⁴³⁴¹ Vgl. K. Campbell (1995: 500).

⁴³⁴² Vgl. hierzu auch Smith/Mulligan (1983) sowie Mulligan et al. (1984).

⁴³⁴³ Vgl. hierzu auch G.F. Stout (1921).

⁴³⁴⁴ Vgl. etwa C.B. Martin (1980), K. Campbell (1981, 1990), Mulligan/Simons/Smith (1984), D.C. Williams (1986), Fuhrmann (1991), Simons (1994, 2000d, 2014), Bacon (1995), Denkel (1996), Mertz (1996) sowie E.J. Lowe (2003).

⁴³⁴⁵ Teils werden *Tropen* – mitunter Varianten induzierend – auch anders bezeichnet, etwa als "*abstract particulars*", vgl. etwa K. Campbell (1981, 1990), als "*cases*", vgl. etwa Wolterstorff (1970) sowie M. Johnston (1983), als "*property instances*", vgl. etwa Fuhrmann (1991), als "*individual qualities*", vgl. etwa Masolo/Borgo (2005), oder aber als "*perfect particulars*", vgl. G. Bergmann (1967).

⁴³⁴⁶ Vgl. etwa Guizzardi/Masolo/Borgo (2006) sowie Guizzardi/Zamborlini (2013, 2014).

gleicher Stelle darauf hin, dass ein solcher Partikularismus nicht notwendig einen Nominalismus implizieren müsse. Indem in heutigen Ontologiekonzeptionen Universalien und/oder Tropen etabliert sind, gibt es in dieser Sache fünf gängige metaphysische Positionen:

- (i) bzgl. der Tropentheorie besteht Unentschlossenheit; als bekanntester Fall ist hier D.K. Lewis (1986b: 64) zu nennen, der in dieser Angelegenheit konstatiert: »I remain undecided«. Lewis (1986a) ist zur Akzeptanz der Tropentheorie dann bereit, wenn bestimmte Anforderungen seines *Modalen Realismus* erfüllt sind. Es wird also auf ein spezifisches Tropenverständnis insistiert;
- (ii) die Tropentheorie wird als Substitut für die Universalientheorie gesehen, womit auf letztere verzichtet werden kann; diese Position wird allen voran durch K. Campbell (1981, 1990) vertreten, in dem einer der zentralen Verfechter der Tropentheorie gesehen werden darf;
- (iii) umgekehrt wird die Universalientheorie gegenüber der Tropentheorie verteidigt, letztere abgelehnt; als prominentester Fürsprecher dieser Position ist D.M. Armstrong (1978b, 1989, 1992) zu nennen;
- (iv) die Positionen der Tropentheorie werden vor dem Hintergrund der deskriptiven Metaphysik kritisiert, wie es bei J. Levinson (1978) geschieht. Demgegenüber setzt sich Kanzian (2010) mit der revisionären Metaphysikvariante der Tropentheorie auseinander und hält das Metaphysikverständnis der "R-Tropisten" für falsch. Dagegen ist festzustellen, dass es insbesondere mit Verweis auf die Whiteheadsche Prozessmetaphysik tatsächlich schlüssig ist;
- (v) es wird kein Widerspruch zwischen Universalien- und Tropentheorie (*Universalien + Tropen*) gesehen; diese Position findet sich bereits bei Platon und Aristoteles und in jüngerer Zeit mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 etwa im Kategoriensystem E.J. Lowes (2003).⁴³⁴⁷ Auch in der Informatik wird sie häufig vertreten, etwa bei der UFO-TLO. Wir teilen diese letzte Position.

Dass *Universalien* bzw. Allgemeinbegriffe gerade im wissenschaftlichen Kontext eine zentrale Rolle spielen, wie sie etwa auch durch Bunge/Mahner (2004: 239, Nr. 2-5) hervorgehoben wird, resultiert dabei daraus, dass Wissenschaft nach dem Allgemeinen fragt, also nach dem, was mehrere Dinge bzw. Objekte gemeinsam haben. Die tropenbedingten Inkommensurabilitätsprobleme sind dabei nicht nur bereits in der griechischen Antike gegeben, sondern werden auch bei D.C. Williams (1953a) offensichtlich, wenn er Santayanas (1930) *Tropen* umdeutet. Bezeichnet *Trope* bei Santayana (1930) »the essence of any event, as distinguished from the event itself«,⁴³⁴⁸ heißt es bei D.C. Williams (1953a: 7) demgegenüber: »A trope [...] is a particular entity either abstract or consisting of one or more concreta in combination with an abstractum«. Dabei bilden für D.C. Williams (1953b: 172 f.) nicht nur Ereignisse und Prozesse *Tropen*, sondern auch Zustände, Sach-

⁴³⁴⁷ Vgl. zu dieser Position auch Daly (1994).

⁴³⁴⁸ Vgl. Santayana (1930: 101 f.).

verhalte und individuelle Eigenschaften. Allerdings stehen die *Tropen* bereits bei D.C. Williams (1953a, 1953b) deutlich im Zeichen vierdimensionaler Okkurrenten,⁴³⁴⁹ womit er sich nicht zuletzt auf Whitehead (1920, 1925, 1929a) bezieht; denn Whiteheadsche Ereignisse repräsentieren *relationale Partikularien*.⁴³⁵⁰ Bei D.C. Williams (1986: 2 f.) wird das Ganze entsprechend konkretisiert: »The world whole [...] absolutely all there is, is a four-dimensional plenum of qualia in relations, eternally actual through and through«, wobei gilt: »every part of [the world sum], concrete *or* abstract, is what the philosophers have called 'particular'«. Die tropenbedingten Inkommensurabilitätsprobleme liegen also nicht etwa in einer Inkompatibilität von Santayana (1930) und D.C. Williams (1953a, 1953b) begründet, sondern vielmehr darin, dass D.C. Williams' Tropentheorie meta-ontologisch einseitig spezifiziert ist.

Broad (1933: 139) weist bereits darauf hin, dass es »at least two fundamentally different kinds of particulars« gibt, nämlich mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 Kontinuanten (Continuants) und Okkurrenten (Occurrents), deren Problematik D.C. Williams (1953a, 1953b) auf Basis seines metaphysischen Schemas nicht sehen will. Auch wenn wir in den metaphysischen Positionen durchaus mit diesem übereinstimmen, lässt sich doch insgesamt das Inkommensurabilitätsproblem nicht leugnen. Wenn verschiedene AI-Ontologen auf eine *Trope-basierte Top-level Ontologie* abzielen, handelt es sich dabei allerdings nicht zwingend um jene Variante, die D.C. Williams im Sinne einer 4D-Konzeption propagiert: Während etwa die OCHRE-TLO die Tropentheorie speziell in der Variante D.C. Williams' teilt und als 4D-naher Ansatz grundsätzlich auch teilen kann,⁴³⁵¹ stellt sich dies im Fall der UFO-TLO insofern anders dar, als es sich um einen 3D+4D-Ansatz handelt. UFO ist also sowohl endurantistisch (UFO-A) als auch perdurantistisch (UFO-B), was entsprechende Relevanz für die Behandlung von Tropen hat. Mit Guizzardi/Wagner (2010) stehen die *Tropen* bei der UFO-TLO entsprechend explizit im Zeichen des aristotelischen *Ontologischen Quadrats* bzw. in jenem von Husserls Momenten, womit sich die UFO-Ontologiekonzeption kaum ohne die vollzogene Grundlegung der (neo)-aristotelischen Ansätze (vgl. Pkt. 5.2) bzw. der Phänomenologie (vgl. Pkt. 5.6) verstehen lässt. Dass auch die BFO-TLO genau auf diesen beiden Strömungen aufbaut, ist dem Umstand geschuldet, dass bereits bei Aristoteles *Universalien* und *Tropen* (bzw. Momente) parallel vorausgesetzt werden.

Denkel (1996) und andere legen auf Basis von D.C. Williams (1986) Wert auf die Feststellung, dass ihre Tropevariante eine nicht-aristotelische ist. So sind weder bei Denkel (1996) noch bei D.C. Williams (1986) die Tropen auf Substanzen bezogen; damit geht der Umstand einher, dass es sich mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 um eine 4D-Konzeption handelt. Somit ist richtig, was bereits Broad (1933: 139) vorwegnimmt, nämlich dass es sowohl 3D-Tropes (z.B. bei E.J. Lowe) als auch 4D-Tropes (z.B. bei D.C. Williams) gibt. Somit sind Partikularien (Individuen) etwa danach zu differenzieren, ob sie (a) *abhängige vs. un-*

⁴³⁴⁹ D.C. Williams (1953b: 177) spricht zudem von einem "occultism of Substance".

⁴³⁵⁰ Vgl. hierzu auch Lango (2003).

⁴³⁵¹ Vgl. L. Schneider (2003a).

abhängige Entitäten bilden,⁴³⁵² (b) *endurantistische vs. perdurantistische* Entitäten darstellen, und (c) wie sie nach dem *Kriterium der Zählbarkeit* (count-mass distinction) einzuordnen sind. Entsprechend lassen sich anhand dieser und weiterer Kriterien verschiedene Merkmalskombinationen bilden, von denen die wichtigsten die Folgenden sind:^{4353, 4354}

- (i) abhängige Individuen sind:^{4355, 4356} *Tropen*
- (ii) unabhängige endurantistische Individuen sind: *Substanzen*
- (iii) perdurantistische Individuen sind: *Ereignisse*
- (iv) Mengen von perdurantistischen Individuen sind: *Prozesse*

Um *Tropen* sachgerecht zu verstehen, ist indessen wesentlich zwischen ihnen und Universalien zu differenzieren. Dann wird zum ersten deutlich, dass *Tropen* in einem engen Bezug zur *Type-Token-Beziehung* stehen,⁴³⁵⁷ die auf Peirce (1906) zurückgeht. Um diese Unterscheidung auf Ereignisse zu beziehen, gilt: »[E]vents are concrete particulars to the extent that they exist in space and time, they also partake in causal explanations, and sometimes we even identify a concrete object in virtue of a certain event«.⁴³⁵⁸ Somit lassen sich vor diesem Hintergrund allgemeine "*event-types*" und individuelle "*event-tokens*" differenzieren.⁴³⁵⁹ Zum zweiten zeigt sich damit, dass die *Type-Token-Beziehung* nicht zu verwechseln ist mit der *Universalien-Partikularien-Beziehung*,⁴³⁶⁰ auch wenn es bei beiden um ähnliche Aspekte geht: Erste ist nur auf den ersten Blick linguistischer Natur; vielmehr ist diese an sich primär metaphysischen Charakters, wenn auch von direkter linguistischer Relevanz.⁴³⁶¹ Tatsächlich verhalten sich beide Beziehungspaare genau entgegengesetzt, was ontologisch von umfassendem Belang ist. Für Metaphysiker wie Zemach (1992) ist der Unterschied klar; so gibt es bei ihm zwar Typen und Ereignisse, aber keine Universalien. Vor dem Hintergrund der *Tropen* ist die *Type-Token-Beziehung* im Kontext von vier verbundenen Dichotomien zu sehen und abzugrenzen:

⁴³⁵² Vgl. hierzu auch Tegtmeier (2004: 155 f.; 2011: 166 f.).

⁴³⁵³ Vgl. Simons (2006b: 94).

⁴³⁵⁴ Eine weitere Dichotomie besteht etwa zwischen *einfachen und komplexen Entitäten*, wie sie im Kategoriensystem von Grossmann (1992) elementar ist; vgl. zu dieser Dichotomie auch Hochberg (2011).

⁴³⁵⁵ Hoffman/Rosenkrantz (1994: 100) stellen entsprechend richtig fest, »that a trope could not be a substance«.

⁴³⁵⁶ Tropen werden für gewöhnlich in *monadische* und *polyadische* (bzw. relationale) Tropen unterteilt; *monadische Tropen* zeigen sich zu einer *einzelnen* Entität dependent (z.B. Farben), während *polyadische* (bzw. relationale) Tropen sich zu *mehr als einer Entität* dependent erweisen (z.B. vertragliche Attribute). Diese Unterscheidung findet sich ähnlich für *Universalien*, vgl. bzgl. letzteren Loux (2002: 23).

⁴³⁵⁷ Vgl. exemplarisch LaBossiere (1994).

⁴³⁵⁸ Vgl. Faye (2008: 42).

⁴³⁵⁹ Vgl. hierzu Galton (2000b).

⁴³⁶⁰ Es wird hier bewusst von *Partikularien*, nicht von *Einzeldingen*, gesprochen, indem letztere nicht im Sinne von Entitäten, sondern als tatsächliche Voraussetzung von "Dingen" i.e.S. fehlinterpretiert werden könnten, womit bereits die Entscheidung für eine Ding- bzw. Substanzontologie (z.B. Bunge) gefallen wäre. Auch wenn mit "Thing" umgangssprachlich "Entität" und nicht ein materielles "Ding" gemeint ist, erscheint die Rede von *Partikularien* genauer, indem sich diese ex definitione auch auf Nicht-Dinge beziehen, konkret auf Ereignisse.

⁴³⁶¹ Peirce ist jedoch zuvorderst als Logiker und Metaphysiker zu verstehen, vgl. etwa Peirce (1935).

Allgemeines	Einzelnes
Typen [Types]	Tokens [Tokens]
Universalien [Universals], Klassen [Classes]	Partikularien [Particulars], Instanzen [Instances]
Arten (Art-Universalien) [Species], Gattungen [Kinds], Sorten (sortale Universalien)	Individuen, Einzeldinge [Individuals]
(Abstrakta)	(Konkreta)

Abb. 48: Typen vs. Tokens und verwandte Dichotomien

Typen bilden im grundlegenden Gegensatz zu platonistischen Universalien *keine* abstrakten Objekte; vielmehr handelt es sich um konkrete Entitäten mit physikalischen Eigenschaften. Denn Typen bzw. Klassen sind solche Universalien, die im Zeichen des immanenten Realismus mit ihrer realen Immanenz immer nur reale Existenz *a posteriori* besitzen können. Demgegenüber besitzen platonistische Universalien eine reale Existenz *a priori*; insofern immanente Universalien empirisch zu bilden sind, wird die durch Armstrong (1978b) aufgezeigte Verbindung von *Universalien* und dem etwa auch durch Bunge vertretenen *wissenschaftlichen Realismus* (Scientific Realism) klarer. Ohne Frage kann eine solche Verbindung nur bei einer Immanenz, nicht bei einer Transzendenz von Universalien (Platonismus) sinnvoll erscheinen.

Weder stellen alle Abstrakta Universalien dar, noch bilden alle Universalien Abstrakta. *Abstrakte Entitäten* (z.B. mathematische Objekte wie Zahlen und Mengen) existieren weder in Raum noch Zeit; d.h. sie sind nicht lokalisiert. Demgegenüber stellen *konkrete Entitäten* z.B. gewöhnliche Objekte oder Ereignisse dar. Dann lassen sich Entitäten weiter klassifizieren, wenn eine zusätzliche Dichotomie hinzukommt, nämlich die Differenzierung zwischen Artefakten und Nicht-Artefakten (Naturdinge).⁴³⁶² Schließlich lässt sich das Ganze noch insofern mit Wolffs (1740: 449) Dichotomie von Materialismus vs. Idealismus kombinieren, als abstrakte Artefakte als W3-Entitäten unter einem idealistischen Regime stehen, genauso wie konkrete Naturdinge gewöhnliche W1-Entitäten bilden, wie sie der Materialismus adressiert. Wie oben erwähnt, verhalten sich die Beziehungspaare, also eine spezifisch tropenorientierte *Type-Token-Beziehung* und die *Universalien-Partikularien-Beziehung*, genau entgegengesetzt. K. Campbell (1990: 2) sowie LaBossiere (1994) haben dies anhand von Beispielen verdeutlicht: sechs Erbsen, die alle genau den gleichen Grünton haben bzw. sechs Murmeln, die alle die gleiche blaue Farbnuance aufweisen. Während im Fall des Universalien-Realisten ein und dieselbe Farbuniversale "Grün" bzw. "Blau" sechsmal instantiiert wird, handelt es sich für den Tropen-Theoretiker um sechs Grünmomente, die sich alle exakt gleichen.

⁴³⁶² Vgl. hierzu auch Thomasson (2004: 10).

Zwar reduziert der Rückgriff auf *Tropen* die umfassende Universalienproblematik,⁴³⁶³ allerdings kommt man in einer mächtigen universalen Ontologie insgesamt nicht an *Universalien* vorbei. E.J. Lowe (2003) liegt mit seinem Vorgehen also richtig, *Tropen* und *Universalien* parallel zu berücksichtigen. Wesentlich ist dabei der Umstand, dass Einzeldinge *Eigenschaften* bzw. *Attribute* aufweisen, die mit Armstrong (1997: 31) entweder *wiederholbar* ("repeatable ways") oder aber *nicht-wiederholbar* ("unrepeatable ways") sind. Wiederholbare Attribute (*repeatables*) werden dabei als *Universalien* bezeichnet, die sich auf mehr als einen Fall anwenden lassen. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass Universalien im rigorosen Sinne auszulegen sind, denn es gilt mit Armstrong (1997: 49): »universals are strictly identical in their distinct instantiations. Exact sameness of length, exact sameness of mass, exact sameness of colour shade, all these suggest strict identity«. Demgegenüber werden nicht-wiederholbare Attribute (*non-repeatables*) allgemein als *Tropen* bezeichnet,⁴³⁶⁴ die *einzelne* Charakteristika von Individuen bzw. Einzeldingen darstellen. Auch diese Differenzierung ist ein metaphysischer Faktor des TLO-Inkommensurabilitätsproblems. So werden bei BFO in der Fixierung auf *Scientific Ontologies* die fundamentalen Strukturen im Zeichen von Invarianten in der Realität ausgelegt, also im Sinne von Armstrongs (1997) "*repeatable ways*", während OCHRE hierzu explizit die Gegenposition vertritt: »OCHRE endorses the view of Williams, Campbell, and Denkel that the building blocks of reality, the atoms of mereology, are non-repeatables«. ⁴³⁶⁵ Damit gilt hier: während für BFO *Universalien* konstituierend sind, haben für OCHRE (wie auch etwa für UFO) *Tropen* eine primäre Bewandnis. Eine dritte Gruppe von TLO-Ansätzen ist in dieser Sache moderater, indem angenommen wird, dass die fundamentalen Strukturen sowohl in Armstrongs (1997) "*repeatable ways*" als auch in "*unrepeatable ways*" bestehen. Das ist mit Blick auf Feyerabends (1975) "*anything goes*" wie auf die *Top-level Ontologie* als tatsächlicher *Universalontologie* auch die sachgerechte Praxis.

Mit Strawson (1959: 168 ff.) gibt es zwei Varianten von Universalien: *sortale Universalien* (Art-Universalien) sowie *charakterisierende Universalien*.⁴³⁶⁶ Neben Arten (sortal universals) und Eigenschaften (property or quality universals) unterscheidet Strawson (2006) mit *Relationen* (relational universals) eine dritte Variante von Universalien.⁴³⁶⁷ Für *sortale Universalien* ist der Gedanke ausschlaggebend, Einzeldinge zu einer spezifischen Art, Gattung oder Sorte zuzuordnen. Individuen oder Einzeldinge (etwa der einzelne Baum) werden entsprechend klassifiziert, indem *sortale Prädikate* ("Baum") auf sie angewendet werden. Arten, Gattungen oder Sorten bilden entsprechende *Universalien*, die durch diese sortalen Prädikate definiert werden. Einzeldinge werden genau dadurch zu wohlbestimmten, gegeneinander abgrenzbaren "Individuen", indem sie diese *sortalen Uni-*

⁴³⁶³ Vgl. hierzu etwa Moreland (2001: Ch. 1).

⁴³⁶⁴ Vgl. D.C. Williams (1953a, 1953b) sowie K. Campbell (1990).

⁴³⁶⁵ Vgl. L. Schneider (2003a: 94).

⁴³⁶⁶ Vgl. hierzu auch Sen (2006), insbes. p. 28; vgl. hierzu ferner Durrant (1970).

⁴³⁶⁷ Dabei bilden *Eigenschaften* einstellige (monadische) Universalien, während *Relationen* vielstellige (polyadische) Universalien darstellen.

versalien instantiieren. Für Universalien gilt entsprechend, dass sie durch *Instanzen* instantiiert werden, während sie durch *Partikularien* exemplifiziert werden,⁴³⁶⁸ womit Instanzen und Partikularien in entsprechendem Bezug zueinander stehen:⁴³⁶⁹

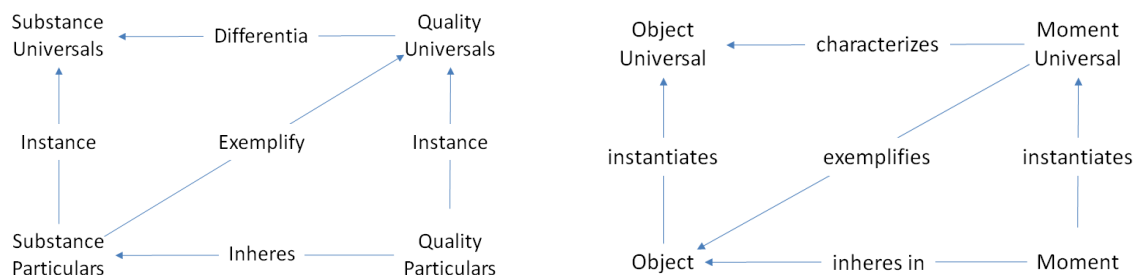


Abb. 49:⁴³⁷⁰ Ontologisches Quadrat im Kontext von Universalien und Tropen

Ungeachtet der Tatsache, dass die Universalienproblematik bereits in der griechischen Antike existent ist, wird ihr ganzer Umfang erst richtig mit dem *Universalienstreit* der mittelalterlichen Scholastik als ihrem Höhepunkt offensichtlich. Mit ihm wird deutlich, dass es zu *Universalien* drei metaphysische Grundpositionen gibt, die in Form des *Nominalismus*, *Konzeptualismus* und des *Realismus* vertreten werden. Dabei gibt es auch verbindende Positionen, d.h. eklektizistische Varianten.⁴³⁷¹ Ferner ist zu beachten, dass selbst diese drei Grundpositionen in sich keinesfalls einheitlich sind,⁴³⁷² wie es weiter unten mit einer genaueren Betrachtung der *realistischen* Position deutlich wird. Tatsächlich ist gerade eine genauere Analyse der Realismusvarianten erforderlich, indem die realistische Universalienfrage einen zentralen Faktor für das Inkommensurabilitätsproblem bildet. Das gilt nicht zuletzt für die verbreitetsten TLO-Ansätze BFO, DOLCE und BWW, die gerade auch in dieser Sache jeweils grundlegend andere Positionen vertreten. Es ist damit offenbar ein grundsätzlicher Trugschluss, wenn linguistische AI-Ontologen wie Genesereth/Nilsson (1987) und in dieser Tradition auch Gruber (1993, 1995) meinen, die Universalienproblematik einfach ausblenden zu können. Auch Kohne (2014) sieht die heterogenen Auffassungen zum Ontologiekonzept im Widerstreit zwischen dem Realismus und Nominalismus begründet, worin die älteste andauernde metaphysische Debatte besteht.⁴³⁷³ Diese ist zwar ein Faktor im Inkommensurabilitätsproblem, spiegelt letztlich aber nur einen geringen Teil der ganzen Problematik wider. Mit Cocchiarella (2007) lässt sich die Problematik solcher Ontologiekonzeptionen, die in ihrem Verzicht auf eine TLO-Referenz als naiv zu werten sind, im Kontext der Universalienproblematik weiter aufhellen:

⁴³⁶⁸ Die ontologische Differenzierung zwischen *Universalien* und *Partikularien* lässt sich mithilfe der Instantiierung begründen: Partikularien sind Entitäten, die *keine* Instanzen haben können, während Universalien Entitäten darstellen, die Instanzen aufweisen *können*, aber im Platonismus nicht notwendig aufweisen müssen. Im Aristotelismus sind demgegenüber Universalien nur solche, die auch Instanzen haben.

⁴³⁶⁹ Vgl. hierzu Mertz (1996: 176).

⁴³⁷⁰ Quelle: eigene Darstellung; links nach Neuhaus/Grenon/Smith (2004: 50); rechts nach Guizzardi/Wagner (2010: 176).

⁴³⁷¹ Vgl. hierzu Gracia (1988: 85 ff.).

⁴³⁷² Vgl. hierzu im Einzelnen etwa Gracia (1988: 60 ff.).

⁴³⁷³ Vgl. auch Loux (2002: 22).

»Different formal ontologies are primarily based on different formal theories of predication, which in turn are based on different theories of universals, the three most important being nominalism, conceptualism, and realism. A basic feature of a formal ontology, in other words, is a formal theory of predication based on a theory of universals. A key aspect of such a theory is how the categories of being, especially the category of objects and the category of universals, are related to one another, and how the unity of the nexus of predication is explained in terms of those categories. Such a categorial analysis indicates another basic feature of a formal ontology, namely, how it represents the categorial structure of the world, and in particular whether it can represent the categorial structure of our commonsense understanding of the world as well that of our scientific theories, without the two being in conflict. A formal ontology is not just a formal axiomatic development, in other words, but rather it is a system in which ontological categories are represented by logical categories, and ontological analyses by logical analyses.«⁴³⁷⁴

Im Kontext der Kategorien bzw. meta-ontologischen Kriterien im Allgemeinen wie der Theorie der Universalien im Besonderen spricht mit Cocchiarella (2007) vieles dafür, zunächst einmal die grundlegenden Fragen zur Ontologie zu klären, bevor man in der AI-Disziplin "Ontologien" ins Spiel bringt. Denn ohne eine solche Grundlegung lässt sich weder eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation noch Künstliche Intelligenz cyber-physischer Systeme in belastbarer bzw. stabiler Weise realisieren. Alles andere führt in komplexen Systemen wie in U-PLM-Kontexten vielmehr über kurz oder lang zu nicht-interoperablen Ontologien bzw. zu Inferenzproblemen. Mit Pkt. 3.4 ist Grubers (1995) Designkriterium einer *minimalen ontologischen Verpflichtung* für sämtliche Ontologiezwecke verfehlt; Ontologie im Sinne der Heavyweight-Ontologie impliziert vielmehr eine umfassend geklärte ontologische Verpflichtung, denn mit Blick auf die semantische Interoperabilität von Ontologien gilt: »There cannot be one-to-one correspondence between semantic domains if the underlying ontological commitments differ.«⁴³⁷⁵ Dabei steht außer Frage, dass sich eine solch umfassend geklärte ontologische Verpflichtung allein auf Basis der *Top-level Ontologie* gewährleisten lässt, da sich metaphysische Debatten wie der Universalienstreit allein auf der obersten Ontologieebene der Informatik klären lassen, die selbst eine metaphysische Wurzel besitzt.

Die durch das defekte linguistische Ontologieverständnis Genesereth/Nilssons (1987) wie Grubers (1993, 1995) induzierten Probleme beginnen damit, dass für intersubjektiv bzw. interorganisational geteilte Ontologien natürlich entscheidend ist, ob sie *de facto* auf einem Konzeptualismus, Nominalismus oder auf den unterschiedlichen Spielarten des Realismus basieren. Für die KR-Belange cyber-physischer Welten ist dies von besonders umfassender Konsequenz, wenn einerseits für die sachgerechte Realitätsrepräsentation physischer Welten die Universalienfrage wie die Frage der Wahrmacher entscheidend ist, während für Cyberwelten offenbar andere Voraussetzungen gelten. Wenn teils diametral verschiedene ontologische Paradigmen koexistieren, wird das Postulat einer expliziten wie strikten TLO-Referenz zwingend, um mögliche Fehlerquellen im Wechselspiel heterogener Ontologien zu vermeiden. Demgegenüber verstehen weder Genesereth/Nilsson (1987) noch Gruber (1993, 1995) als "linguistische" Ontologen auch nur ansatzweise die zentrale Rolle der *Top-level Ontologie* als fundamentales Weltmodell der Informatik. Natürlich

⁴³⁷⁴ Cocchiarella (2007: xvii).

⁴³⁷⁵ Vgl. Scheider et al. (2010: 133).

wurde mit Mealy (1967) nicht nur die – immer metaphysisch zu verstehende – Ontologie aus der Philosophie übernommen, sondern mit ihr auch der metaphysische Universalienstreit. Analoges gilt für die zahlreichen anderen metaphysischen Widerstreite; auch diese lassen sich allein im metaphysischen Diskurs auflösen. Vor allem wird mit der naiven Position Genesereth/Nilssons (1987) und Grubers (1993, 1995) übersehen, dass mit den weiter unten genannten disparaten Positionen die Universalienfrage auch in der Informatik faktisch gestellt wird und dabei genauso umstritten ist wie in der Philosophie.

Offenbar ist es ein Irrtum anzunehmen, die Informatik käme in ihrer ontologischen Fundierung an dem Universalienstreit vorbei. Richtig ist vielmehr, dass die Herausforderung in dieser Disziplin weitaus größer ist als in der Philosophie. Denn analog zu den anderen metaphysischen Problemen ist auch das Universalienproblem hier *zwingend* mitsamt sämtlicher Detailfragen vollkommen zu lösen. Denn anders lässt sich das Ziel wirklich intelligenter, dauerhaft stabiler AI-Systeme nicht realisieren, wenn diese die Kombination wissenschaftlicher, technologischer wie praktischer Ontologien voraussetzen. Bereits die Positionen des Realismus, Konzeptualismus und Nominalismus indizieren, dass wiederum der in Pkt. 3.3.2 thematisierte Widerstreit zwischen linguistischem vs. realistischem OE-Ansatzpunkt von Bewandnis ist. Dieser lässt sich dabei nicht auf eine linguistische Debatte verkürzen, sondern erfordert den in Pkt. 6.2.2 geführten Diskurs um die deskriptive vs. revisionäre Metaphysik. In der Forderung nach strikter revisionärer TLO-Referenz und der dadurch bedingten konsequenten Ablehnung des Gruberschen linguistischen Ontologieverständnisses besteht indessen allein der erste Schritt. Der zweite muss auf die Überwindung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems zielen, das sich nicht zuletzt auch wesentlich um Tropen, Universalien oder die Reifikation dreht. Da sich das Inkommensurabilitätsproblem nicht über ein TLO-Mapping aufheben lässt, indem die Kategorien immer in einem umfassenden meta-ontologischen wie metaphysisch verankerten Gefüge stehen, bleibt allein die Evaluierung und Selektion der konkurrierenden TLO-Theorieanwärter gemäß ihrer IoX-Konformität bzw. CPSS/SEA-Adäquanz. Dazu gehört mit Pkt. 7.2 auch eine spezifische Anforderung hinsichtlich von Universalien, Tropen und Konzepten.

Dass die Informatik am philosophischen Universalienstreit in keiner Weise vorbeikommt, lässt sich bereits bei Mealy (1967) erahnen, durch den die philosophische Ontologie erstmals auf die Informatik übertragen wird. Indessen besitzt die Informatik mittlerweile ihren eigenen Universalienstreit: Während die Position des *Nominalismus* durch Mealy (1967) selbst sowie etwa durch Ashenurst (1996) vertreten wird, findet jene des *Konzeptualismus* etwa in Gruber (1993) ihren Fürsprecher.⁴³⁷⁶ Im Wesentlichen wird dieser – wenn auch nicht ausschließlich – auch durch Guarino verfochten.⁴³⁷⁷ Demgegenüber folgen McCarthy (1980), Hayes (1985a), Hobbs (1985) oder Hobbs et al. (1987) jeweils im

⁴³⁷⁶ Vgl. auch B. Smith (2003a: 161 f.) sowie West (2009: 230).

⁴³⁷⁷ Diese duale Position Guarinos erklärt sich nicht zuletzt daraus, dass bei ihm zwei ontologische Welten koexistieren, nämlich zum einen die eigentlich bei Guarino im Zentrum stehende *Ontology of Particulars* (DOLCE), zum anderen eine *Ontology of Universals*, die für erste die Beschreibungskonzepte liefert.

Sinne einer *Common Sense-Realität*, sowie losgelöst davon McCarthy/Hayes (1969), Wand/Weber (1989b, 1990a), Takagaki (1990), Degen et al. (2001), Fettke/Loos (2003a), Palomäki (2009), West (2009) und zahlreiche andere Ontologen verschiedenen Spielarten des *Realismus*. Teilweise wird dabei speziell ein *immanenter Realismus* vertreten, etwa durch B. Smith (2003a),⁴³⁷⁸ ein *aristotelischer Commonsense Realismus* etwa durch Milton/Kazmierczak (2000), oder aber ein materialistischer *wissenschaftlicher Realismus* etwa durch Bunge (2006). Darüber hinaus gibt es Verfechter eines *platonischen Realismus*, wie etwa Sowa (2000) oder in Teilen ebenfalls Guarino (1995). Es sollte insgesamt nicht übersehen werden, dass die differenten Positionen in der Universalienfrage weniger in Unkenntnis der Zusammenhänge vertreten werden sondern vor allem deshalb, weil sie tatsächlich für die jeweiligen Ontologiezwecke als erforderlich erachtet werden. Damit ist die Universalienproblematik genauso wie das Inkommensurabilitätsproblem nur dann lösbar, wenn sie auf eine Mehrweltenontologie wie CYPO FOX bezogen wird: Denn die Universalienfrage ist etwa bzgl. W1A-Entitäten vollkommen anders zu beurteilen als etwa bzgl. W2P-Entitäten. Letztere sind epistemisch, zielen auf mögliche Welten und sind nicht den *Scientific Ontologies* Smithens verpflichtet. Während ein Platonismus in der Universalienfrage für die W1-Welt kaum geeignet erscheinen kann, ist er bzgl. der W3P-Welt legitimierbar. Nicht umsonst fällt der platonische Ideenhimmel insgesamt in die Popperische Welt 3. Im Zuge der *WonderWeb Foundational Ontologies Library* (WFOL) kommt man notwendig auf diese Aspekte zurück, wenn es hier um die Frage der Integrierbarkeit bzw. Kommensurabilität von BFO und DOLCE als TLO-Ansätze geht. Dann wird ersichtlich, dass das TLO-Inkommensurabilitätsproblem auch hier begründet liegt.

Das Universalienproblem besteht zuvorderst in der Frage, ob Universalien eine ontologische Existenz eingeräumt werden kann, wie es der Realismus postuliert, oder ob es sich bei ihnen um rein verstandesmäßige Begriffsbildungen handelt, wie es der Nominalismus bzw. der Konzeptualismus befürworten. Die damit zusammenhängenden Debatten reichen dabei bis in die Gegenwart, wie es ihre Fortsetzung in den Reihen der Informatik zeigt. Wie erwähnt wird im Universalienstreit im Allgemeinen zwischen drei Positionen differenziert, die als (i) *Realismus* (Universalienrealismus), (ii) *Nominalismus* sowie (iii) *Konzeptualismus* bezeichnet werden.⁴³⁷⁹ Ad (i) wird im *Realismus* (Universalienrealismus) Universalien eine ontologische Existenz eingeräumt, d.h. die Universalien existieren außerhalb des menschlichen Geistes. Diese Existenz kann sich in zwei grundlegenden Formen darstellen, nämlich in Gestalt des (*ia*) Platonismus wie des (*ib*) (Neo-) Aristotelismus: in Form der Existenz von Ideen bzw. eines "Ideenhimmels" (Platonismus) bzw. auf Basis realer Entitäten, also konkreter Objekte bzw. Ereignisse ((Neo-) Aristotelismus).

Ad (*ia*) ist für den *Platonischen Universalienrealismus*, der auch als extremer Realismus, Ultrarealismus, transzendentaler Realismus, idealistischer Realismus oder einfach als

⁴³⁷⁸ Vgl. hierzu auch Dumontier/Hoehndorf (2010).

⁴³⁷⁹ Vgl. hierzu Poli (2010a: 17 ff.).

Platonismus bezeichnet wird, folgendes feststellen: Die platonische 'Idee' als objektiver Begriff existiert außerhalb bzw. unabhängig von einem erkennenden Geist (Ideenhimmel); die Ideen sind *ewig*. Insofern wird bei Whitehead (1929a) in platonistischer Tradition von "*eternal objects*" gesprochen. Dem Allgemeinen liegen die Ideen zugrunde, die eine eigene Existenz besitzen. Sie sind unabhängig von den Einzeldingen und sind vor diesen. Die Einzeldinge entsprechen den Ideen lediglich annäherungsweise. Indem in platonischen Universalien Ideen verkörpert sind, die "vor den Dingen" (*universalia ante rem*) sind, besitzen sie reale Existenz *a priori*. Die platonische Position radikaler Realisten besagt damit, dass den Universalien der Status substanziellen Daseins zukommt, sie also tatsächliche Seinseinheiten darstellen. Damit ist zugleich die Annahme erfüllt, dass es *abstrakte Entitäten* gibt. Im Sinne absoluter mathematischer Wahrheiten handelt es sich etwa bei Gödel (1951) oder R. Penrose (1997a) um Vertreter des mathematischen Platonismus. Der Platonismus wird gewöhnlich mit zwei zentralen Vorwürfen konfrontiert, die gleichzeitig einen zentralen Unterschied zum Aristotelismus markieren: zum einen das positivistische Argument, wonach solche platonischen Universalien bzw. mathematischen Entitäten nicht empirisch erfahrbar sind. Allerdings ist dieser Vorwurf insofern zu entkräften, als das Moment direkter empirischer Erfahrbarkeit für die Frage der ontischen Existenz solcher mathematischen Entitäten dann nicht zwingend ist, wenn sie sich auf Grundlage verschiedenster erfahrungswissenschaftlicher Theorien bzw. empirischer Gesetze indirekt beweisen lassen. Entsprechend wird als Kernargument gegen den Platonismus das Problem der Weltverdoppelung angeführt. Diese resultiert daraus, dass dem Allgemeinen wie dem Besonderen jeweils eine "Welt" zuzuschreiben ist, womit sich entsprechend zwei Welten konstituieren. Allerdings lässt sich auch diese Kernkritik zurückweisen, weil sie nur dann ein Problem darstellt, wenn Ontologie als Monoweltenontologie verstanden wird. Bei einer Mehrweltenontologie, die mindestens zwischen der Welt 1 und der Welt 2 differenziert, erweist sich diese Verdopplung als unproblematisch. Denn mit Rescher (2003a) ist zwischen ontischer und epistemischer Welt zu differenzieren und dann sind Universalien im Platonischen Realismus mit Rescher (1992: 80) dem Kosmos insofern *inhärent*, als sie offenbar jederzeit *entdeckbar* sind, für sie gilt also: »*found (by minds) in things* (Platonic realism), that is, perceived by minds in preexisting aspects of things [...]«. Wenn der Platonismus als Entdeckungszusammenhang verstanden wird, ist er unproblematisch, indem sich der platonische Ideenhimmel im intelligiblen Universum genauso entdecken bzw. feststellen lässt wie seine fundamentalen Strukturen, logico-mathematischen Regeln oder Naturgesetze.

Vor der nachfolgenden Diskussion des Aristotelismus sei zunächst der zentrale Unterschied zwischen den beiden Varianten des Universalienrealismus an zwei zusammenhängenden Fragen illustriert, anhand derer bestimmbar wird, ob Universalien *transzendent* oder *immanent* sind:

- (a) Im Hinblick auf die Existenz nicht-instantiiertes Universalien ist zu fragen: gibt es Universalien, die von keinem Partikularium exemplifiziert werden (Platonismus)? Oder ist die Existenz einer Universalie von wenigstens einem ihrer Vorkommen abhängig (Aristotelismus)?
- (b) In Bezug auf die Immanenz vs. Transzendenz von Universalien ist demgegenüber zu klären: Sind Universalien innerhalb (Aristotelismus; immanenter Realismus) oder außerhalb (platonischer Ideenhimmel) der realen Entitäten, deren Allgemeinbegriffe sie bilden?

Ad (iβ) sind für den Aristotelischen Universalienrealismus, der auch als gemäßiger oder pragmatischer Realismus, einfach als Aristotelismus oder aber in neo-aristotelischen Ansätzen – etwa bei D. Armstrong – als *immanenter Realismus* bezeichnet wird, die folgenden Aspekte charakteristisch: Universalien sind im Sinne von Gattungsformen "in den Dingen" (*universalia in re*), in rebus; sie sind den Dingen *immanent*, woraus sich auch die Bezeichnung "*immanenter Realismus*" ableitet. Universalien existieren an und in den Dingen, können vom Denken erfasst werden und haben insofern objektive Gültigkeit. Entsprechend besitzen Universalien reale Existenz *a posteriori*; sie lässt sich empirisch feststellen. Als Substrate, d.h. als das, was Universalien instantiiert, fungieren in Armstrongs Theorie Raumzeit-Positionen. Bei Bunge findet der Umstand, dass es zwei empirische Modi gibt (nach unserer Konvention: W1 und W4) insofern Berücksichtigung, als er zwischen *physischen* und *begrifflichen* Universalien differenziert.⁴³⁸⁰ Indessen sind für Bunge gewiss auch physische Universalien nicht "real"; das sind bei ihm allein die materiellen "Dinge" an sich. Vielmehr liegt im Aristotelismus das Allgemeine der Realität *als Struktur* zu Grunde. Damit ist das Allgemeine zwar der Realität zugehörig, besitzt aber keine selbständige Existenz. Das Allgemeine existiert in den Dingen, haftet ihnen gleichsam an, denn das Allgemeine ist das, was von den Dingen als Eigenschaften ausgesagt werden kann. Es ist somit ein Produkt des Denkens, als dass sich durch Erfahrung gewonnene Gedanken als eine Auffassung über Ähnliches in den Einzeldingen bilden. Das Allgemeine bleibt aber trotzdem *in den Einzeldingen* real vorhanden, und zwar als Form. Es ist die *Form*, die in der aristotelischen *Form-Materie-Dichotomie* universal ist, wobei zwischen den erwähnten *sortalen* und *charakterisierenden Universalien* zu differenzieren ist. Wie beim Platonismus ist die Annahme erfüllt, dass es abstrakte Entitäten gibt, jedoch sind diese abhängig von der Existenz eines erkennenden Geistes. Neben Armstrong und Bunge vertreten auch Johansson (1998, 2000) oder B. Smith einen neo-aristotelischen Universalienrealismus; in Smithens *Scientific Ontologies* werden Universalien als *Klassen* aufgefasst.

Ad (ii) ist für den *Nominalismus* festzustellen, dass es sich dabei insofern um eine Gegenposition zum Platonismus handelt, als die platonistische Annahme der Existenz von Begriffen, Klassen und anderen Universalien abgelehnt wird. Für den Nominalismus gilt die ausschließliche Annahme individueller Gegenstände; der starke Nominalismus geht

⁴³⁸⁰ Vgl. Bunge/Mahner (2004: 239, Nr. 2-5).

darüber noch hinaus, indem er die Annahme von Universalien überhaupt als verfehlt erachtet. Seiner Bezeichnung entsprechend sind für den Nominalismus Universalien nur Namen (*universalia post rem*); Begriffe sind für ihn Namen, die als Bezeichnungen für einzelne Erscheinungen der Wirklichkeit fungieren. Insofern basieren nominalistische Ontologien rein auf linguistischen Ausdrücken bzw. Begriffen; die Bedeutung ist dabei linguistisch durch den Menschen bestimmt, nämlich entweder durch Präskeption oder durch Konsens. Mit Rescher (1992: 80) sind *Universalien* »made by minds (nominalism), that is, imputed to things by minds in virtue of their (the minds') operation«. Somit handelt es sich um Allgemeinbegriffe, die nur im Denken existieren; d.h. die Begriffe selbst besitzen keine Entsprechungen in der Realität. Quines ontologisches Identitätskriterium folgt dem Nominalismus, womit er keinen *Universalienrealismus* vertreten kann, während er wie erwähnt einen *Weltenrealismus* vertritt:

»There is no entity without identity, and the identity of properties is ill defined. Properties are sometimes distinguished even though they are properties of entirely the same things; and there are no clear standards for so doing. However, the utility that made properties such a boon can be retained by deciding to equate properties that are true of all the same things, and to continue to exploit them under another name: classes.«⁴³⁸¹

Die Ablehnung des Universalienrealismus lässt also bei Quine dennoch Universalien in Form nominalistischer Klassen zu, was mit der ausschließlichen Voraussetzung konkreter Einzeldinge konform geht. Bunge hält den Nominalismus mit den Wissenschaften für unvereinbar, weil für diese die Eigenschaften von Dingen essentiell sind, während der Nominalismus keine ontologische Kategorie bzw. eigene Entität der Eigenschaften kennt.^{4382, 4383} Existent sind nur die konkreten Einzeldinge an sich. Vor diesem Hintergrund stellt die oben erörterte *Tropentheorie* eine Alternative zum Nominalismus dar, indem bei dieser die Eigenschaften konkreter Einzeldinge in Form einer *eigenen Entität*, nämlich den *Tropen*, bestimmt werden.⁴³⁸⁴

Ad (iii) lässt sich schließlich für den *Konzeptualismus* feststellen, dass dieser genauso auf Begriffen basiert, jedoch die *Konzepte* als dritten Aspekt des *semiotischen Dreiecks* gesondert herausstellt. Mit Verweis auf Abb. 7 in Pkt. 3.3.2 geht es weniger um die Symbol-ebene, sondern vor allem bzw. ausschließlich um die Konzeptebene. Das Allgemeine ist als solches nicht außerhalb des menschlichen Geistes in der Sache (in re), sondern intentionaler Natur; d.h. das Allgemeine ist ein Begriff des Verstandes. Universalien bilden demnach begriffliche Abstraktionen, die nur im Verstand existieren und durch diesen gebildet werden. Universalien sind entsprechend semantisch existent und mental wirklich. *Universalien* sind mit Rescher (1992: 80) also »generated in mind-thing interaction (conceptualism)«. Dabei werden die Universalien im Zuge des Vergleichs mit den wirklichen Einzeldingen gebildet; insofern sind sie weder "vor den Dingen" noch "in den Din-

⁴³⁸¹ Quine (1995: 40).

⁴³⁸² Vgl. Bunge (1977a: 58).

⁴³⁸³ Das gilt für den *extremen Nominalismus*. Im *gemäßigten Nominalismus* gibt es zwar Eigenschaften; diese werden aber nicht als *Universalien*, sondern als *Individuen* aufgefasst, vgl. hierzu Armstrong (1989).

⁴³⁸⁴ Vgl. hierzu etwa F. Wilson (2007).

gen" zu verorten, wie es im Universalienrealismus der Fall ist. Vielmehr entstehen Universalien erst im Zuge der Interaktion, und somit erst "nach den Dingen" (post res).

Somit sind die Positionen im Universalienstreit skizziert, die sich in dieser Weise auch in der Ontologie der Informatik finden. Dabei ist der Universalienstreit mit Pkt. 6.2.2 wiederum im direkten Zusammenhang zu Strawsons (1959) Differenzierung von deskriptiver und revisionärer Metaphysik zu sehen. Hierzu lassen sich folgende Tendenzaussagen treffen: Indem die revisionäre Metaphysik mindestens eine Klasse-3-Metaphysik darstellt, also wissenschaftliche Metaphysik ist, hat sie sich auch in der Universalienfrage zwingend auf reale Entitäten (Objekte, Ereignisse) zu beziehen. Damit ist für sie der Realismus gesetzt. Demgegenüber ist bei der deskriptiven Metaphysik eine solch einschränkende Zuordnung nicht möglich, weil sie an sich keine kohärente Bewegung darstellt. Tatsächlich sind bei der deskriptiven Richtung alle drei Positionen in der Universalienfrage denkbar: mit Blick auf die *Common Sense-Realität* bzw. die linguistische Ontologieauffassung sowohl der Nominalismus als auch der Konzeptualismus. Bei den kategorialen TLO-Ansätzen kommt demgegenüber auch in der deskriptiven Metaphysik der Realismus ins Spiel: Im Fall der BFO der *immanente Realismus*; im Fall von DOLCE der *platonische Realismus*.

Entgegen B. Smith (2004) ist neben der Universalienkategorie und der Kategorie der Tropen auch jene der *Konzepte* erforderlich, nämlich in der Welt 2, der Welt 3 und damit auch in der Welt 4. Indessen sollte sie im Sinne von Quines Sparsamkeitsprinzip in der Welt 1 strikt ausgeschlossen sein. Wenn es genau diese Welt 1 ist, auf die B. Smithens (2004) *Scientific Ontologies* zielen, besteht offenbar kein Widerspruch. Vielmehr hat die Debatte allein damit etwas zu tun, dass die Ontologie bei Smith als *Monoweltenontologie* und nicht als *Mehrweltenontologie* konzipiert ist. Mit CYPO FOX lassen sich solche typischen Konflikte von vornherein vermeiden. In der GFO-TLO findet sich die Kategorie der Universalien wie der Konzepte, und ihre Kombination unter dem Regime einer einheitlichen TLO-Referenz wird mit der IS/KS-Kombination tatsächlich erforderlich. Das ist bspw. dann der Fall, wenn es um die Kombination von biomedizinischen W1-Ontologien mit W3-Ontologien von Klinikinformationssystemen geht. Genauso etwa, wenn physikalische KS-Ontologien mit ODIS-Ontologien von U-PLM-Systemen in Industrien wie der Medizintechnik kombiniert werden. Vor dem Hintergrund solcher kombinierten Informations- und Wissenssysteme irrt auch N.J. Nilsson (2010: 441), wenn er die AI-Ontologie auf *Konzepte* reduzieren will: »In AI, an ontology consists of a set of concepts and relationships among those concepts«. Mit Blick auf die erforderliche IS/KS-Kombination ist Nilssons einseitige konzeptuelle Position damit genauso abzulehnen wie die einseitige Universalienposition B. Smithens (2004).

Wenn der Universalienstreit in der Ontologie der Informatik fortgeführt wird, besitzt die diesbezügliche Debatte hier eine völlig andere Qualität als in der Philosophie. Denn in der Informatik ist ein fortdauernder Universalienstreit aus dem Grunde inakzeptabel, als in ihm ein elementarer Faktor des TLO-Inkommensurabilitätsproblems besteht. Das umfassende

Integrationserfordernis, das bereits eine umfängliche semantische Interoperabilität einfordert, gibt es nur in der Informatik; für die Philosophie ist es hingegen in keiner Weise zwingend. Der Streit, der in der Philosophie über Jahrhunderte schwelt, ist in der Informatik zu lösen; die Informatik muss auch in dieser ontologischen Sache handeln, muss bei einer integrierten Ontologiekonzeption zu einer Lösung kommen: Natürlich ist der platonische Realismus bei DOLCE mit dem aristotelischen Realismus bei BFO genauso inkompatibel wie mit dem Konzeptualismus bei Gruber oder dem Nominalismus bei Mealy bzw. Ashenhurst. Indem jede Ontologie mit ihren metaphysischen Dispositionen Metaphysik impliziert, bezieht sie auch im Universalienstreit Position, selbst dann, wenn das nicht explizit geschieht. Nehmen wir etwa die Universalienposition bei der BFO-TLO, so resultiert diese unmittelbar mit Pkt. 5.2 aus dem Rekurs auf die aristotelische Substanzontologie. Zwar steht die BFO-TLO damit auf einem eingehend dargelegten Fundament, doch schränkt sie damit selbst die Mächtigkeit der Ontologiekonzeption ein. Alles außerhalb des immanenten Realismus ist mit ihr nicht zu machen; mit ihrem Neo-Aristotelismus ist sie mit Konzepten wie mit dem Ultrarealismus inkompatibel, vor allem dadurch, dass es sich bei der BFO-TLO um eine Monoweltenontologie handelt.

Indessen wird mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* deutlich, dass eine mächtige Ontologie im Grunde sämtliche Standpunkte zulassen können muss: platonische wie aristotelische Universalien, Tropen, Konzepte und Symbole. Eine Computer- bzw. Digitalmetaphysik setzt die Existenz *mathematischer Universalien* bzw. *eternal objects* spätestens mit Zuses (1982) *Computing Universe* voraus, mit dem sie sich ontologisch auseinandersetzen können muss. Mit anderen Worten: eine tatsächlich mächtige Ontologiekonzeption kann sich nicht auf den einen oder anderen Standpunkt im Universalienstreit beziehen, sondern besitzt ihre Stärke darin, dass sie alle Positionen absorbiert. Mit CYPO FOX wird das insofern möglich, als diese auf der Whitehead-Popperschen Synthese aufbaut, nämlich auf der Whiteheadschen Synthese der Positionen Platons und Aristoteles, die sich im Sinne eines empirisch zugänglichen logico-mathematischen Universums auf die Welt 1 bezieht. Whiteheads Partikularien lassen dabei auch Tropen zu. Im Sinne von Whiteheads *Subjekt-Superjekt* und Poppers *Drei-Welten-Lehre* schließen sich mit der Welt 2 und Welt 3 die Positionen des Konzeptualismus bzw. des Nominalismus an. Mit der CYPO Welt 4 werden auch Bunes *begriffliche* Universalien im Sinne eines empirischen Ontologiemodus integrierbar. Entsprechend gilt für CYPO FOX auch in der Sache des Universalienstreits Feyerabends (1975) *"anything goes"*. Richtig beseitigen lässt sich das Universalienproblem demnach allein auf der Grundlage einer *Mehrweltenontologie*; seine Überwindung fordert mindestens vier Ontologietypen ein, wie sie CYPO FOX zugrundelegt. Mit dieser Mehrweltenontologie werden hinsichtlich des Universalienproblems dabei folgende Optionen eröffnet:

- gleichzeitige Geltung von Realismus (W1), Konzeptualismus (W2) und Nominalismus (W3);

6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien

- gleichzeitige Geltung von Immanenz und Transzendenz von Universalien auf Basis der Whiteheadschen Synthese (W1A);
- gleichzeitige Geltung von Universalien und Tropen (W1, W4) und Konzepten (W2, W3);
- gleichzeitige Geltung von Universalien mit realer *a priori* (z.B. W1P, W2F) und *a posteriori* (z.B. W1A, W4A) Existenz (faktische und mögliche Universalien),^{4385, 4386}
- gleichzeitige Geltung *physischer* (W1) und *begrifflicher* Universalien (W4);
- gleichzeitige Geltung von Universalien im Zeichen wissenschaftlicher Gesetze (W1 bzw. W4) und einfachen klassifizierenden exakten Gleichförmigkeiten (z.B. Produkttypisierung bei Produktontologien) in der Technopraxis (W3);
- gleichzeitige Geltung von "*repeatables*" und "*non-repeatables*".

Entsprechend lässt sich der Universalienstreit im Kontext der Ontologie der Informatik dadurch auflösen, dass das Universalienproblem einzeln auf W1-, W2-, W3- sowie W4-Ontologien bezogen und gelöst wird:

<i>Ontologietypus</i>	<i>Ontologieebene (analog Bunge)</i>	#	<i>Universalienposition</i>
W1-Ontologie [Natürliche Welt]	Physikalische Prozesse (Natürliche Systeme)	1	W1-Universalien (mathematisch und empirisch)
	Chemische Prozesse (Natürliche Systeme)	2	
	Biologische Prozesse (Natürliche Systeme)	3	W1-Tropen
W2-Ontologie [Epistemische Welt]	Psychische / geistige Prozesse [Prozesse (rationaler) Intelligenz] (Intelligente Systeme / Automaten)	4	W2-Konzepte W2-Universalien
W3-Ontologie [Technologische Welt]	Artifizielle / Virtuelle Prozesse (Technologische Systeme) Artefakte	5	W3-Konzepte W3-Universalien (mathematisch und sortal) W3-Tropen
W4-Ontologie [Soziale Welt]	Soziale Prozesse (Sozioökonomische Systeme / Institutionen) Multiagentensysteme (W4M)	6	W4-Konzepte W4-Universalien (mathematisch und empirisch) W4-Tropen

Abb. 50: Universalienposition von CYPO FOX

⁴³⁸⁵ Mit der quantentheoretischen Interpretation bei Everett (1957) und darauf aufbauend bei D. Deutsch (1985, 1997) müssen auch im W1-Modus *mögliche Universalien* zugelassen werden; diese sind jedoch im Sinne Bunes strikt vom W1A-Modus als Standardmodus zu separieren und – wie die Position von Everett und D. Deutsch insgesamt – unter dem gesonderten W1P-Submodus zu führen.

⁴³⁸⁶ *Faktische (aktuale) Universalien* sind dabei im Sinne des *immanenten Realismus* bei D.M. Armstrong (1997) zu verstehen; *mögliche Universalien* im Sinne des *Modalen Realismus* bei D.K. Lewis (1983).

6.2.4 Aktualistischer vs. possibilistischer TLO-Ansatz in CPSS/SEA-Kritik

»Was vernünftig ist, das ist wirklich; und was wirklich ist, das ist vernünftig. In dieser Überzeugung steht jedes unbefangene Bewußtsein, wie die Philosophie, und hiervon geht diese ebenso in Betrachtung des geistigen Universums aus, als des natürlichen.«

— Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1821: 14)

Für die große Konfusion in der Ontologiedebatte ist neben einer Reihe anderer meta-ontologischer bzw. metaphysischer Streitfragen gerade auch jene um die Voraussetzung *möglicher Welten* ausschlaggebend. Entsprechend zeigt sich das TLO-Inkommensurabilitätsproblem maßgeblich dadurch bestimmt, dass streng aktualistischen TLO-Ansätzen possibilistische TLO-Theorieanwörter gegenüberstehen. Insofern ist die Debatte um den Aktualismus vs. Possibilismus zur Klärung bzw. Aufhebung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems unabdingbar. Natürlich ist es für das Ontologieverständnis überaus entscheidend, ob sich die Ontologie im Sinne des Materialismus allein auf das physisch Existente bezieht, oder ob es sich nach Maßgabe des Idealismus auf alle *möglichen Entitäten* erstreckt. Wie in Pkt. 3.1 erwähnt, wird in der modernen Metaphysik mit J. Kim et al. (2012: 3) die Auffassung vertreten, dass selbst *fiktionale* Objekte wie "Pegasus" mit zur Ontologie gehören müssten, weil über sie etwas ausgesagt werden könne. Schon für Chisholm (1973a) gilt: »Everything, however, is an object, whether or not it exists or has any other kind of being, and indeed whether or not it is even thinkable«. ⁴³⁸⁷ Dabei lassen sich die Positionen von Kim und Chisholm unmittelbar auf Meinongs (1913) Objekttheorie zurückführen. Andere Metaphysiker wie Thomasson (1999) gehen noch weiter wenn sie behaupten, dass man sich über solche *Fiktionen* den fundamentalen Strukturen der Welt, insbesondere der Realität annähern könne. Diese Position findet sich bereits in Vaihingens (1911) *Fiktionalismus*, ⁴³⁸⁸ mit dem er im Rekurs auf Nietzsches *umgedrehten Platonismus* den Gedanken einer *Metaphysik des Als-Ob* als Sonderform des idealistischen Positivismus begründet.

Ohne Frage sind *mögliche Welten* für die Kontinentalphilosophie genauso prägend wie für die Analytische Philosophie – und doch sind sie gerade in der Ontologiedebatte überaus umstritten. Insbesondere werden sie durch solche Ontologieansätze infrage gestellt, die positivistisch, empiristisch bzw. naturalistisch oder (neo-) aristotelisch geprägt sind resp. sich als streng wissenschaftliche Ontologien verstehen. Gewiss besitzt auch diese Position, die ebenfalls von renommierten Ontologen vertreten wird, genauso ihre Berechtigung. Die Klärung dieses alten philosophischen Widerstreits kann insofern von der Informatik profitieren, als mit ihr deutlich wird, dass sich dieser nicht klären lässt ohne dabei einerseits die vollkommen disparaten wissenschaftlichen, technologischen bzw. praktischen Ontologiezwecke zu berücksichtigen, andererseits die genauso verschiedenen Welt- bzw. Ontologietypen, wie sie mit CYPO FOX differenziert werden. Wie bei allen anderen meta-ontologischen bzw. metaphysischen Streitfragen gilt auch hier: zunächst sind diese alles ent-

⁴³⁸⁷ Vgl. Chisholm (1973a: 246), Hvh. im Orig.

⁴³⁸⁸ Ein expliziter Rekurs auf Meinong findet sich etwa bei Lycan (1979).

scheidenden Grundfragen zu klären, bevor umfassende Mittel in den Aufbau ganzer Ontologiebibliotheken investiert werden sollten.

Neben den Ontologiezwecken und Ontologietypen lässt sich diese metaphysische Streitfrage darüber hinaus nur dann sachgerecht diskutieren, wenn sie auf die in Pkt. 4.1 differenzierten Metaphysikklassen einschließlich der damit verbundenen Wahrmacher (vgl. Pkt. 6.2.8) bezogen wird. Nur auf einer solchen Basis lässt sie sich systematisch diskutieren, indem sie in den Zusammenhang mit den einzelnen Metaphysiktypen zu bringen ist: Für die Klasse-2A-Metaphysik (= Aktualismus) und Klasse-2P-Metaphysik (= Possibilismus) ist sie genauso einseitig entschieden wie für die Klasse-3-Metaphysik (= Aktualismus). Demgegenüber lässt allein die Klasse-4-Metaphysik auf Basis ihres universalen Strukturalismus sowohl den Aktualismus als auch den Possibilismus im Leibniz-Whiteheadschen Sinne gleichzeitig zu, wenn mit Popper entsprechende Weltypen auf diese einheitliche Basis bezogen werden. Der universale Strukturalismus setzt entsprechende Kategorien voraus, weshalb Whitehead (1929a) die mit dem Hylemorphismus bei Aristoteles oder dem radikalen Idealismus bei Berkeley jeweils einseitig ausgelegte bzw. mit dem Dualismus bei Descartes nicht minder problematisch konzipierte Substanz durch die tatsächlich universale Ereigniskategorie ersetzt. Mit dieser metaphysischen Zeitenwende ist klar, dass der Widerstreit um den Aktualismus vs. Possibilismus im direkten Kontext zu den in Pkt. 6.1.3 behandelten ontologischen Kategoriensystemen steht,⁴³⁸⁹ die über die *Top-level Ontologie* direkt die Frage der Wissensrepräsentation der Informatik bestimmen.

In kategorialer Hinsicht hängt die Debatte darüber hinaus mit der entscheidenden Frage zusammen, ob Kategorien – ausgehend von Russell und Wittgenstein – *logisch* im Sinne des Rationalismus *a priori* oder *ontisch* im Zeichen des Empirismus *a posteriori* konzipiert werden. Dass etwa Bunge *mögliche Welten* ablehnt, hat unmittelbar etwas mit der neoaristotelischen Konzeption seiner Ontologie zu tun, mit seinem Naturalismus und Ratio-Empirismus wie insgesamt mit dem Umstand, dass er eine Klasse-3-Metaphysik vertritt. Ähnliches gilt für Quine in Bezug auf dessen Naturalismus und strikten Empirismus. Das *a posteriori* Moment des Empirismus ist hier also entscheidend, und somit konfliktieren all jene Ontologieansätze mit dem rein logisch gefassten Gedanken möglicher Welten, die strikt auf die Korrespondenztheorie der Wahrheit setzen.⁴³⁹⁰ Die Antwort auf die Frage, warum es bei Leibniz *mögliche Welten* gibt, ist somit primär im platonistischen Charakter seiner Metaphysik zu suchen: ist sie auf ein mathematisches bzw. logico-mathematisches Universum fixiert, geht es um mathematische Wahrheiten. Dann geht es weniger um die Korrespondenztheorie als vielmehr um die Kohärenztheorie der Wahrheit, indem die Wahrheit an der logischer Kohärenz bzw. logischen Widerspruchsfreiheit der Aussagen festgemacht wird.⁴³⁹¹ – Parallel zu den Kategoriensystemen und den Wahrmachern stehen auch alle anderen meta-ontologischen Dispositionen im direkten Wechselspiel mit dieser

⁴³⁸⁹ Vgl. hierzu auch Cumpa (2011: 26 ff.).

⁴³⁹⁰ Vgl. hierzu auch B. Smith (1982).

⁴³⁹¹ Vgl. hierzu Stalnaker (1995).

metaphysischen Streitfrage: Hierzu zählt der in Pkt. 6.2.6 erörterte Widerstreit um den *Realismus vs. Konstruktivismus* genauso wie der unter Pkt. 3.3.2 behandelte Widerstreit *linguistischer vs. realistischer* Ontologien bzw. der in Pkt. 6.2.2 diskutierte Widerstreit um *deskriptive vs. revisionäre Metaphysik*. Dabei wird deutlich, dass realistische Ontologien – jenseits der wissenschaftstheoretisch unhaltbaren Konzeption von D.K. Lewis – prinzipiell aktualistisch gehalten sind bzw. ihren primären Modus im Aktualismus besitzen.

Offensichtlich verlangt die Mögliche-Welten-Problematik in Wirklichkeit eine weitaus differenziertere Betrachtung. Das wird insbesondere dann deutlich, wenn Sinn und Zweck möglicher Welten erst im Kontext der Ontologie der Informatik richtig offensichtlich werden, während dieser im Bereich der philosophischen Ontologie unklar bis strittig bleibt.⁴³⁹² Auch hier gibt es divergierende Anforderungen, wenn die AI-Disziplin mit H.A. Simon (1995a) zum einen wesentlich die strenge Spielart der *Scientific Ontologies* beherrschen können muss, auf der anderen Seite Cyberwelten deutlich idealistisch akzentuiert sind. Insofern ist evident, dass sich mögliche Welten sachgerecht allein vor dem Hintergrund der höchsten aller Metaphysikklassen diskutieren lassen, nämlich im Kontext der techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik. Indem diese zugleich Digitalmetaphysik ist, wird damit die Debatte automatisch auf Cyber-physische Systeme (CPS) und ihre disparaten Weltypen verlegt. Sie sind allein schon deshalb zu differenzieren, weil mit Hartmann (1938: 349) gilt: »Im Realen ist stets nur wenig möglich, im idealen Sein ist nur wenig unmöglich«. Entsprechend lässt sich die für die Informatik entscheidende Frage, was eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption ausmacht, in adäquater Weise vor dem Hintergrund von CYPO FOX auf Basis der Klasse-4-Metaphysik sachgerecht klären: Wie oben festgestellt, verkörpert sie den einzigen Metaphysiktypus, der nicht von vornherein die Debatte um den Aktualismus vs. Possibilismus einseitig entscheidet, sondern im Sinne von Feyerabends (1975) *"anything goes"* vielmehr beide gleichzeitig zulässt. Indem genau das für eine CPSS-adäquate Ontologie erforderlich ist weil beide Modi bei Computern als *Reality Machines* parallel benötigt werden, operiert die Informatik mit der deskriptiven Metaphysik als Klasse-2-Metaphysik auf einer letztlich unhaltbaren metaphysischen Basis. Umso mehr tritt die Relevanz der Explikation der *Top-level Ontologie* in den Vordergrund, indem sich das Ziel intelligenter wie stabiler Computersysteme nicht ohne die vorherige Klärung dieser Grundsatzfragen erreichen lässt. Es lässt sich erst realisieren, wenn die Informatik auf die Basis der Klasse-4-Metaphysik als Digitalmetaphysik gestellt wird, was direkte Relevanz für die kategoriale Fundierung der Wissensontologie besitzt.

Sowohl mit Blick auf die semantische Interoperabilität bzw. die Einheit des Wissens in der Informatik als auch im Hinblick auf die Einheit der Erkenntnis bzw. Kosmologie in der Philosophie ist Ontologie immer als *universale Ontologie* zu verstehen, die allen damit zusammenhängenden Zwecken gerecht wird. Um sich der Frage eines einheitlichen TLO-Verständnis als TLO-Synthese zu nähern, lässt sich etwa an den disparaten metaphysischen

⁴³⁹² Vgl. exemplarisch Felt (1983).

Auffassungen von D.K. Lewis (1986b) sowie R.B. Marcus (1993) ansetzen, indem beide deutlich machen, wie universale Ontologie *nicht* zu verstehen ist, indem sie beide nicht ihr Fundament bilden können. Beide Positionen bilden gewissermaßen die Extrempunkte der Debatte um mögliche Welten: Lewis (1986b) proklamiert für Possibilia *reale Existenz*; d.h. nach seinem Possibilismus sind mögliche Welten genauso "real" und ihre Objekte existieren in genau demselben Sinne wie die Entitäten der aktualen Welt. Denn jede Art, wie eine Welt hätte sein können, ist im Lewisschen *Modalen Realismus* eine Art, wie eine Welt ist. Ist diese Sichtweise, an der sich possibilistische TLO-Ansätze wie DOLCE oder BORO explizit orientieren – ohne sie insgesamt notwendig zu teilen – für die Zwecke der Informatik die richtige? Natürlich nicht, weil bei solchen Monoweltenontologien dann fundamentale Probleme auftreten, wenn es im Sinne von H.A. Simon (1995a) um *Scientific Ontologies* geht. Umgekehrt lässt sich jedoch auch kaum der These von Marcus (1993) zustimmen, wonach Possibilia nicht zum Gegenstand einer referentiellen Bezugnahme gemacht werden könnten: Sie besäße nur dann Richtigkeit, wenn Ontologie im klassisch philosophischen Sinne der Welt 1 rein *ontisch* verstanden würde und sich damit allein auf Konkreta bezöge. Doch das ist weder für die Informatik noch für die Philosophie eine Option. Denn das kausale Wechselspiel technologischer Artefakte ist im Popperschen Sinne als real zu berücksichtigen, wie es anhand Cyber-physischer Systeme offensichtlich wird.

Nach dem klassischen Ontologieverständnis Wolffs (1730), dem auch Kant (1781) folgt, ist für die Ontologie als *metaphysica generalis* das bereits erwähnte Kriterium der *Erfahrbarkeit ontologischer Sachverhalte* entscheidend. Dabei sollte nicht übersehen werden, dass Wolffs Differenzierung zwischen der *metaphysica generalis* und der *metaphysica specialis* unmittelbar mit Leibnizens *Metaphysica* zu tun hat: es ist bekanntlich Leibniz (1710), von dem der Gedanke *möglicher Welten* zwar nicht stammt, der ihn jedoch im Kontext des Gedankens der *prästabilierten Harmonie* umfänglich propagiert.⁴³⁹³ Dabei stehen bei Leibniz (1710) Fragen im Vordergrund, die deutlich unter die *metaphysica specialis* fallen, deren Methode an sich spekulativ ist. Vor diesem Hintergrund ist Wolffs (1730) Differenzierung von Ontologie und *metaphysica specialis* nicht zuletzt im Zusammenhang mit Leibnizens *möglichen Welten* zu sehen. Wie in Pkt. 5.3 deutlich wurde, hat diese Differenzierung darüber hinaus auch unmittelbar etwas mit der Disparität der ontologischen Positionen bei Platon und Aristoteles zu tun. Denn das oben genannte Kriterium der *Erfahrbarkeit ontologischer Sachverhalte* läuft unmittelbar auf das *physisch-empirische Universum* des Aristoteles hinaus, während das mathematische Universum Platons ein abstraktes ist. Genauso sind auch mögliche Welten – jenseits des *Modalen Realismus* bei D.K. Lewis (1986b) – abstrakt.

Im Leibnizprogramm als Ursprungsparadigma der Informatik ist der Gedanke *möglicher Welten* in seiner Verbindung von Logik und Metaphysik elementar, und dieser Gedanke ist für die Informatik in der Tat konstituierend. Bevor näher auf die Zwecke *mögli-*

⁴³⁹³ Vgl. hierzu auch Cassirer (1902).

cher Welten in der Informatik einzugehen ist, gilt es zunächst, den philosophischen Zusammenhang und seine Problematik zu verstehen. Denn erst darauf aufbauend wird ersichtlich, wie die Informatik in einer sachlich richtigen Ontologiekonzeption *mögliche Welten* konzipieren kann – und wie nicht. Denn *mögliche Welten* sind etwa mit Verweis auf deren Ablehnung in aktualistischen Ansätzen wie BFO, BWW oder OCHRE weder für alle Ontologiekonzeptionen der Informatik *per se* selbstverständlich noch sind sie *per se* angezeigt, wenn die AI-Disziplin mit H.A. Simon (1995a) auch wesentlich die Spielart der *Scientific Ontologies* beherrschen können muss. Mit anderen Worten ist auch ein streng aktualistischer Ontologiemodus bei AI-Ontologien nicht nur berechtigt, sondern letztlich notwendig. Damit verbindet sich wiederum unmittelbar die streng empiristische Weltsicht bzw. die aristotelische Basis dieser Ansätze. Den genannten TLO-Ansätzen steht etwa mit DOLCE ein possibilistischer TLO-Theorieanwärter entgegen, während *mögliche Welten* etwa für die BORO-TLO einen noch elementareren Stellenwert besitzen, indem sie für diesen TLO-Ansatz als konstituierend zu werten sind.

Leibniz steht im Kern in der mathematischen Tradition Platons, nicht in jener von Aristoteles, auch wenn sich bestimmte aristotelische Aspekte bei Leibniz finden. Während Überlegungen zu *möglichen Welten* auf einer solchen *logico-mathematischen* Basis nahe liegend sind, ist dies auf *empirischer* Grundlage weniger der Fall. Vielmehr geht es bei der Ontologie dann zunächst darum, im Sinne einer empiristischen Universalsynthese die universalen Strukturen des empirischen Geschehen zu verstehen, was schon eine Herausforderung an sich ist. So erklärt es sich, dass alle wissenschaftsnahen bzw. empirisch orientierten Ontologen dem Gedanken *möglicher Welten* kritisch bis ablehnend gegenüberstehen. Kritisch bis sehr kritisch sind etwa Quine (1948, 1969b, 1976b),⁴³⁹⁴ B. Smith oder Rescher (2001a: Ch. 10; 2006: Ch. 10; 2008: Ch. 10), während Bunge (1977a) mögliche Welten explizit ablehnt, wenn er feststellt:

»Die Semantik und Metaphysik der möglichen Welten samt ihrer Pseudoprobleme, wie die Feststellung von Querweltein-Identität, ist für eine wissenschaftliche Ontologie überflüssig. Sie ist Beispiel eines sprachphilosophischen Exzesses, der kein Ersatz sein kann für genuine Ontologie.«⁴³⁹⁵

Bei Bunge und B. Smith steht diese Ablehnung dabei unmittelbar im Zeichen des *Scientific Realism* (Bunge) bzw. von *Scientific Ontologies* (B. Smith), die bei beiden im unmittelbaren Zusammenhang mit der empirischen Weltsicht bzw. ihrer aristotelischen Basis zu sehen sind.

Umgekehrt sind *mögliche Welten* aus der aktuellen Analytischen Philosophie kaum wegzudenken. Sie beruft sich dabei zumeist auf Carnap (1956), und indem sich dieser ex-

⁴³⁹⁴ In Pkt. 5.1 hatten wir konstatiert, dass es bei Quine mit Blick auf seinen Empirismus und Naturalismus letztlich um die bedingungslose *reale* Existenz der Entitäten geht, womit Quine zur Postulierung der für Cyber-Ontologien elementaren *möglichen Welten* eine höchst skeptische bzw. negative Haltung einnimmt. Quine bezieht in der Debatte um *mögliche Welten* entsprechend eine radikal andere Position als sein Schüler D.K. Lewis mit seiner Modalontologie. Entsprechend weist Lewis (1986b) den "ersatzism", den Quine für mögliche Welten gelten lässt, zurück. Nach Lewis besteht vielmehr für jede Ersatzwelt eine genuine, d.h. reale mögliche Welt.

⁴³⁹⁵ Bunge/Mahner (2004: 247); vgl. hierzu ferner Bunge (1977a), insbes. pp. 199 ff.

plizit wie unmittelbar auf Leibniz bezieht, wird oftmals angenommen, dass mögliche Welten in ihrer modernen analytischen Konzeption direkt auf Carnap zurückgehen. Dabei wird jedoch vieles ausgeblendet, was bereits damit beginnt, dass schon Wittgenstein (1921: § 2.0124; 2.013) diesen Gedanken aufgreift. Das gilt auch dann, wenn dieser nicht von *möglichen Welten*, sondern von *möglichen Sachverhalten* spricht. Inhaltlich geht es jedoch um das gleiche, wenn Wittgenstein *möglichen Sachverhalten* neben *aktualen Sachverhalten* im *logischen Raum* Platz lässt. Wie im Folgenden deutlich wird, hat Carnap den Gedanken der *universalontologischen Konzeption möglicher Welten* – wie auch seinen Vierdimensionalismus – indessen von Russell bzw. Whitehead.⁴³⁹⁶ Dieser Gedanke wird später durch verschiedene analytische Philosophen wieder aufgegriffen, was die Modalmetaphysik bzw. *modale Ontologie* begründet. Wie in Pkt. 3.1 dargelegt, teilt sich diese in zwei Schulen, die durch Kripke und Plantinga einerseits und durch D.K. Lewis andererseits geprägt sind. Wesentlichstes Unterscheidungsmerkmal ist dabei, dass in D.K. Lewis' (1986b) *Modalen Realismus* alle möglichen Welten *real* sind, während bei Kripke bzw. Plantinga allein die aktuelle Welt *real* ist.

Bereits bei Leibniz sind mit *möglichen Welten* im Sinne der *Modalität* verschiedene *logische Denkwelten* gemeint, indem eine *notwendige* Wahrheit in allen diesen Welten wahr ist; eine *mögliche* Wahrheit demgegenüber in mindestens einer. Wie in Pkt. 4.1 dargelegt, begründet Leibniz die Klasse-2-Metaphysik, die in ihrer logico-mathematischen Perspektive *exakte Metaphysik* ist. Insofern verwundert es nicht, wenn die *analytische Metaphysik* der Analytischen Philosophie als Klasse-2-Metaphysik *modale Metaphysik* ist, die heute mit D.K. Lewis, M. Heller oder Sider genauso prozessual wie bei Leibniz verstanden wird.⁴³⁹⁷ Dass die gängige Auffassung falsch ist, wonach Carnap (1956) *mögliche Welten* in die Analytische Philosophie eingebracht hat, liegt dabei unmittelbar mit dem ILP-Zweig in den Ursprüngen der Tradition begründet. Denn es ist Russell (1900, 1903) selbst, der sich als Begründer ihres ILP-Zweigs ausführlich mit Leibnizens *möglichen Welten* auseinandersetzt und diese auf den ILP-Kontext bezieht. Allerdings hat auch Russell die *möglichen Welten* Leibnizens nicht etwa "wiederentdeckt"; dazu war dessen Werk viel zu bedeutend. Vielmehr reicht die umfängliche Leibniz-Rezeption bis zu den Amerikanischen Pragmatisten, indem bereits J. Dewey (1888) Leibnizens *mögliche Welten* in der prozessphilosophischen Domäne ins Spiel bringt. Mit Verweis auf Pkt. 5.6 findet sich dieser Gedanke – wenn auch unter Wahrnehmungsaspekten etwas kritischer – ebenso in Husserls (1894) Phänomenologie. Dabei knüpft zwar auch Husserl an Leibniz an, jedoch nicht im eigentlich digitalmetaphysischen Sinne.

Die Kontroverse um den *Aktualismus vs. Possibilismus* und damit um die alternative Fixierung auf die *aktuelle* Welt oder auf *mögliche Welten* dreht sich um die Möglichkeit und

⁴³⁹⁶ Vgl. hierzu etwa Russell (1903; 1912: 121; 1914: 186).

⁴³⁹⁷ Das gilt auch dann, wenn es sich bei Leibniz um eine *prozessualisierte Substanzmetaphysik* handelt.

Notwendigkeit und dabei vor allem um den Möglichkeitsbegriff.⁴³⁹⁸ Wie bereits in den ontologischen Grundlegungen unter Pkt. 3.1 ersichtlich, gibt es mit Rescher (1979) ein Kontinuum höchst divergenter Möglichkeitsbegriffe, das damit verbunden genauso die universale Ereigniskategorie und ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten betrifft: neben der in Pkt. 4.1 erwähnten *metaphysischen*, d.h. wirklichen Möglichkeit und Notwendigkeit gibt es auch andere Arten von Modalität wie der physischen, logischen und begrifflichen Möglichkeit resp. Notwendigkeit. Deren Abgrenzungserfordernis steht etwa mit E.J. Lowe (2009) außer Frage. Husserls in Pkt. 5.6 erörtertes aktuales Möglichkeitsverständnis ist im Sinne *bedingter Modalitäten* auf die aktuelle Welt bezogen, während am anderen Ende der *Modale Realismus* von Lewis (1979b, 1986b) steht, der im Spektrum der Möglichkeitsbegriffe einen ontischen Possibilismus impliziert. Grundsätzlich lassen sich in der Modalontologie (modal ontology) drei Auffassungen zu möglichen Welten vertreten: (i) mögliche Welten sind *nicht* von derselben Art wie die aktuelle Welt (Possibilismus);⁴³⁹⁹ (ii) mögliche Welten setzen sich aus den gleichen Entitäten zusammen wie die aktuelle Welt (aktualistische Konzeption möglicher Welten; Possibilismus/Aktualismus);⁴⁴⁰⁰ (iii) mögliche Welten sind allein *geistiger* Existenz, die nicht von Subjekten und ihrer Denkkapazität loszulösen ist; diese Auffassung vertritt bspw. Rescher.⁴⁴⁰¹ Entsprechend gibt es keine einheitliche Rede von der aktuellen Welt; sie ist mehrdeutig. In der Modalontologie steht sie im Kontext einer der drei obigen Auffassungen: Bei Adams (1979), Plantinga (1976) sowie bei Van Inwagen (2007b) wird die *aktuale Welt als die wirkliche, reale Welt* im Spektrum möglicher Welten deklariert: »There are all these *possible worlds*, ways things might be. One of them is *actual*: among all the ways things might be it is the one and the only one that is the way things are.«⁴⁴⁰² Somit gilt umgekehrt mit Lycan (2000: 52) im Sinne alternativer Welten: »All these possible worlds represent nonactual global possibilities«. Demgegenüber sind bei Lewis (1979b, 1986b) alle möglichen Welten real. Schließlich wird die aktuelle Welt im *exklusivistischen* Aktualismus unter explizitem Ausschluss möglicher Welten und damit möglicher, d.h. nicht-real-existierender Entitäten konzipiert. In dieser Variante gibt es also nur die aktuelle Welt, und nur aktuelle Entitäten – nicht mehr und nicht weniger.

Einen *exklusivistischen* Aktualismus vertritt Bunge (1977a), und er ist in verschiedenen klassischen Metaphysiken anzutreffen, die im Zeichen des wissenschaftlichen Realismus oder des Naturalismus stehen. Der *Aktualismus* meint also generell, dass nur Alles, was *real* ist, *existiert*, mithin *aktual* ist, während der Possibilismus alle Possibilia zulässt, womit neben *möglichen Objekten* und *möglichen Situationen* schließlich *mögliche Welten*

⁴³⁹⁸ Der Term *Aktualismus* ist abgeleitet von *aktual*, dem lateinischstämmigen Synonym für "wirklich", nach lat. *actualitas* (Wirklichkeit bzw. Aktualität).

⁴³⁹⁹ Dabei lässt sich der Possibilismus wiederum unterteilen in den *klassischen Possibilismus* und den *Lewis-schen Possibilismus (modaler Realismus)*, vgl. zu letzterem Lewis (1986b).

⁴⁴⁰⁰ Vgl. hierzu Plantinga (1976).

⁴⁴⁰¹ Vgl. Rescher (1979, 1999a) sowie Rescher/Parks (1973).

⁴⁴⁰² Vgl. Van Inwagen (2007b: 132), Hvh. im Orig.

insgesamt zählen.⁴⁴⁰³ Jenseits des *exklusivistischen* Aktualismus ist in der Modalontologie entsprechend zwischen der aktualistischen Konzeption möglicher Welten und dem universalen Possibilismus zu differenzieren.^{4404, 4405} Werden mögliche Welten zugelassen, ist dies im Rahmen der Ontologie der Informatik von direkter praktischer Relevanz. Denn das setzt in technischer Hinsicht Repräsentationssprachen voraus, die in der Lage sind, Modalitäten zu behandeln. Das betrifft insbesondere die Quantifizierung über (alle) mögliche Welten, was eine Modallogik mitsamt einer *Mögliche-Welten-Semantik* erfordert. Possibilistische Top-level Ontologien wie DOLCE, BORO oder die Sowa-TLO lassen also mögliche Welten bzw. mögliche Entitäten zu. Dabei fallen die genannten TLO-Ansätze einerseits unter den linguistischen (DOLCE, BORO), andererseits unter den realistischen OE-Ansatzpunkt (Sowa). Aktualistische Top-level Ontologien wie BFO oder BWW lassen mögliche Welten hingegen nicht zu, womit der Aktualismus nicht zwingend mit der revisionären Metaphysik (BWW) korreliert ist, sondern auch in der deskriptiven Metaphysik (BFO) in Form einer Klasse-2A-Metaphysik zugegen ist.

Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* weist nicht nur bzgl. ihres Identitätskriteriums eine explizite Affinität zu Leibnizens *Identitätsprinzip* auf;⁴⁴⁰⁶ vielmehr gilt dies auch hinsichtlich der *Wahrheitsfunktion*,⁴⁴⁰⁷ wenn es um die *notwendige* wie *mögliche* Wahrheit logischer Aussagen geht.^{4408, 4409} Dass sie dabei auch in fundamentaler Hinsicht auf Leibniz aufbauen, erklärt sich sowohl mit Whiteheads (1898: 273) Generalisierung des Leibnizschen *Theorems der lebendigen Kräfte* als auch damit, dass Whiteheads (1906: 468) *mathematische Weltauffassung* mit dem Cartesischen *Dualismus* bricht und im logico-mathematischen Sinne explizit auf dem Leibnizschen *Monismus* aufbaut. Whitehead (1929a: 265) geht nicht nur auf Leibnizens *mögliche Welten* ein; vielmehr sind sie seiner

⁴⁴⁰³ Vgl. bspw. Borgo/Gangemi et al. (2002: 7) oder Masolo et al. (2003: 8).

⁴⁴⁰⁴ Vgl. auch Runggaldier (2007: 59).

⁴⁴⁰⁵ In dieser Sache ist auf den Unterschied von *Sein* und *Existenz* hinzuweisen: mit Existenz ist immer ein *Sein in der Realität* gemeint, das sich *raumzeitlich* bestimmen lässt. Demgegenüber bezieht sich das Sein auf Alles - und Nichts, also auf Alles, was denkbar ist. Demnach hat der Begriff des Seins eine größere Extension (Bedeutungsumfang) als der Existenzbegriff. Demgegenüber resultiert *das Seiende* aus der Differenz von Sein und Nichts; im dialektischen Sinne folgt aus dem Sein als These und dem Nichts als Antithese das Seiende als Synthese. Das Seiende kennzeichnet dabei Dinge bzw. Gegenstände, Tatsachen oder Ereignisse, sofern diese raum-zeitlich bestimmbar sind. Insofern läuft der Begriff der *Ontologie* als *Lehre vom Seienden im Allgemeinen* (vgl. Pkt. 3.3) primär auf die Frage hinaus, *was existiert* (vgl. Pkt. 3.1). Vor diesem Hintergrund differenziert der *Aktualismus* nicht zwischen Sein und Existenz; Existenz ist also gleich Sein. Sein ist Existenz, Existenz ist aktual: »Everything that is (has being) exists«, vgl. Cocchiarella (2010: 105). Damit verneint der Aktualismus das Sein resp. die Existenz *nicht-aktualer* Einzeldinge. Für den *Possibilismus* gilt dies nicht; für ihn ist Sein und Existenz *verschieden*; demnach setzt er gerade auch Objekte voraus, die *möglich*, aber *nichtaktual* sind, für ihn gilt: »There are objects (i.e., objects that have being or) that *possibly* exist but that do *not in fact* exist«, vgl. Cocchiarella (2010: 105), Hvh. des Verf.

⁴⁴⁰⁶ Vgl. Whitehead/Russell (1910-13: I, 57).

⁴⁴⁰⁷ Vgl. Whitehead/Russell (1910-13: I, xx ff.).

⁴⁴⁰⁸ Vgl. hierzu ergänzend Russell (1919b: 193): »One may call a propositional function *necessary*, when it is always true; *possible*, when it is sometimes true; *impossible*, when it is never true«, Hvh. des Orig.

⁴⁴⁰⁹ Von Leibnizens *möglichen Welten* ist in der *Principia* hingegen nicht die Rede, weil sie zum einen nicht den Gegenstand eines mathematischen Grundlagenwerks bilden, zum anderen es hier auch nicht um *Modallogik* im Sinne von C.I. Lewis (1912) geht.

Prozessmetaphysik *an sich* inhärent, wenn für ihn gilt: »the philosophic scheme should be 'necessary,' in the sense of bearing in itself its own warrant of universality throughout all experience«. Das ist wiederum im Sinne der logico-mathematischen Universalität zu verstehen, nämlich als »doctrine of necessity in universality«. ⁴⁴¹⁰ Whiteheads Metaphysik ist zwar eine *Metaphysik der Erfahrung*, jedoch ist diese natürlich nicht rein aristotelisch gemeint. Vielmehr ist diese Erfahrung genau im Leibnizschen Sinne gedacht, d.h. im Sinne der Erfahrung in *allen* möglichen Welten, was den metaphysischen Logizismus ausmacht. Nur dann kann das Schema *notwendig* und damit tatsächlich universal sein: Erfahrung wird im Strukturzusammenhang der informatorischen Form (nicht der Materie) verstanden, also im Zeichen des universalen Strukturalismus. Insofern ist bei Leibniz und Whitehead im universalen Automateninne die Erfahrung unter dem Gesichtspunkt der CPS-Adäquanz konzipiert. Die *Metaphysik der Erfahrung* ist im Zeichen der Perzeption aller Automatenklassen zu verstehen, gerade auch der artifiziellen Automaten. Die *Metaphysik der Erfahrung* zielt also auf die Cyber-Physik der techno-wissenschaftlichen Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik. Die Erfahrung kann sich somit im Sinne virtueller Sensorik genauso auf Cyberwelten erstrecken, wie es beim CEP-Ansatz gleichermaßen der Fall ist. Auch dieser ist in dem Sinne notwendig, als er auf Basis physischer Sensorik genauso funktioniert wie auf Basis virtueller Sensorik. Das SAE Level 5 Fahrzeug im IoV-Szenario des IoX-Hyperspace ist ein Leibnizscher Automat, der über seine Kamerasensoren, über Radar, Lidar usf. im Sinne der Perzeption genauso "erfährt" wie menschliche Subjekte.

Jenseits von Leibniz und Whitehead ist die ganze Philosophie darauf indessen in keiner Weise ausgelegt: alle Erfahrung, wenn diese im Zeichen kombinierter Perzeption und Kognition steht, ist nach ihrem Dafürhalten lediglich dem menschlichen Subjekt vorbehalten; die Maschine bzw. der Computer ist gar kein Bestandteil dieser Philosophien; schon gar nicht im Agentensinne, wie er demgegenüber in Whiteheads universalem *Subjekt-Superjekt* angelegt ist. Vorausgesetzt, dass die Realität eine synthetische ist, bleibt zu konstatieren, dass die ganze Philosophie jenseits der tatsächlich universalen Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik falsch aufgesetzt ist. Denn alle philosophischen Fragen, selbst etwa jene der Ethik, beziehen sich letztlich auf die Interaktionen in der Realität. Wenn Glymour/Ford/Hayes (2000: 113) insistieren: "*AI is philosophy*", ist damit evident, dass gewiss nicht jede beliebige Philosophie bemüht werden kann, sondern dass es vielmehr um eine ganz bestimmte Philosophie gehen muss, nämlich um jene, die tatsächlich die AI-Grundlagen bereithält. Das aber ist lediglich eine, nämlich die Leibniz-Whiteheadsche, über die sich sämtliche Automatenklassen universal erschließen lassen. Das eigentlich überzeugende Moment bei Whitehead besteht jedoch darin, dass das universale strukturalistische Schema doppelt gilt, nämlich insbesondere im Zeichen möglicher Welten unter dem strukturwissenschaftlichen Aspekt wie in Bezug auf die aktuelle Welt unter dem erfahrungswissenschaftlichen Aspekt. Insofern ist für Whitehead (1929a) die *aktuelle Welt* auch

⁴⁴¹⁰ Vgl. Whitehead (1929a: 4).

primär; in einer *ratio-empirischen Kosmologie* steht sie selbstverständlich im Zentrum, während das empiristische Moment für Russell mit Verweis auf Pkt. 4.1 in den Hintergrund rückt. Tatsächlich bietet der Whiteheadsche *Ratio-Empirismus* nicht nur Orientierung in der Frage, wie eine Synthese des aristotelischen und platonischen Universums zu vollziehen ist, sondern auch, wie mit dem Widerstreit zwischen der aktualistischen vs. possibilistischen Weltenkonzeption zu verfahren ist: Weder im Leibnizschen *Rationalismus* noch im Humeschen *Empirismus* liegt die Lösung; die Synthese kann vielmehr auch in dieser Sache allein in Whiteheads zirkulärem *Ratio-Empirismus* bestehen.

Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* zielt auf den Nachweis, dass die Herleitung aller mathematischen Wahrheiten über die formale Logik möglich ist. Sie hat dabei mehr als jedes andere Werk zur Begründung der axiomatischen Methode in der Logik beigetragen. Demgegenüber besteht ihr Ziel nicht in einer axiomatischen *Modallogik*, liefert jedoch letztlich indirekt den Ausgangspunkt für diese. Die axiomatische *Modallogik* begründet sich mit C.I. Lewis (1912, 1918) insofern auf der *Principia Mathematica* als Ausgangspunkt, als dieser seine Überlegungen an der Kritik der *materialen Implikation* der *Principia* festmacht. Die Modallogik ergänzt die Standardlogik um Operatoren für Möglichkeit und Notwendigkeit als Modalbegriffe;⁴⁴¹¹ insofern ist sie die Basis für die Konzeption *möglicher Welten*, die als mögliche resp. vorstellbare Situationen zu verstehen sind. C.I. Lewis/Langford (1932) entwerfen schließlich eine Serie von Systemen modaler Logik (S1 bis S5), die in aufsteigender Stärke zu verstehen sind. Die moderne modale Logik basiert insbesondere auf den Systemen S4 und S5; der Possibilismus der DOLCE-TLO baut etwa auf der *Modallogik* vom Typ S5 auf.

Mit Mainzer (2005a: 349) braucht die Wissensrepräsentation in der Informatik nicht notwendigerweise identisch zu sein mit der aktuellen Ordnung der Realität. Andererseits muss sie in bestimmten, wesentlichen Fällen gerade exakt und präzise mit der aktuellen Ordnung der Realität übereinstimmen, nämlich dann, wenn es um *Scientific Ontologies* im Sinne B. Smithens oder bei kognitiver Robotik bzw. CPS um genauestens zu erfassende reale Kontexte zur technologischen Steuerung geht. Insofern ist die Diskussion um mögliche Welten mit Pkt. 4.1 notwendig vor dem Hintergrund der *techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik* zu führen, die zugleich Digitalmetaphysik ist. Für die Lösung dieser Streitfrage ist sie indessen allein nicht hinreichend; diese lässt sich allein auf Basis einer integrierten Mehrweltenontologie realisieren, wie sie in Pkt. 3.5 als integrierte metaphysische Wissensontologie entworfen wurde. Wenn außer Frage steht, dass die Ontologie der Informatik – wie der Philosophie – genauso eines strikten Aktualismus wie eines Possibilismus bedarf, und diese unter eine einheitliche Ontologiekonzeption bringen muss, führt kein Weg an einer *integrierten Mehrweltenontologie* vorbei, die verschiedene Welttypen exakt abgrenzt und dennoch in Form eines einheitlichen "*ontological backbone*" zu vereinheitlichen weiß. Mit anderen Worten lässt diese aktuelle wie mögliche Welten zu, diffe-

⁴⁴¹¹ Vgl. zur *Modallogik* etwa G.E. Hughes/Cresswell (1973, 1984).

renziert jedoch genauso strikt zwischen ihnen auf der Grundlage eines einheitlichen Ontologieverständnisses. Wenn TLO-Konzeptionen wie DOLCE oder BORO für gewöhnlich *Monoweltenontologien* darstellen, dabei aber gleichzeitig mögliche Welten zulassen, folgt daraus, dass es keinen streng aktualistischen Modus geben kann. Geht es in der Informatik wesentlich um semantische Systemintegration, besteht in solchen Monoweltenontologien offenbar genauso ein fundamentaler Defekt wie in Mehrweltenontologien, deren "*ontological backbone*" keine sachgerechte Vereinheitlichung der disparaten Ontologie- bzw. Welttypen zulässt. Eine ontologische Synthese ist also offenbar kein einfaches Unterfangen.

Damit ist der metaphysische und logische Hintergrund skizziert, vor dessen Hintergrund die Frage zu beantworten ist, ob die *Top-level Ontologie* als oberste Ontologieebene der Informatik als aktualistische oder als possibilistische Konzeption zu entwickeln ist. Wie oben ausgeführt, beziehen die bisherigen TLO-Theorieanwörter jeweils eine dieser Positionen, worin wiederum ein maßgeblicher Faktor für das TLO-Inkommensurabilitätsproblem begründet liegt. Kurzgesagt lässt sich diese Frage damit beantworten, dass weder das eine noch das andere vor dem Hintergrund des *Ratio-Empirismus* der Whiteheadschen Klasse-4-Metaphysik richtig sein kann. Vielmehr ist die Lösung im Sinne von Feyerabends (1975) "*anything goes*" in einer Mehrweltenontologie zu suchen, die einen flexibleren Umgang mit dieser Problematik eröffnet. In diesem Sinne ist auch bei Whitehead (1929a) von "*actual world*" wie von "*possible world*" die Rede. Anders gewendet sind die AI-Ontologieanwendungen auch insofern disparat, als die einen Anwendungskontexte streng aktualistische Welttypen voraussetzen, während die anderen nach possibilistischen Welttypen verlangen. Bei Cyber-physischen Systemen hat das unmittelbar mit physischen Welten einerseits wie mit Cyberwelten andererseits zu tun: die physischen Welten markieren im W1A-Modus den Aktualismus, während für Cyberwelten im W3P-Modus der Possibilismus konstituierend ist. Jeder Welttypus und jeder Submodus lässt sich entsprechend genauestens verorten und abgrenzen; die in Pkt. 6.3 diskutierte *Superintelligenz* der dritten AI-Generation ist dann erreichbar, wenn AI-basierten Systemen auch die CYPO-Ontologiearchitektur im Sinne einer Meta-Ontologie *an sich* zugänglich gemacht wird. – Dass die Klasse-4-Metaphysik zur Lösung der Debatte notwendig um die in Pkt. 3.5 erörterte Ontologiearchitektur von CYPO FOX zu ergänzen ist, hat damit zu tun, dass sich die Problematik *möglicher Welten* in keiner Weise pauschal adressieren lässt. Vielmehr ist zunächst zu verstehen, dass es im Zuge dieser jahrhundertealten Metaphysikdebatte immer um völlig verschiedene *Mögliche-Welten-Konzeptionen* ging. Mögliche Welten haben also verschiedenste Bewandtnis, Funktion und Hintergründe; dabei beziehen sie sich teils auf vollkommen unterschiedliche Ebenen. Im Allgemeinen wird aber die Notwendigkeit zur genaueren Differenzierung von *Mögliche-Welten-Konzeptionen* nicht gesehen; wird sie – wie bei Rescher (2006: 214 ff.) – mit der Differenzierung zwischen "*de-re-possibilia*" und "*de-dicto-possibilia*" oder – wie bei Bunge/Mahner (2004: 246) – mit der Differenzierung zwischen einer *radikalen* (ontologischen) und einer *gemäßigten* (epistemologischen)

Modalmetaphysik erkannt, ist dies zwar ein erster wichtiger, jedoch in keiner Weise hinreichender Schritt. Denn sowohl die technologischen (W3) als auch die sozialen (W4) Aspekte von möglichen Welten werden damit gänzlich übersehen. Dieses Defizit war zwar schon immer existent, doch wird es anhand agentenbasierter CPS im CAS/MAS-Kontext der Informatik besonders offensichtlich. Insofern bietet es sich an, auch diese Debatte auf die vier Welttypen von CYPO FOX zu beziehen, weil damit die erforderliche Differenzierung der *möglichen Welttypen* bewerkstelligbar ist:

- (1) Mögliche Welten in W1-Ontologien (W1P)
- (2) Mögliche Welten in W2-Ontologien (W2P, W2F)
- (3) Mögliche Welten in W3-Ontologien (W3P, W3F, W3M)
- (4) Mögliche Welten in W4-Ontologien (W4P, W4M)

Erst vor dem Hintergrund einer Mehrweltenontologie wird richtig ersichtlich, dass es sowohl um ontische, epistemische wie soziale mögliche Welten, sowohl um wissenschaftliche, technologische wie praktische mögliche Welten, sowohl um "de-re-possibilia" als auch um "de-dicto-possibilia" geht – und gehen muss. Wenn niemand ernsthaft in Frage stellen wird, dass mögliche Welten einen genuin *metaphysischen* Sachverhalt darstellen, sollte klar sein, dass sich dieser auch nur innerhalb der Metaphysik selbst in sachgerechter Weise klären lässt. Wenn über eine faktische Bewertung wie tatsächliche Synthesemöglichkeit allein auf Basis des *techno-wissenschaftlichen Ratio-Empirismus* der Klasse-4-Metaphysik, also auf dem Whiteheadschen (nicht: Bungeschen) Ratio-Empirismus befunden werden kann, lässt sich bereits der erste wichtige Schluss ziehen: sowohl der platonistische Rationalismus der Klasse-2-Metaphysik als auch der aristotelische Empirismus der Klasse-3-Metaphysik disqualifizieren beide Metaphysikklassen für eine solche Synthese. Diese ist allein auf Basis der Klasse-4-Metaphysik bewerkstelligbar; ansonsten ist sie unmöglich, da entweder die eine oder die andere Seite im Streit um das rationalistische und empiristische Moment nicht hinreichend berücksichtigt wird. Auch ist Ontologie im Zeichen der *Neuen Ontologie* als Schichtensystem bzw. als Mehrweltenontologie zu verstehen, um eine solche Synthese realisieren zu können. Eine CPSS-adäquate Ontologie setzt also die Klasse-4-Metaphysik in Verbindung mit einer integrierten Ontologiearchitektur wie CYPO FOX voraus.

Ad (1) Mögliche Welten im W1-Ontologietypus gehen von ihrer ontischen Existenz aus. Damit geht es hier um jene möglichen Welten, wie sie der *Modale Realismus* bei D.K. Lewis (1986b) konzipiert. Indem es sich um einen Possibilismus im W1-Modus handelt, fällt dieser unter den W1P-Typus. Wie oben dargelegt, wird dieser Modale Realismus durch Bunge, Rescher und andere abgelehnt. Das erscheint jedoch mit Blick auf die Everett-Interpretation der Quantentheorie verfehlt; Multiversen spielen in der modernen Quantenphysik verstärkt eine Rolle.⁴⁴¹² Everett, der Schüler Wheelers ist, geht es insgesamt um das, was als Everett-Wheeler-Interpretation der Quantenmechanik bezeichnet wird. Mit

⁴⁴¹² Vgl. Everett (1957), DeWitt/Graham (1973) sowie D. Deutsch (1985, 1997).

Wheeler (1990: 5) "*It from bit*" ist ihre Bedeutung für das Quantencomputing evident: dieses ist nicht nur platonistisch, sondern es basiert als solches im Allgemeinen ebenso auf der *Viele-Welten-Interpretation* (MWI) der Quantenphysik: »If the universe is a computable one, we could just run a universal Turing computer on every possible program to generate not only our own universe but every possible one«. ⁴⁴¹³ Insofern gehören auch die möglichen Welten, von denen bei Steinharts (1998) *Digital Metaphysics* die Rede ist, genau hierhin. Geht es etwa mit Bedau (1998b) um *mögliche Welten* in der AL-Forschung, fällt diese unter rein empirischem Gesichtspunkt ebenfalls unter den W1P-Modus; im Sinne der Technopraxis in den W3P-Modus.

Im Hinblick auf den Gesichtspunkt der Paralleluniversen liegt Tegmark (2003) genauso auf einer Linie mit der MWI-Position, wie der Modale Realismus von D.K. Lewis (1986b) insofern auf einer Linie mit Everetts (1957) Interpretation der Quantentheorie liegt, als deren »parallel perceptions of reality are all equally real«. ⁴⁴¹⁴ Auch wenn für R. Penrose (2012) außer Frage steht, ⁴⁴¹⁵ dass die Everett-Interpretation der Quantentheorie mit Blick auf das empiristische Moment der Physik höchst unbefriedigend bis inadäquat ist, kommt es hier auf etwas anderes an: im Sinne der integrierten metaphysischen Wissensontologie müssen auch solche Standpunkte im Zuge ihrer metaphysischen bzw. physikalischen Diskussion im Zeichen der *Semantic E-Science* repräsentierbar sein. Die *Semantic E-Sciences* sollten gerade die ontologische Repräsentation *aller* aktuellen, d.h. ggf. auch widersprüchlichen wissenschaftlichen Paradigmen ermöglichen, weil sich nur dann mit Langley/Zyt-kow et al. (1986) bzw. Langley/Simon et al. (1987) maschinelle AI-Agenten für Zwecke der *Scientific Discovery* heranziehen lassen. Nur dann können AI-basierte Systeme zur Klärung solcher Widersprüchlichkeiten vollumfänglich beitragen. Die AI-Relevanz *möglicher Welten* als objektive W1-Konstrukte ist hier entsprechend mit H.A. Simon (1995a) im Zeichen von *Scientific Ontologies* zu sehen. Insofern besitzt der W1P-Typus seine Berechtigung; gleichzeitig aber ist es gerade in wissensontologischer Hinsicht wesentlich, den W1A-Modus als aktuellen Modus strikt davon zu trennen. Vor diesem Hintergrund muss es mit Blick auf Pkt. 6.2.5 zweifelhaft erscheinen, ob die Stadien-theorie Siders (2001) tatsächlich eine Alternative zum Perdurantismus darstellen kann, wenn *mögliche Welten* im Sinne von Siders Gegenstücktheorie zentraler Bestandteil einer *aktualistisch* verstandenen Prozessontologie sind.

Ad (2) Mögliche Welten besitzen neben der physisch-objektivistischen W1-Existenz im Sinne des Modalen Realismus von Lewis (1986b) vor allem auch subjektivistische W2-Existenz bzw. epistemische Existenz. D.J. Chalmers (2011) differenziert entsprechend

⁴⁴¹³ Vgl. Zenil (2012: 3).

⁴⁴¹⁴ Vgl. Tegmark/Wheeler (2001: 72).

⁴⁴¹⁵ Vgl. R. Penrose (2012: xxvii): »[E]ven if the many-worlds viewpoint is in some sense "correct", it is still inadequate as a description of the physical world, for the simple reason that it does not, as it stands, describe the world that we actually observe, in which we find that something extremely well approximated by the R-process *actually* takes place when quantum superpositions of states that are sufficiently different from one another are involved«.

zwischen "*metaphysically possible worlds*" und "*epistemically possible worlds*", wobei er letztere treffender als *Szenarien* bezeichnet, auf die wir weiter unten mit Rescher und Bunge zurückkommen. Indem die Welt 2 die *Agentenwelt* repräsentiert, steht außer Frage, dass diese in mindestens zwei Subtypen zu unterteilen ist: es geht hier um Überzeugungssysteme (Belief Systems), die einmal unter dem Aspekt stehen, was *aktual wahr* ist (W2A), und einmal, was *aktual möglich* (W2P) ist. Im W2P-Typus sind *Agentenwelten* also *mögliche Welten* Husserlscher Provenienz.⁴⁴¹⁶ Indem Russell/Norvig (2010) den "belief state" als "set of possible worlds" um Wahrscheinlichkeiten ergänzen, geht es um diesen W2P-Typus; für sie sind *mögliche Welten* (potentiell) reale Umwelten, in denen Agenten agieren. Ein dritter Subtypus zielt auf die Frage, was *rein logisch möglich* ist (W2F), ohne dass dabei ein notwendiger Bezug auf die aktuelle Welt erforderlich ist. Indessen ist der W2-Modus genauso vielfältig wie die Gesichtspunkte von Agenten. Dazu gehört nicht nur rationales Entscheiden, womit sich die Reflexion auf soziale Interaktionen der Welt 4 bezieht, in die der Agent im Sinne einer sozialen Welt eingebettet ist. Vielmehr beziehen sich solche Reflexionen genauso auf die drei anderen Welten, nämlich im Sinne von *Imagination* und *Invention* auf die technologische Welt 3, im Sinne einer Selbstreflexion auf die Welt 2, sowie in Form einer Reflexion der natürlichen Welt 1. In allen Fällen bezieht dies Gedankenexperimente mit ein. In diesem W2-Sinne sind *mögliche Welten* mit Whitehead (1929b) im Zeichen spekulativer Vernunft von Agenten als *Subjekt-Superjekte* zu verstehen, die in kreativer Weise mögliche Verläufe der Zukunft reflektieren:

»We have to seek for a discipline of the speculative Reason. It is of the essence of such speculation that it transcends immediate fact. Its business is to make thought creative of the future.«⁴⁴¹⁷

Hier geht es um jene Denkkategorien, die für Agentenwelten in Problemlösungsprozessen unabdingbar sind; solche spekulativen Prozesse sind für die Generierung von Wissen genauso wesentlich wie damit verbunden für die Innovationsprozesse, auf die U-PLM-Systeme zielen. Mögliche Welten können dabei in einer Variation des Aktualen bestehen (W2P) oder sich aber auf rein fiktive Welten beziehen (W2F). Bei dem W2P-Ontologietypus handelt es sich um jene möglichen Welten, die für Bunge wie für Rescher unbedenklich sind, wobei Rescher die Rede von *Szenarien* dem Weltbegriff vorzieht. Die AI-Relevanz *möglicher Welten* als W2-Konstrukte steht insofern außer Frage, als Agentenwelten im Zeichen rationaler Entscheidungsfindung (mögliche Entscheidungskonsequenzen) wie subjektivem Reflexionsvermögen (subjektive Denk- bzw. Analysewelten) essentiell auf dem Gedanken *möglicher Welten* aufbauen.

Ad (3) Mögliche Welten stehen in technologischen Kontexten als W3-Konstrukte im Zeichen systemischer Prozessintelligenz resp. Prozesssteuerung oder kybernetischer Programme. Es geht dabei nicht um subjektive Agentenwelten, sondern um technologische Artefakte, also etwa um ODIS-bezogene Prozesse bzw. Workflows, um AI-Routinen oder allgemein um Steuerungsszenarien, die im intersubjektiven Diskurs objektiviert werden.

⁴⁴¹⁶ Mit Cassirer (1902: 26 f.) entspricht dieser Typus auch den *möglichen Welten* bei Descartes.

⁴⁴¹⁷ Whitehead (1929b: 81 f.).

Dies sei an zwei Beispielen illustriert, die beide in unmittelbarer Beziehung zu den Aspekten der *Enterprise Ontology* (EO) bzw. der *Smart Enterprise Integration* (SEI) stehen, wobei das erste ein TLO-Beispiel, das zweite ein EO-Beispiel ist: (i) Bei M. West (2011: 113 ff.) und ähnlichen Beiträgen stehen *mögliche Welten* im Zusammenhang mit Planungszwecken bzw. betrieblichen Entscheidungen im Kontext alternativer Szenarien, wie sie für die Datenmodellierung in der chemischen Prozessindustrie zentral sind. Insofern überrascht es nicht, dass es sich bei dem damit verbundenen TLO-Ansatz, nämlich der BORO 4D-Ontology, um eine *Modalmetaphysik* handelt. Dabei ist herauszustellen, dass *mögliche Welten* für diesen TLO-Ansatz ein konstituierendes Moment darstellen, während sie durch einige TLO-Ansätze gar nicht berücksichtigt werden. Je AI-näher die TLO-Ansätze konzipiert sind, desto mehr setzen sie sich mit *möglichen Welten* auseinander, was entsprechend auch für die 4D Upper Ontology von Russell/Norvig sowie für die Sowa-TLO gilt. Auch für die ODIS-Steuerungszwecke der DOLCE-TLO spielen sie vor dem Hintergrund des Eintritts bestimmter Alternativszenarien eine wichtige Rolle, wie es in allgemeiner Hinsicht bereits bei McCarthy/Hayes (1969) angedacht ist. (ii) Mit Menzel/Mayers (1996) *Situations and Processes* steht das zweite Beispiel im Zeichen PLM-naher industrieller Prozesse sowie damit verbundenen Aspekten wie der Prozessmodellierung, der Wissensteilung oder der *Enterprise Integration* (EI). Letztere steht wiederum in diesem Kontext in einer direkten Verbindung zur TOVE-EO. Die hier vollzogene Konzeption möglicher Welten ist insofern sehr viel allgemeiner als jene im ersten Beispiel, als sich in einem universal anwendbaren Procedere *mögliche Welten* hier auf *Situationen* beziehen.⁴⁴¹⁸ Diese situative Konzeption *möglicher Welten* geht auf McCarthy/Hayes (1969) zurück, indem ihr *Situationskalkül* (SC) im Kontext dynamischer Systeme auf *situationsbezogene Verarbeitung* zielt. Mit der Situationssemantik bei Barwise/Perry (1981b, 1983) wird die Annäherung zwischen möglichen Welten und Situationen weiter akzentuiert, während J. Perry konstatiert, »that we felt that the possible worlds point of view is dead wrong, deeply unsatisfactory, both philosophically and mathematically«. ⁴⁴¹⁹ Insofern ist es konsequent, wenn J. Perry (1986) die *möglichen Welten* vom Stalnaker-Typus als Variante der *Situationstheorie* zu inkorporieren sucht, wogegen sich Stalnaker (1986b) indes verwehrt, wenn er an *möglichen Welten* als fundamentalem Paradigma festhalten will. Wie dem auch sei, zumindest kommt die *Situationstheorie* bei Barwise/Perry (1981b, 1983) nicht um mögliche Welten umhin, wenn zwei *Situationen* zwei *möglichen Welten* entsprechen.

Ad (4) Mögliche Welten betreffen schließlich auch soziale Konstellationen, etwa bzgl. Struktur und interaktiven Relationen in Netzwerkbeziehungen von Agenten. Mögliche Welten besitzen in sozialen Kontexten als W4-Konstrukte für die verschiedensten sozialen

⁴⁴¹⁸ Vgl. Menzel (1990, 1993).

⁴⁴¹⁹ Vgl. J. Perry in Barwise/Perry (1985: 115).

Konstellationen Relevanz. Insbesondere gilt dies jedoch für *Artificial Societies*, die im Zeichen sozialer Emergenz im MAS/CAS-Sinne zu verstehen sind.⁴⁴²⁰

Im Hinblick auf die meta-ontologischen Kriterien geht es hier um die Frage des *Possibilismus* an sich, nicht um jene, ob es tatsächlich gerechtfertigt ist, dabei immer von *möglichen Welten* zu sprechen. Das wird in bestimmten Fällen sowohl in der Philosophie wie in der Informatik abgelehnt. Rescher (2001a, 2006) etwa plädiert dafür, anstatt von möglichen Welten von *Szenarien* zu sprechen,⁴⁴²¹ was auch Bunge im Sinne kontrafaktischer Szenarien mit Blick auf den für ihn "irreführenden" Begriff möglicher Welten favorisiert.⁴⁴²² Russell/Norvig (2010) sprechen dann von *Modellen* statt von möglichen Welten, wenn es *nicht* um (potentiell) reale Umwelten geht, in die ein Agent selbst involviert ist:

»Whereas possible worlds might be thought of as (potentially) real environments that the agent might or might not be in, models are mathematical abstractions, each of which simply fixes the truth or falsehood of every relevant sentence.«⁴⁴²³

Mit Verweis auf Pkt. 3.1 ist allerdings nicht nur der Ontologiebegriff verallgemeinert worden, sondern auch der Weltenbegriff bzw. Universenbegriff. Leibnizens (1710) *mögliche Welten* haben diesen formallogischen Sprachgebrauch eröffnet; Booles (1854) *Universe of Discourse* (UoD) hat ihn verfestigt und Wittgensteins (1921) Welten als logischer Raum haben diesen popularisiert. Dieser Sprachgebrauch bzgl. Ontologie und Welten lässt sich mit Blick auf die Fülle entsprechender Forschungsbeiträge kaum revidieren. Diese Nichtrevidierbarkeit setzt unsere Ontologiedefinition voraus, wenn Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* repräsentieren. – Dennoch haben Rescher wie Russell/Norvig recht, wenn sie erkennen, dass die Welttypen vollkommen disparat sind; dem lässt sich jedoch allein dadurch Rechnung tragen, dass im Sinne Poppers zwischen verschiedenen Welttypen differenziert wird. Wie die vier verschiedenen Typen möglicher Welten offenbaren, ist dabei zwischen vier *genuinen* Welt- bzw. Ontologietypen wie bei CYPO FOX zu unterscheiden, die durch die weitere Differenzierung von Subwelten noch weiter konkretisiert werden. Allein auf einer solchen universalen Ontologiedefinition kann eine ontologische Synthese aufbauen, die über verschiedene Welttypen sowohl die ausschließliche Fixierung auf die aktuelle Welt bei einem ontisch-empirischen materialen Realismus (W1A) genauso zulässt wie bei einem ontisch-empirischen, um soziale Artefakte erweiterten Realitätsverständnis (W4A). Es geht um ein Ontologieverständnis, das die Fixierung auf die aktuelle Welt auch epistemisch (W2A) wie technologisch in der Technopraxis zulässt (W3A) – aber das auch *jede* Form von möglichen Welten – also auf W1-, W2-, W3- und W4-Ebene eröffnet.

Die Entscheidung für oder wider den Aktualismus bzw. Possibilismus ist für eine Ontologiekonzeption überaus weitreichend, und lässt sich in aufschlussreicher Weise allein anhand eines Referenzszenarios diskutieren, das die Mögliche-Welten-Problematik bei

⁴⁴²⁰ Vgl. bzgl. MAS Wooldridge/Jennings (1995) sowie R.K. Sawyer (2003), bzgl. CAS R.K. Sawyer (2005).

⁴⁴²¹ Vgl. Rescher (2001a: 197; 2006: 240 f.).

⁴⁴²² Vgl. Bunge/Mahner (2004: 246).

⁴⁴²³ Russell/Norvig (2010: 240).

heterogenen Anforderungen auch tatsächlich in den Kontext einer integrierten Ontologiekonzeption versetzen kann. Das U-PLM-Referenzszenario der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* bewährt sich entsprechend auch in dieser maßgeblichen Streitfrage und weist den Weg zu einem sachgerechten universalen Ontologieverständnis: *Engineering Ontologien* setzen voraus, dass auch neue bzw. mögliche, d.h. (noch) nicht-real-existierende Entitäten im Rahmen der *Top-level Ontologie* wie nachgeordneter Ontologien zulässig sind. Indem Produktentwicklungsprozesse (NPD) in modernen PLM-Systemen ontologiegestützt ablaufen, besteht darin eine notwendige Voraussetzung. Demgegenüber ist sie selbst für technologische Ontologien nicht generalisierbar. Vielmehr muss in komplexen Steuerungsprozessen klar zu folgern sein, ob die Entitäten, z.B. bestimmte Maschinentypen, tatsächlich physisch existieren, oder ob es sich um mögliche Entitäten handelt. Offensichtlich gibt es nicht die generelle W3-Ontologie; vielmehr ist selbst bei Artefakten strikt zwischen einem aktualistischen (W3A) und einem possibilistischen (W3P) Modus zu trennen, um falsche Schlussfolgerungen von AI-Systemen zu vermeiden.

Bei U-PLM-Systemen ist also der gesamte Produktlebenszyklus über alle Phasen (BOL, MOL, EOL) ontologisch zu integrieren, und das ist nur möglich auf Basis einer integrierten Ontologiekonzeption. Nur so ist nachvollziehbar, wie virtuelle Entitäten als physische Entitäten in die "reale" Welt kommen und dort ontische Existenz besitzen (BOL), sich im Zeitablauf mit dem Austausch zeitlicher Teile (MRO) wandeln (MOL), und schließlich ihre ontische Existenz im Zeitablauf wieder verlieren (EOL). Das Argument für eine integrierte Ontologiekonzeption ist jedoch vor dem Hintergrund der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* noch ein anderes: es zeigt, dass sich der Streit um den Aktualismus und Possibilismus gar nicht aufheben lässt, weil dieser unmittelbar im Zeichen des Einsatzzweckes von Ontologien wie mit Pkt. 6.2.8 im Zeichen der damit verbundenen disparaten Wahrmacher steht. Einige Einsatzzwecke setzen mögliche Welten zwingend voraus, wie es etwa bei AI-basierten Computerexperimenten der Fall ist oder bei Ontologien im Feld des Artificial Life (AL) als weiterem Beispiel für Simons (1969) *Sciences of the Artificial*. Für andere Einsatzzwecke, die im Zeichen des *wissenschaftlichen Realismus* stehen, ist die meta-ontologische Voraussetzung möglicher Welten inakzeptabel. Dieser ontologische Einsatzzweck ist natürlich genauso legitim; er ist im Sinne der *Scientific Ontologies* gar primär. Kommen U-PLM-Systeme etwa in der Luft- und Raumfahrt, der Biotechnologie oder in der Medizintechnik zum Einsatz, werden offenbar schon bereits für Zwecke des Engineerings beide Ontologieklassen benötigt, als sowohl Ontologien, die *mögliche Welten* konsequent ermöglichen, als auch Ontologien, die *mögliche Welten* und alles Kontrafaktische genauso konsequent ausschließen. Nicht erst bei der mit Pkt. 6.3 intendierten *Superintelligenz* der dritten AI-Generation stehen die einzelnen Welttypen nicht isoliert für sich; vielmehr gehen sie bereits insofern nahtlos ineinander über, als zwischen ihnen kausale Wechselwirkungen bestehen, wie es der CPS-Fall illustriert. Insofern fallen sie unter das eine Universum, das im Whitehead-Popperschen Sinne ein offenes, indeterminiertes Universum

ist. Vor diesem Hintergrund wird die Superintelligenz gerade dadurch realisierbar, dass man diese disparaten Welttypen auf Basis eines "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*" miteinander vernetzt, womit die Welttypen entsprechend ontologisch zu integrieren sind.

Insgesamt konnten fünf wesentliche Erkenntnisse erzielt werden: (i) Der Widerstreit *Aktualismus vs. Possibilismus* stellt eine der metaphysischen Grundsatzfragen dar und kann nur in Abhängigkeit der in Pkt. 4.1 differenzierten Metaphysikklassen beantwortet werden. Dabei wird dieser Widerstreit sowohl in Klasse-2- als auch in Klasse-3-Metaphysiken nicht sachgerecht entschieden, indem auf ihrer Basis der Widerspruch erst entsteht: Klasse-2-Metaphysiken sind possibilistisch, etwa auf klassisch linguistischer Basis oder auf Basis des Modalen Realismus von Lewis (1986b). Klasse-2A-Metaphysiken sowie Klasse-3-Metaphysiken stellen hingegen aktualistische Varianten dar, wie sie mit dem Naturalismus Bunges oder Quines impliziert sind. Demgegenüber ist eine Synthese erst auf Basis von Klasse-4-Metaphysiken möglich, speziell auf Basis der Whiteheadschen Prozessmetaphysik. (ii) Diese Synthese von Klasse-4-Metaphysiken ist wiederum nur umsetzbar auf Basis einer Mehrweltenontologie, speziell der in Pkt. 3.5 erörterten CYPO FOX: indem der W1-Modus ein aktualistischer ist, der W2-Modus neben dem primär epistemisch-aktualistischen (W2A) zwei epistemisch-possibilistische Submodi für Imaginations- bzw. Innovationszwecke bereithält (W2P, W2F), während der W3- sowie W4-Modus mögliche Welten im Sinne möglicher bzw. fiktiver Welten (W3P, W3F, W4P, W4F) zulässt, wie sie für Cyberwelten unabdingbar sind. Die *Top-level Ontologie* muss also mit Blick auf die W2- und W3-Ontologie *mögliche Welten* eröffnen können; sie muss aber gleichzeitig mit Blick auf die W1-Ontologie einem exklusivistischen Aktualismus verpflichtet sein, was gewöhnlich auf den in Pkt. 6.2.6 erörterten kritischen Realismus resp. wissenschaftlichen Realismus hinausläuft. Allein auf dieser Basis ist die für die universalen AI-Ontologiezwecke erforderliche CPSS-Adäquanz der Ontologie erreichbar.

(iii) Die AI-Ontologie muss selbstverständlich auf Basis möglicher Welten konzipiert sein, doch zeigt die Klasse-4-Metaphysik als techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik, dass eine CPSS-adäquate Ontologie ein ganz bestimmtes, nämlich kein einseitiges Verständnis von möglichen Welten voraussetzt, wie es etwa der Modale Realismus bei D.K. Lewis impliziert. In Pkt. 3.1 wurde bereits festgestellt, dass für AI-Vordenker wie McCarthy (1995: 2042) mögliche Welten vom Typ Stalnaker-Lewis nicht zielführend sind. Vielmehr ist für McCarthy Kontrafaktisches insofern notwendig, als es dem Lernen von AI-Systemen zuträglich ist; die AI-Tradition solle sich indessen allein auf *nützlich*es Kontrafaktisches beschränken. Mit den abstrakten möglichen Welten vom Typ Stalnaker (1979) und den konkreten möglichen Welten vom Typ D.K. Lewis (1979b, 1986b) hat sich damit offenbar die Mögliche-Welten-Konzeption der Analytischen Philosophie erledigt. Ein ganz ähnlicher Standpunkt findet sich in P.M. Simons' (2009c) Kritik der analytischen Metaphysik. Diese Kritik steht insofern im direkten PLM-Kontext, als nach Simons die Mögliche-

Welten-Konzeption der Analytischen Philosophie ungeeignet ist, um praktisch relevante Modalitäten zu klären. Denn das, was darunter in der analytischen Metaphysik verstanden wird, ist etwa für Innovationsprozesse im Maschinenbau oder anderen PLM-relevanten Industrien nicht von Bedeutung. Worin besteht dann die sachgerechte Mögliche-Welten-Konzeption, wenn sie IoX-adäquat und damit CPS- wie MAS-adäquat zu sein hat? Die CPS- und MAS-Adäquanz bringt dann Aufschluss, wenn Agenten zur Superintelligenz befähigt werden: sie benötigen im W2-Modus mögliche Welten, um strategische Alternativen situativ durchzuspielen, um imaginative Fähigkeiten und Problemlösungstechniken zu beherrschen. Sie spielen dabei mögliche Reaktionen der sozialen Systeme, in die sie eingebettet sind, durch, was mögliche Welten im W4-Modus voraussetzt. Castis (1997) *Would be Worlds* gehen in diese Richtung, wenn sie auf Konstellationen abstellen, die aus der Interaktion von Agenten emergieren. Schließlich können maschinelle Agenten bei ihren Problemlösungsprozessen auf naturwissenschaftliches Wissen zurückgreifen, einschließlich etwa der Everett-Interpretation der Quantenphysik bzw. können sie im Sinne des Quantencomputing operieren, womit sie auch die möglichen Welten im W1P-Modus beanspruchen. Daneben setzt die CPSS-Adäquanz mögliche Welten im W3-Modus voraus, um eine *situationsbezogene* autonome CPS-Steuerung dynamischer Systeme zu gewährleisten. Offensichtlich erfordert die Informatik damit ein multiples Verständnis möglicher Welten, wie es die auf CPS- bzw. MAS-Adäquanz ausgerichtete CYPO FOX als einzige TLO-Konzeption bietet.⁴⁴²⁴ Hier werden die möglichen Welten zunächst anhand der vier Welttypen differenziert und dann jeweils in jedem Welttypus nochmals im Zuge der Subtypen gegenüber dem aktualistischen Modus abgegrenzt.

(iv) TLO-Konzeptionen, die mögliche Welten *nicht* zulassen, können die eigentliche Problematik der AI-Ontologie kaum verstanden haben. Sie können genauso wenig die Erfordernisse der elementaren IoX- bzw. CPSS-Adäquanz in Betracht ziehen. Indem sich die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) jedoch gerade auf den IoX-Hyperspace bezieht, kann diese offenbar weder ihren "*general world view*" noch ihre fundamentale Semantik von strikt aktualistischen TLO-Konzeptionen beziehen. Damit ist evident, dass strikt realistische TLO-Ansätze wie BFO oder BWB, die mögliche Welten nicht zulassen, sich bereits in dieser zentralen Hinsicht als universale TLO-Konzeption von vornherein disqualifizieren. Sie lassen entsprechend auch keine integrierte Ontologiekonzeption zu und sind mit ihrem Verzicht auf mögliche Welten weder CPS- noch MAS-adäquat. Allerdings ist solchen Ansätzen zugute zu halten, dass sie die Notwendigkeit verdeutlichen, einen strengen Aktualismus als gesonderten Ontologiemodus zu berücksichtigen, indem ein Possibilismus dem Selbstverständnis von *Scientific Ontologies* im Sinne falliblen objektiven Wissens unter wissenschaftstheoretischen Aspekten grundsätzlich widerspricht. Bunge, Rescher, B. Smith und viele andere haben mit Blick auf die Frage *real-physischer* Existenz zwei-

⁴⁴²⁴ Analoges ist mit N. Goodman (1982: 35) für das philosophische Ontologieverständnis zu fordern: »I am convinced that philosophy must take into account all the ways and means of worldmaking«.

felsohne recht, dass es mit Popper (1959: 15) gelten muss, *diesen* Kosmos zu begreifen, und nicht für irgend denkbare, für mögliche Welten geltende Gesetze zu finden. Das gilt für die OBO-Foundry wie für wesentliche Teile der *Semantic E-Sciences*.

(v) Schließlich ist festzustellen, dass selbst jene bisher vorgelegten TLO-Ansätze, die mögliche Welten zulassen, defekt bzw. defizitär sind. Denn diese lassen sich weder als Klasse-2-Metaphysik noch als Monoweltenontologie konzipieren, wie es bisher bei den entsprechenden TLO-Ansätzen wie DOLCE oder BORO der Fall ist. In ihrer einseitigen Auslegung sind auch diese defekt. Die in Sachen *möglicher Welten* fortschrittlichsten Ansätze sind bezeichnenderweise die AI-nahen Ansätze Russell/Norvigs bzw. Sowas, indem sie bei ersten indirekt (via Hayes) bzw. bei Sowa direkt auf Whiteheads Klasse-4-Metaphysik rekurrieren. Allerdings sind sie als Monoweltenontologien defizitär konzipiert. Sie differenzieren noch nicht einmal zwischen ontischen und epistemischen Welten, wie es Rescher oder Bunge im Kontext der Mögliche-Welten-Problematik zu Recht als unabdingbar erachten; die Unterscheidung zwischen den vier Typen *möglicher Welten* ist ihnen entsprechend fremd. Vor allem aber erkennen sie nicht die Notwendigkeit der Trennung zwischen strikt aktualistischen und possibilistischen Modi, wie sie mit H.A. Simon (1995a) für die AI-Ontologie vollkommen unverzichtbar wird. Somit lässt sich die über Jahrhunderte währende Debatte um den Widerstreit von Aktualismus vs. Possibilismus allein auf Grundlage einer Mehrweltenontologie aufheben. Eine tatsächlich universale Ontologie benötigt sowohl aktualistische als auch possibilistische Modi; somit kann die Lösung der Mögliche-Welten-Problematik allein in der ontologischen Durchgängigkeit von Aktualismus und Possibilismus von CYPO FOX bestehen, die durch die Referenz auf die einheitliche *Top-level Ontologie* als "*ontological backbone*" gewährleistet wird:

6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien

<i>Ontologietypus</i>	<i>Ontologieebene (analog Bunge)</i>	<i>#</i>	<i>Aktualismus/Possibilismus</i>
W1-Ontologie [Natürliche Welt]	Physikalische Prozesse (Natürliche Systeme)	1	Mögliche Welten: <i>ontisch</i> W1A = <i>exklusivistischer</i> Aktualis- mus W1P = Possibilismus
	Chemische Prozesse (Natürliche Systeme)	2	
	Biologische Prozesse (Natürliche Systeme)	3	
W2-Ontologie [Epistemische Welt]	Psychische / geistige Prozesse [Prozesse (rationaler) Intelligenz] (Intelligente Systeme / Automaten)	4	Mögliche Welten: <i>episte- misch</i> Aktualismus / Possibilismus W2A = Aktualismus W2P = Possibilismus W2F = Fiktionalismus
W3-Ontologie [Technologische Welt]	Artifizielle / Virtuelle Prozesse (Technologische Systeme)	5	Mögliche Welten: <i>technolo- gisch</i> Aktualismus / Possibilismus (je nach IS zu spezifizieren) W3A = Aktualismus W3P = Possibilismus W3F = Fiktionalismus W3L = Common Sense
W4-Ontologie [Soziale Welt]	Soziale Prozesse (Sozioökonomische Systeme / Institutionen)	6	Mögliche Welten: <i>soziale Konstellation</i> W4A = <i>exklusivistischer</i> Aktualis- mus W4P = Possibilismus

Abb. 51: Aktualismus/Possibilismus Dualismus bei CYPO FOX

6.2.5 Endurantismus (3D) vs. Perdurantismus (4D) in CPSS/SEA-Kritik

»The consideration of spatio-temporal extensions of any object, the dynamic classification and identification allows to model business processes and lifecycles of products of enterprises [...]. Perdurants, i.e. the entities, which for only a part exists if we look at them at any given period of time, provide the opportunity to model lifecycles of products and business processes instead of well-known description of the static states of an enterprise.«

— Tatiana Poletaeva et al. (2014: 5 f.)

Wie bereits mit Pkt. 6.1.1 deutlich wurde, besteht eine der umstrittensten meta-ontologischen Dispositionen in der Debatte, wie Beständigkeit und Wandel zu behandeln sind und ob die Zeit dabei ein endogener oder ein exogener Faktor darstellt. Damit sind zwei zentrale, zusammenhängende Fragen verbunden: zum ersten, ob das Beständige im Ding- bzw. Substanzsinne (Endurantismus) oder der Wandel im Ereignissinne (Perdurantismus) das Primäre ist. Zum zweiten, ob die Zeit ein exogener Faktor ist, mit der Konsequenz, dass Entitäten lediglich räumlich sind (3D-Entitäten), oder ob die Zeit ein endogener Faktor ist, was raumzeitliche Entitäten (4D-Entitäten) impliziert. Entsprechend korrespondiert der Endurantismus mit dem Dreidimensionalismus, während der Perdurantismus sachgerecht auf einen exklusivistischen Vierdimensionalismus hinausläuft. Die elementare Ursache, dass diese meta-ontologische Debatte seit ewigen Zeiten ohne wirkliches Ergebnis geführt wird liegt darin begründet, dass sie unmittelbar mit dem zentralsten metaphysischen Streit

zusammenhängt, nämlich mit dem bereits behandelten zwischen der Substanz- und Prozessmetaphysik. Indessen geht der Umstand, dass dieser Streit noch nicht gelöst wurde, auf drei wesentliche Faktoren zurück: (i) auf die Verwechslung ontologischer und epistemologischer Standpunkte, (ii) auf das damit zusammenhängende Argument des Multiperspektivismus sowie (iii) auf das Problem, dass diese Frage bisher nicht auf *Cyber-physische Systeme* (CPS) bezogen wird, was jedoch ontologisch erforderlich ist. Mit dem letzten Punkt ist diese alte Debatte einer Lösung zuführbar, und dabei lässt sich mit Verweis auf den folgenden Pkt. 6.2.6 zwar durchaus feststellen, dass die Welt im Kantischen Sinne dem Subjekt entspringt, doch gilt es im Zeichen der zweiten Kopernikanischen Wende Whiteheads zu berücksichtigen, dass es sich dabei um ein *Subjekt-Superjekt* handelt, also um einen Agenten, der im Zeichen *cyber-physischer "Reality Machines"* mit seiner Sensorik sowie ggf. mit seiner Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt ist. Dann wird deutlich, dass strikt zwischen der ontischen und epistemischen Welt zu differenzieren ist und dass vor diesem Hintergrund das Argument des Multiperspektivismus, das auf einen nichtexklusivistischen Vierdimensionalismus hinausläuft, eine unzulässige Vermischung von Welttypen und damit insgesamt einen groben Kategorienfehler markiert.

Die grundsätzlichen Fehleinschätzungen in Bezug auf den *Endurantismus vs. Perdurantismus* resultieren vor allem daraus, dass die Debatte mit Verweis auf Pkt. 6.2.2 eigentlich auf Grundlage der physisch-realistischen Ebene der *revisionären* Metaphysik zu führen ist, die Diskussion sich jedoch zunehmend auf die sprachliche Ebene der *deskriptiven* Metaphysik verlagert hat. Teilweise werden diese Ebenen auch durcheinandergebracht, wie es insbesondere für die BFO-TLO zu konstatieren ist. Tatsächlich lässt sich die Debatte allein auf Basis *ontischer Kategorien* führen, indem alles andere von sekundärer Natur ist. In dieser Form wurde die Debatte auch begonnen, jedoch im Zuge des "*linguistic turn*" auf eine falsche, nämlich physisch gar nicht entscheidende Ebene gebracht: Tatsächlich meint man das Problem der Zeit mit Mitteln der Sprache lösen zu können. Denn auf nichts anderes läuft seine Behandlung im Zeichen der deskriptiven Metaphysik letztlich hinaus, und das gilt auch dann, wenn man sich ausgehend von dieser als *primär* erachteten sprachlichen Ebene gegenüber den natürlichen Sachverhalten öffnet. Richtig kann allerdings nur ein genau umgekehrtes Vorgehen sein, das im ersten Schritt auf eine Auseinandersetzung mit den faktischen Gegebenheiten in physischen Welten bzw. in Cyberwelten zu zielen hat, während man sich dann in einem zweiten Schritt der Frage zuwenden kann, mit welchen formalontologischen Mitteln die Sachverhalte zu repräsentieren sind. Insofern liegen C.B. Martin/Heil (1999) richtig wenn sie feststellen, dass ein erneuter "*ontological turn*" zu vollziehen ist. Allerdings sollte es sich dabei um einen "*ontological turn*" handeln, der CPSS-adäquat ist; es geht also um einen "*cyber-physical turn*", den Informatik wie Philosophie zu vollziehen haben, um diese unsäglichen Debatten um den *Endurantismus vs. Perdurantismus* wieder in die richtige Bahn zu lenken. Nicht umsonst sieht sich auch

Sider (2001: 209) zu einer entsprechenden Klarstellung veranlasst, dass es beim Vierdimensionalismus um *Metaphysik*, nicht um Linguistik geht:

»[F]our-dimensionalism is a *metaphysical* thesis about the nature of persisting objects. It is *not* a thesis about language, nor about the analysis of predicates of continuants, nor about the conceptual epistemic priority of predicates of stages and predicates of continuants.«⁴⁴²⁵

Offensichtlich liegen damit alle deskriptiven Metaphysiker mit ihren Positionen und Argumenten für den Drei- vs. Vierdimensionalismus falsch. Kommen wir damit auf den eigentlichen *metaphysischen* Streit zu sprechen, der darin besteht, wie Entitäten ontologisch richtig zu fassen sind: Nach Maßgabe des *Dreidimensionalismus*, der durch den *Endurantismus* verkörpert wird, sind sie prinzipiell als *3D-Entitäten* zu fassen, was entweder auf den tradierten Substanzgedanken oder auf den linguistischen *Common Sense* bzw. die Grammatik der Alltagssprache zurückgeht. Demgegenüber werden sie unter Geltung des *Vierdimensionalismus* entsprechend als *4D-Entitäten* gefasst, die unter *realistisch-prozessualen* Gesichtspunkten zusätzlich die zeitliche Dimension berücksichtigen.⁴⁴²⁶ Dabei unterteilt sich der Vierdimensionalismus neben dem *Perdurantismus* (Worm View) mit dem *Exdurantismus* bzw. der Stadientheorie (Stage View) in eine zweite,⁴⁴²⁷ spezielle Variante, die mit D.K. Lewis (1986b) bzw. Sider (2001) auf Basis der Mögliche-Welten-Semantik in prozessontologischen Ansätzen der Analytischen Philosophie vertreten wird.⁴⁴²⁸ Dieser Widerstreit ist für die Debatte um die *Top-level Ontologie* zentral,⁴⁴²⁹ indem die konkurrierenden TLO-Ansätze jeweils auf einer der genannten Positionen aufbauen, die für sich genommen inkommensurabel sind. Wie verschiedentlich hervorgehoben, ist diese auch in dieser Sache natürlich als metaphysische Ontologie zu verstehen, denn tatsächlich handelt es sich bei ihr um eine durch und durch metaphysische Fragestellung; um eine Kernfrage der Metaphysik.⁴⁴³⁰ Für den Perdurantismus ist klassischerweise kennzeichnend, dass Objekte *zeitliche Teile* besitzen,⁴⁴³¹ während sie diese im Endurantismus nicht aufweisen.⁴⁴³² Dabei besteht dieser Widerstreit in dem Sinne doppelt, als er sowohl im CM- wie im AI-Zusammenhang gegeben ist.⁴⁴³³ Dabei ist die Situation heute die, dass sowohl im CM- wie im AI-Bereich 3D-Ansätze vorherrschend sind, die Objekte in der Weise modellieren bzw.

⁴⁴²⁵ Sider (2001: 209), Hvh. des Orig.

⁴⁴²⁶ Zuweilen wird im Kontext der analytischen Metaphysik auch von einem *Fünfdimensionalismus* gesprochen, wenn Dinge auch *modale* Teile besitzen; entsprechend wird D.K. Lewis (1986b) dazu gerechnet, vgl. Rini/Cresswell (2012: 167).

⁴⁴²⁷ Der Begriff "*Exduranz*" geht auf Haslanger (2003: 319) zurück; vgl. zum *Exdurantismus* ergänzend E.J. Lowe (1987a) sowie Balashov (2007a, 2007b).

⁴⁴²⁸ Indem mit Balashov (2002) der *Worm View* primär, der *Stage View* sekundär ist, stellt der *Exdurantismus* folglich keine eigenständige Position dar. Entsprechend sieht auch Rea (2003: 247, Fn. 3) sie als "variation on perdurantism", die gegenüber dem "orthodox perdurantism" abgegrenzt wird.

⁴⁴²⁹ Vgl. etwa Lenat/Guha (1990), Sowa (2000), Niles/Pease (2001a, 2001b), Hayes et al. (2002), Masolo et al. (2003), West (2003, 2008), Grenon/Smith (2004), Semy et al. (2004), Herre/Heller (2005), Johansson (2005), Batres et al. (2007), Russell/Norvig (2010) sowie Herre (2015b).

⁴⁴³⁰ Vgl. etwa Johnston (1983), Lewis (1986b), E.J. Lowe (1998), Varzi (2000) sowie Hawley (2001).

⁴⁴³¹ Vgl. hierzu aus 4D-Sicht M. Heller (1984); vgl. ferner Simons (1991a, 2000c), Jo. Parsons (2000) sowie Van Inwagen (2000).

⁴⁴³² In jüngerer Zeit lässt sich diese Differenzierung nicht mehr so deutlich ziehen, vgl. hierzu etwa McDaniell (2004).

⁴⁴³³ Vgl. etwa Al-Debei et al. (2012) sowie De Cesare et al. (2015).

formalisieren, wie es der räumlich orientierte menschliche Alltagsverstand nahelegt. Ob darin jedoch die für die Informatik tatsächlich richtige Sichtweise besteht, ist damit keineswegs ausgemacht und im Folgenden näher zu erörtern. Dabei ist diese Erörterung weder einfach noch oberflächlich zu führen. Denn dieser Widerstreit hat ganz maßgeblich etwas mit McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" zu tun. Dabei ist zu beachten, was gemeinhin in der Debatte übersehen wird, dass bei diesem meta-ontologischen Kriterium zwingend die CPSS-Adäquanz der Ontologiekonzeption zugrundezulegen ist. Wenn eine CPSS-adäquate Ontologie in komplex-adaptiven "*Reality Machines*" mündet, geht es ganz offenbar nicht allein um eine universale Weltauffassung, sondern insbesondere auch um die Frage des für autonome kognitive Systeme sachgerechten Realitätsverständnis, insbesondere wenn sich PEID-Objekte in Closed-loop U-PLM-Systemen im Raum bewegen. Entsprechend stellt sich auch mit Blick auf die Lebenszyklen und Transformationsprozesse von U-PLM-Systemen in PLM-relevanten Industrien wie etwa der Biotechnologie oder chemischen Prozessindustrie die Frage, ob die Datenmodellierung auf 3D- oder 4D-Basis zu erfolgen hat.

Die Differenzierung von *Kontinuanten* (Continuants) vs. *Okkurrenten* (Occurrents) geht bereits auf W.E. Johnson (1921, 1924) zurück;^{4434, 4435} jene sachlich gleichartige zwischen *Enduranten* (Endurants) vs. *Perduranten* (Perdurants) ist jüngerer Datums und wurde durch einen Schüler von D.K. Lewis, nämlich Johnston (1983) vollzogen. Allerdings besteht der eigentliche Bezugspunkt hierfür in der 4D-Ereignisontologie Whiteheads (1919, 1920). Bereits Whitehead (1925) fasst das Phänomen der Persistenz von Objekten unter den Term "*endurance*", während Whitehead (1929a) "*enduring objects*" als solche gegenüber Ereignissen abgrenzt. Insgesamt geht es also um emergentistische Organismen i.S. Whiteheads, für deren Persistenz gilt: »[E]ndurance is the property of finding its pattern reproduced in the temporal parts of the total event«.⁴⁴³⁶ Entsprechend gilt auch für N. Goodman (1951: 259): »A thing is a monotonous event«. Richtig populär wurde die Differenzierung zwischen *Endurantismus* vs. *Perdurantismus* aber erst mit dem vielbeachteten Werk von D.K. Lewis (1986b).⁴⁴³⁷ Genaugenommen sind der Endurantismus (→ 3D) bzw. der Perdurantismus (→ 4D) nicht, wie Hayes et al. (2002) betonen, mit dem *Dreidimensionalismus* bzw. *Vierdimensionalismus* gleichzusetzen; vielmehr *implizieren* sie diesen jeweils nur. Beide Positionen finden ihre Befürworter; die endurantistische Position bzw. der Dreidimensionalismus wird dabei durch weite Teile der Verfechter der

⁴⁴³⁴ Vgl. W.E. Johnson (1921: 199; 1924: 78-101).

⁴⁴³⁵ Prozesse werden im Whitehead-Paradigma *auf Basis von Ereignissen* als *Okkurrenten* verstanden; wie in Pkt. 5.7 ausgeführt, gibt es dabei Ansätze, die zwischen Ereignissen und Objekten gesondert differenzieren und solchen, bei denen dies nicht geschieht. Demgegenüber werden – wie ebenfalls dort bereits dargelegt – Prozesse bei R. Stout (1997) oder Galton (2006b) als *Kontinuanten* aufgefasst. Dabei ist zu beachten, dass die Verhältnisbestimmung zwischen Ereignissen und Prozessen umgekehrt wird: »If events cannot change, how can we say such things? The answer is that we are not referring to events here but rather to the processes of which they are composed«, vgl. Galton (2006b: 187).

⁴⁴³⁶ Vgl. Whitehead (1925: 152).

⁴⁴³⁷ Vgl. hierzu auch die Kritiken bei E.J. Lowe (1987a), M. Johnston (1987) sowie Forbes (1987).

Klasse-2- bzw. Klasse-3-Metaphysik eingenommen.⁴⁴³⁸ Solche "Furniture-Ontologen" kommen etwa aus der Analytischen Philosophie, aus der linguistischen AI-Ontologie, aus der Phänomenologie sowie aus neo-aristotelischen Ansätzen. Demgegenüber wird die perdurantistische Position bzw. der Vierdimensionalismus durch Prozessontologen vertreten.⁴⁴³⁹ Diese gehen letztlich immer auf die am Leibnizschen Automatenuniversum orientierte logico-mathematischen 4D-Ereignisontologie von Whitehead und Russell zurück. Mit Whiteheads Ratio-Empirismus, der seine Metaphysik nicht zuletzt auf die Grundlage der Relativitätstheorie stellt und diese mit dem aristotelischen Substanzparadigma bricht, wird deutlich, dass der Widerstreit zwischen dem Endurantismus und Perdurantismus in einem größeren metaphysischen Zusammenhang steht, dem neben verschiedenen Zeittheorien auch der Gegensatz von Objekt- vs. Ereignisontologie inhärent ist. Es geht dabei um Variation von Objekten in der Zeit wie um ihre Identität, vor deren Hintergrund der Endurantismus schließlich durch die Verfechter der SUMO-TLO als inkonsistent gesehen wird.⁴⁴⁴⁰ Damit stehen sie gewiss im Zeichen von Sein vs. Werden, von Beständigkeit vs. Wandel, und damit auch der Mechanismen der Veränderung:

⁴⁴³⁸ Dreidimensionalisten sind etwa Geach (1965), Wiggins (1968, 1980), Chisholm (1976a), Bunge (1977a), Mellor (1981, 1998), Van Inwagen (1981, 1990a, 1990b), Doepke (1982), P.M.S. Hacker (1982a), E.J. Lowe (1983a, 1983b, 1987a, 1988a, 1988b, 1989), Thomson (1983, 1998), Haslanger (1985, 1989a, 1989b, 1994), Van Cleve (1986), M. Johnston (1987, 1992), P.M. Simons (1987), Burke (1992, 1994a, 1994b), Oderberg (1993, 1996), Lombard (1994), Merricks (1994a, 1994b, 1999), Rea (1995, 1998, 2000), D.W. Zimmerman (1995, 1997, 1998a, 1998b, 1999), Hinchliff (1996), L.R. Baker (1997, 2000) sowie Gallois (1998).

⁴⁴³⁹ Vierdimensionalisten sind bspw. Russell (1914, 1915c, 1927a), Whitehead (1920, 1929a), McTaggart (1921), Broad (1923, 1933), Carnap (1928a), Goodman (1951), D.C. Williams (1951, 1986), Quine (1960a, 1970b, 1976a, 1976b, 1980, 1981), J.J.C. Smart (1963, 1972), R. Cartwright (1975), Armstrong (1980), Heller (1984, 1990, 1992, 1993), D.K. Lewis (1986b, 1988, 2002), Le Poidevin (1991, 2000), Jubien (1993), Sider (1996a, 1997, 2001), Balashov (1999, 2000a, 2000b), Hawley (1999) Hudson (1999) sowie Hales/Johnson (2003).

⁴⁴⁴⁰ Vgl. Pease/Niles (2002a: 66).

Endurantism (3D)	Perdurantism (4D)
1. Objects have only spatial dimensions	1. Objects have three spatial and one temporal dimensions
2. Objects are wholly present at any point of time during their lifetime	2. At any given time a 4D object is only partially present
3. Objects are viewed from the present. The default is that statements are true now	3. Objects from the past, present, and future all exist
4. Objects do not have temporal parts	4. Objects extend in time as well as space and have temporal parts as well as spatial parts
5. Different objects may coincide at a point in time, i.e., occupy the same 3D extension (non-extensionalism)	5. When two individuals have the same spatio-temporal extent, they are the same thing (the extensionalist criterion of identity)
6. Time and space are treated separately	6. Time and space are unified
7. Understand change in terms of things	7. Understand things in terms of change
8. The object-at-a-point-in-time is the object of primary interest	8. The object over its whole lifecycle is the object of primary interest
9. Events are related to objects; i.e. things are the persisting carriers of events	9. Objects are constituted of events and situated in events
10. Objects are entities of an object or substance ontology	10. Objects are entities of a process ontology

Abb. 52:⁴⁴⁴¹ Endurantismus vs. Perdurantismus im Widerstreit

Indem das Ganze in einem größerem metaphysischen Zusammenhang zu begreifen ist, insbesondere mit Blick auf den fundamentalen Gegensatz von Substanz- und Prozessontologien, liegen McCall/Lowe (2003, 2006) zweifellos gänzlich falsch in ihrer Behauptung, dass die 3D/4D-Kontroverse insofern unwesentlich sei, als der Endurantismus und Perdurantismus äquivalente Positionen hinsichtlich der Persistenz in Zeit und Wandel einnehmen. Eine solche 3D/4D-Äquivalenz lässt sich mit Verweis auf Abb. 52 nicht voraussetzen. Nicht umsonst ist die Disposition bzgl. des *Endurantismus vs. Perdurantismus* in der Ontologiedebatte zutiefst umstritten. Dieser Streit läuft primär auf die Frage hinaus, ob Entitäten *raumzeitlich*, also als 4D-Entitäten zu konzipieren sind, oder nicht. Im propädeutischen Sinne ist dabei zunächst auf die Zeittheorien einzugehen, deren zwei zentrale Varianten bereits in obiger Abb. 52 zum Ausdruck kommen. Dabei besteht im Problem der Zeit eine der zentralsten philosophischen Streitfragen, auch wenn diese in rationalistischen Ansätzen der Neuzeit in weiten Teilen ausgeblendet wird und entsprechend erst wiederentdeckt werden musste.⁴⁴⁴²

Das Problem der Zeit bzw. die verschiedenen Zeitbegriffe besitzen aus dem Grunde eine so wichtige Stellung, weil maßgebliche metaphysische Aspekte damit verbunden sind. Das gilt vor allem für die metaphysische Frage der Identität und Persistenz konkreter Entitäten. Entsprechend sind mit den Zeitkonzepten unmittelbar disparate metaphysische

⁴⁴⁴¹ Quelle: Behnen (2015); in Anlehnung an Stell/West (2004) bzw. Al-Debei et al. (2012), modifiziert und ergänzt.

⁴⁴⁴² Vgl. hierzu etwa Zimmerli/Sandbothe (1993) und Gimmler et al. (1997).

Identitätskonzepte verbunden.⁴⁴⁴³ In Bezug auf das Problem der Identität in der Zeit konstatiert Van Inwagen (2002):

»Whatever may be true of other physical objects, a living organism would seem not only to be a thing whose parts change with the passage of time, but to be a thing whose very nature demands that it change its parts with the passage of time.«⁴⁴⁴⁴

Mit W.R. Carter/Hestevold (1994) ist die Debatte um den *Endurantismus vs. Perdurantismus* maßgeblich von den jeweilig zugrundeliegenden Zeittheorien abhängig; sie unterscheiden dabei selbst zwischen *Static Time* und *Transient Time*. Dieser Standpunkt ist zweifellos richtig, wenn es bei der Debatte elementar um die Frage der *Persistenz in der Zeit* geht. Diese Zeittheorien werden gängiger Weise unter den *Präsentismus vs. Eternalismus* gefasst. Der Präsentismus impliziert die Perspektive, dass allein die Sachverhalte der Gegenwart existieren bzw. nur diese "real" ist, während der *Eternalismus* die Existenz einer objektiv privilegierten Gegenwart verneint und somit den Anspruch geltend macht, dass alle Zeitpunkte in gleicher Weise existieren.⁴⁴⁴⁵ Beide Zeittheorien haben ihre Befürworter; dabei korreliert im Allgemeinen der *Präsentismus* – mit der ausschließlichen Realität aktueller Entitäten – mit einem exklusivistischen Aktualismus sowie dem Endurantismus bzw. Dreidimensionalismus,^{4446, 4447} während der *Eternalismus* in seinem Einbezug der Zukunft zwangsläufig mögliche Entitäten mit einbezieht und insgesamt mit dem Perdurantismus bzw. Vierdimensionalismus übereinstimmt.⁴⁴⁴⁸ Wie in Pkt. 5.7 erwähnt, wird der *Präsentismus* mit der Speziellen Relativitätstheorie für unvereinbar gehalten und entspre-

⁴⁴⁴³ Es existieren zwei Formen von Identität: (a) Gleichheit vs. (b) genau ein Ding (= im strengen Sinne Identität: numerische Identität), vgl. Jubien (1997: 66). Identität einmal als qualitative (Type/Typidentität, 1:n Beziehung, bei der die qualitativ-intrinsischen Eigenschaften gemeinsam, die relationalen Eigenschaften hingegen verschieden sind), und einmal als numerische Identität (Token/Tokenidentität, 1:1 Beziehung); vgl. zur Token- und Type-Identität Runggaldier/Kanzian (1998: 94). Eine 1:1 Beziehung hat sowohl die qualitativ-intrinsischen als auch die relationalen Eigenschaften gemeinsam. Die numerische Identität ist zu definieren als ein Ding, das zu einem Zeitpunkt existiert, identisch ist mit einem Ding zu einem anderen Zeitpunkt, vgl. Loux (2002: 231). Daneben lassen sich synchrone (zeitlose) vs. diachrone Identität unterscheiden, letztere als Identität (eines Individuums) in der Zeit. Die numerische Identitätsbedingung wird durch das Leibniz-Gesetz (LG) repräsentiert, das nur im endurantistischen Kontext strenge Gültigkeit besitzt, nicht aber im perdurantistischen Kontext, wo eine strenge Interpretation einen zirkulären Prozessverlauf implizieren würde, vgl. hierzu Jubien (1997: 66) sowie Runggaldier/Kanzian (1998: 96 f., 145 ff.). Allerdings können Endurantisten nicht mehr Veränderungen an den Teilen erklären, vgl. zu diesem Beispiel Loux (2002: 238 ff.). Teilweise wird für ein einheitliches, universal anwendbares strenges metaphysisches Identitätskonzept mit folgenden Merkmalen numerischer Identität votiert: Reflexivität, Symmetrie, Transitivität, Ununterscheidbarkeit von Eigenschaften (Indiscernibility of Identicals / properties), vgl. Loux (2002: 233, 239, 246). Reflexivität bedeutet hier, dass eine Relation reflexiv ist; d.h., dass die Relata, zwischen denen sie besteht, nicht zwei verschiedene sind, sondern lediglich eines; Symmetrie bedeutet hier i. S. einer Identitätsbedingung, dass wenn $x = y$, so auch $y = x$; Transitivität bedeutet in diesem Kontext, dass wenn $x = y$ und $y = z$, so auch $x = z$ notwendig ist, vgl. Runggaldier/Kanzian (1998: 94).

⁴⁴⁴⁴ Van Inwagen (2002: 195).

⁴⁴⁴⁵ Vgl. etwa Johansson (2011: 101).

⁴⁴⁴⁶ Vertreter des *Präsentismus* sind etwa Prior (1968a, 1968b, 1972), Adams (1986), Merricks (1994a, 1999), Bigelow (1996), Hinchliff (1996), Zimmerman (1998b) sowie Markosian (2004).

⁴⁴⁴⁷ Brogaard (2000) argumentiert entgegen der etwa bei M. Heller (1992) gegebenen konventionellen Sichtweise für einen *präsentistischen Vierdimensionalismus*; mit anderen Worten wird dieser als mit einer ontologischen Privilegierung der Gegenwart vereinbar erachtet.

⁴⁴⁴⁸ Vertreter des *Eternalismus* sind etwa Russell (1915a), N. Goodman (1951), D.C. Williams (1951), Quine (1960a), J.J.C. Smart (1962) sowie Mellor (1981).

chend zurückgewiesen.⁴⁴⁴⁹ Präsentismus und Eternalismus lassen sich darüber hinaus der A-Reihe und B-Reihe der Zeit zuordnen, die McTaggart (1908) differenziert, wenn es um die *Ordnung von Ereignissen in der Zeit* geht. Unter die A-Reihe fallen der *Präsentismus* sowie das *Block-Universum*;⁴⁴⁵⁰ beide unterstellen eine objektive Gegenwart, wobei für den Präsentismus allein die gegenwärtigen Objekte existieren. Demgegenüber unterstellt das Block-Universum, dass sowohl gegenwärtige wie vergangene Objekte existieren, jedoch keine zukünftigen. Bei der B-Reihe wird keine solche objektive Gegenwart angenommen; sie inkludiert den *Eternalismus* bzw. *Vierdimensionalismus*. Daneben gibt es auch A/B-Hybride.⁴⁴⁵¹

Die Frage, ob Entitäten *raumzeitlich*, also als 4D-Entitäten zu konzipieren sind oder nicht ist aus dem Grunde von großer Relevanz, weil es genauso genuin endurantistische TLO-Theorieanwärter gibt wie genuin perdurantistische. Lässt sich diese Frage anhand des vorliegenden U-PLM-Referenzszenarios sachlich hinreichend klären, folgt daraus, dass sich die eine oder andere Seite damit als universale Bezugsbasis disqualifiziert. Denn es geht dabei nicht etwa um eine nebensächliche Frage, sondern um eine, die den Kern der jeweiligen Ontologiekonzeption und seine metaphysische Basis unmittelbar betrifft: Alle Objekt- bzw. Substanzontologien wie alle linguistischen *Common Sense-Ontologien* implizieren als räumlich gedachte "Furniture-Ontologien" im Kern eine 3D-Sichtweise; alle echten Prozessontologien demgegenüber eine 4D-Perspektive. Dieser Widerstreit ist für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* von mehrfacher Relevanz; er betrifft weder allein im Kern sämtliche CM- wie alle AI-Aspekte noch beschränkt er sich auf die *Top-level Ontologie* allein. Vielmehr betrifft er alle in Pkt. 3.3.1 abgegrenzten Ontologiearten. Dies gilt insbesondere für die unmittelbar TLO-referenzierenden Kernontologien (CO),⁴⁴⁵² konkret für die *Enterprise Ontology* (EO),⁴⁴⁵³ in der der ontologische Kern der *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu sehen ist. Insofern ist klar: dieser Widerstreit ist ein tiefgehender wie in seiner Konsequenz ein überaus weitreichender.

Auch hinsichtlich der Debatte um den *Endurantismus vs. Perdurantismus* ist der Einwand gerechtfertigt, dass sie in keiner Weise sachlich überzeugend geführt wird. Sie wird weder auf ein geeignetes Referenzszenario bezogen noch ausgehend von der Frage erörtert, wie überhaupt die Metaphysik an sich zu verstehen ist, von der sie sich nicht lösen lässt. Die Argumente, die vorgebracht werden, beziehen sich im Allgemeinen allein auf einzelne Fragen statt auf das metaphysisch relevante Ganze. Auch wird diese elementare Frage teils an vollkommen irrelevanten Aspekten entschieden, etwa daran, welche der Positionen für

⁴⁴⁴⁹ Vgl. Sider (2001: 42 ff.) sowie S. Saunders (2002).

⁴⁴⁵⁰ Vgl. zum *Block-Universum* Sider (2001).

⁴⁴⁵¹ Vgl. hierzu Oaklander (2004).

⁴⁴⁵² Insofern wird auch in dieser Sache der unmittelbare Bezug zwischen *Metaphysik*, *Top-level Ontologie* und *Kernontologie* deutlich, wie er im Zuge der Ontologieklassifikation in Abb. 3 in Pkt. 3.3.1 zum metaphysischen Ansatzpunkt im *Ontology Engineering* dargestellt wurde.

⁴⁴⁵³ Vgl. etwa Partridge (1996), Geerts/McCarthy (2002), West (2009), De Cesare/Geerts (2012), Sanfilippo et al. (2014a) sowie Verdonck et al. (2014).

den Anwender die verständlichere ist. Diese Debatte ist eine fundamental metaphysische, doch haben solche Auffassungen mit Metaphysik gar nichts zu tun. Wie bei allen meta-ontologischen Kriterien gilt auch hier, dass sich die Streitfrage um den *Endurantismus* vs. *Perdurantismus* in keiner Weise losgelöst von den in Pkt. 4.1 abgegrenzten Metaphysikklassen entscheiden lässt. Dabei ist evident, dass sich die Diskussion nicht an einer inferioren Klasse orientieren kann, wie sie in der Klasse-2- bzw. Klasse-3-Metaphysik gegeben ist. Solche inferioren Metaphysiken bilden naive "Furniture-Ontologien", etwa mit der auf der analytischen Metaphysik bzw. auf dem aristotelischen *Common Sense-Realismus* aufsetzenden deskriptiven Klasse-2-Metaphysik und der allein an *physischen Dingen* festmachenden *Scientific Metaphysics* als revisionäre Klasse-3-Metaphysik.

Weder Objekt- bzw. Substanzontologien noch linguistische *Common Sense-Ontologien* können den richtigen Zugang zur Debatte eröffnen: Wie bereits beim Universalienproblem lässt sich auch hinsichtlich der Frage, ob Objekte bzw. Ereignisse eine zeitliche Komponente besitzen, analog konstatieren: durch linguistische Ontologiekonzeptionen wie jener Genesereth/Nilssons (1987) und in dieser Tradition Grubers (1993, 1995) wird auch diese wesentliche Frage weder beantwortet noch überhaupt aufgegriffen. Entsprechend gibt es in solchen Ontologien allein Objekte, die keine zeitliche Komponente aufweisen; auch gibt es keine Ereignisse bzw. Prozesse als gesonderter Kategorie. Genauso zeigt sich hinsichtlich der konkurrierenden TLO-Ansätze, dass das Inkommensurabilitätsproblem maßgeblich auch durch differente Positionen in dieser Frage bedingt ist. Auch die Frage der zeitlichen Komponente ist eine metaphysische; und auch hier ist entscheidend, auf welche Art von Metaphysik und mit welcher Intention bzw. in welchem Zusammenhang man sich dieser Frage nähert.

Mit Aune (1988) steht außer Frage, dass auch der Widerstreit um *Kontinuanten* vs. *Okkurrenten* unmittelbar mit dem in Pkt. 6.2.2 behandelten Widerstreit von *deskriptiver* vs. *revisionärer Metaphysik* zu tun hat. Im Allgemeinen ist die landläufige Auffassung richtig, dass der *Endurantismus* im OLP-Sinne mit der *deskriptiven* Metaphysik korreliert ist, während der *Perdurantismus* mit der *revisionären* Metaphysik korrespondiert.⁴⁴⁵⁴ Die fundamentalen Defekte der Klasse-2- und Klasse-3-Metaphysiken bestehen nicht zuletzt in ihrer Position, die sie in der Debatte um den *Endurantismus* vs. *Perdurantismus* beziehen. Als "Furniture-Ontologien" sind sie zuvorderst auf *Kontinuanten* ausgerichtet, wie es der veraltete Substanzgedanke einerseits, und die defizitäre Normalsprache im OLP-Paradigma andererseits perspektivisch eröffnen. Dass an dieser 3D-Perspektive etwas grundlegend nicht stimmt, wird seit geraumer Zeit in den Strömungen der Klasse-2-Metaphysik selbst erkannt. Bzgl. des OLP-Paradigmas beginnt dies mit der *Ereignissemantik* des Whitehead- resp. Quine-Schülers Davidson (1967), mit dessen 4D-Perspektive der tradierte Endurantismus aufgebrochen wird. Hinsichtlich der Analytischen Philosophie, konkret der analytischen Ontologie resp. Metaphysik, stellt sich der Sachverhalt mit den 4D-Sichtweisen

⁴⁴⁵⁴ Vgl. etwa Seibt (1997: 151).

Quines und seines Schülers D.K. Lewis analog dar. Wenn es sich mit Verweis auf Pkt. 5.5 bei D.K. Lewis um den einflussreichsten analytischen Metaphysiker des letzten Viertels des zwanzigsten Jahrhunderts handelt, sollte die Bedeutung außer Frage stehen, die die 4D-Position D.K. Lewis' mit sich bringt. Wie in Pkt. 5.7 dargelegt, sind für die Analytische Philosophie heute eine Reihe weiterer prozessontologischer Ansätze prägend, die im Sinne Seibts (2005) mit dem *Mythos der Substanz* brechen. Dazu gehören neben der Prozessontologie Seibts etwa die Ansätze von M. Heller oder Sider. Ein weiteres Beispiel für den Wechsel der Positionen, der gewiss immer einseitig zugunsten der 4D-Position ausfällt, besteht in der Ontologie P.M. Simons, die mit Brentano, der Phänomenologie und weiteren Strömungen ebenfalls von der 3D-Perspektive her kommt.⁴⁴⁵⁵ Entsprechend überrascht es nicht, wenn es diese Tendenz zum Wechsel in das 4D-Paradigma auch im Bereich der *Top-level Ontologie* der Informatik gibt. Hier lässt sich etwa auf den Wechsel der GFO-TLO als ursprünglich neo-aristotelischem Ansatz von 3D+T auf 4D-Entitäten verweisen. In dieser Feststellung liegt insofern eine gewisse Sprengkraft, als damit deutlich wird, dass den drei am weitesten verbreitetsten TLO-Ansätzen, nämlich BFO, BWB und DOLCE, kaum die Zukunft gehören kann. Denn bei diesen Ansätzen handelt es sich im Kern durchweg um 3D-Ansätze, indem ihre prozessualen Momente im aristotelischen Trägersinne zu verstehen sind. Es handelt sich bei diesen deskriptiven Klasse-2-Metaphysiken (BFO, DOLCE) bzw. der revisionären Klasse-3-Metaphysik (BWB) also gerade nicht um Prozessontologien.

Die Defekte der genannten Ansätze machen bereits deutlich, dass die Debatte um den *Endurantismus vs. Perdurantismus* nicht auf ihrer Basis zu führen ist. Der Wechsel zur 4D-Perspektive ist letztlich über Umwege immer auf die Ereignismetaphysik Whiteheads und seines Schülers Russell zurückzuführen, mit der diese 4D-Sichtweise in der Metaphysik erst eröffnet wird. Daraus folgt, dass sich diese Debatte offenbar auf die höchste aller Metaphysikklassen beziehen muss, nämlich auf die Klasse-4-Metaphysik als techno-wissenschaftliche Prozessmetaphysik, die zugleich Digitalmetaphysik ist. Um die notwendige Klarheit in der teils erbittert geführten Debatte bei den Beteiligten herbeiführen zu können, ist diese Metaphysikklasse allein kaum hinreichend. Vielmehr ist ein geeignetes Referenzszenario ins Feld zu führen, das mit den U-PLM-Systemen der *Ontologie komplexer IoX-*

⁴⁴⁵⁵ Simons (1987: 123) spricht sich – analog zu B. Smith als weiterem Verfechter der *"School of Manchester"* – noch für einen Verbleib bei der primär neo-aristotelisch verfassten 3D+T Ontologie mit dem Argument aus, dass noch niemand die erforderliche Mühe auf sich genommen habe, den 4D-Ansatz verstehbar zu machen. Dieser sei gewiss nicht inkonsistent, jedoch für die Nutzer der kombinierten 3D+T-Ontologie wie ihn "unverständlich", womit kein Argument für einen Wechsel bestünde, solange dieser Schritt nicht getan sei. Während Simons (1991a, 1998a) noch die Kontinuanten verteidigt, ändert sich bei Simons (2000b: 75) allmählich die Perspektive: »Does that mean continuants are metaphysically less basic than occurrents? I think it probably does. Does that mean the four-dimensionalists have won? No it does not, for they have misconstrued the relationship between continuants and occurrents«. Wiederum später verschiebt sich Simons' (2013a: 241) Position zugunsten des Whiteheadschen 4D-Ansatzes: »Continuant causation consists in a continuant's participation in occurrents which are occurrent causes of further occurrents, which are said by 'cause' and by agentive and other causative verbs to be caused by the continuant in question«.

Systeme genauso techno-wissenschaftlicher Natur ist. Indem U-PLM-Systeme in vielfältiger Form den CPS-Gedanken voraussetzen (CPPS, CPSS, CPLS, PEID), impliziert dieses Referenzszenario im IoX-Hyperspace das Erfordernis zur CPSS-Adäquanz der Ontologie. Vor diesem Hintergrund wird auch die Debatte um den *Endurantismus vs. Perdurantismus* schnell lösbar, indem sich die integrierte Ontologiekonzeption im tatsächlich universalen Sinne auf sämtliche ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenarien bezieht. Schließlich ist festzustellen, dass diese Ausführungen keineswegs allein für die Ontologie der Informatik gelten, sondern in einem einheitlichen Ontologieverständnis genauso die philosophische Ontologie betreffen. Man kann dann einwenden, dass techno-wissenschaftliche wie CPS-Gesichtspunkte für die Fragen der Philosophie irrelevant sind. Doch diese Position kann man schon allein deshalb nicht gelten lassen, indem CPS "in der Welt" und Teil der Welt sind, nämlich jener, die als "Realität" bezeichnet wird. Selbst wenn man – wie Bunge – eine strikt materialistische Position bezieht, kommt man an der Auseinandersetzung mit dieser Problematik gerade auch in der Philosophie nicht vorbei, wenn es um die fundamentalen Strukturen der Welt geht.

Beginnen wir mit den Argumenten, die für den Endurantismus bzw. für die 3D-Perspektive ins Feld geführt werden und den darauf gründenden Ansätzen. Die Endurantismus-Argumente lassen sich im Grunde zu dreien zusammenfassen, nämlich dem (i) *Substanzargument*, dem (ii) *Verständnisargument*, sowie dem letztlich für beide vorgenannten Argumente ausschlaggebenden (iii) *sprachphilosophischen Argument*. Ad (i) lehnt das Substanzargument, insbesondere das auf die *menschliche Substanz* bezogene, zeitliche Teile mit dem Hinweis auf *Selbstidentität* bzw. *personale Identität* ab.⁴⁴⁵⁶ Runggaldier (2007) und andere sprechen sich vor diesem Hintergrund für die 3D-Perspektive und damit für eine Substanzontologie statt für eine Prozessontologie aus. Whitehead (1941c) hat indessen gezeigt, dass das wichtige Moment personaler Identität genauso auf Basis des Vierdimensionalismus erschließbar ist. Dann gilt mit Stalnaker (1986a):

»If you think of time as space-like, then you will think of continuant individuals – persons and physical objects – as extended through time in the same way that they are extended through space. We are the same as our histories. Only a part of you exists now; other temporal parts are past, or yet to come.«⁴⁴⁵⁷

In der Tat sollte nicht verkannt werden, dass sich auch dieser Sachverhalt allein im aktiven Universum stellt, von dem sich das *Subjekt-Superjekt* kaum ablösen lässt.⁴⁴⁵⁸ Mit anderen Worten müsste dann auch das Universum selbst als bloßes 3D-Universum gedacht werden, was allerdings dem heutigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand nicht entspricht. Die Verfechter von Substanz- bzw. Furniture-Ontologien begehen einen schwerwiegenden Fehler, der nicht subjektiv, sondern erst im intersubjektiven bzw. objektiven Zusammen-

⁴⁴⁵⁶ Das metaphysische Identitätsproblem stellt sich bzgl. personaler Identität bereits in der Cartesischen Substanzmetaphysik dergestalt, dass die *res cogitans* numerisch unteilbar ist, während sich die *res extensa* als Materie durch eine numerische Teilbarkeit auszeichnet. Bei dieser endurantistischen Position geht es gewiss allein um die *räumliche*, nicht um die *zeitliche* Teilung.

⁴⁴⁵⁷ Stalnaker (1986a: 134).

⁴⁴⁵⁸ Vgl. hierzu insbes. Whitehead (1941c: 689, 693).

hang maßgeblich ist. Denn er bedingt das TLO-Inkommensurabilitätsproblem wesentlich und verhindert damit die vollumfängliche semantische Interoperabilität, die für flexible IoX-Umgebungen in SEI-Kontexten unerlässlich ist. Dieser Fehler besteht darin, dass 3D-Ontologen nicht zubilligen wollen, dass es im exklusivistischen Vierdimensionalismus genauso persistente Objekte gibt. Die Selbstidentität gibt es also auch hier, auch wenn sie anders als im Dreidimensionalismus konzipiert ist. Wie mit Whitehead oben ausgeführt, gilt hinsichtlich deren Persistenz: »[E]ndurance is the property of finding its pattern reproduced in the temporal parts of the total event«.⁴⁴⁵⁹ Die Identität ist also keine absolute, keine "ewige", wie es der Dreidimensionalismus behauptet, sondern eine relative. Sie beruht auf der Reproduktion von Ordnungsmustern im Sinne eines "*system of events*", das im Zeichen der *Theorie komplexer Systeme* zu verstehen ist. Damit haben persistente Objekte im Vierdimensionalismus durchaus dieselben Eigenschaften wie Substanzen, ohne dabei selbst Substanz zu sein. Diese Feststellung ist in der jahrhundertewährenden Debatte deshalb wichtig, weil die ewige Identitätsthese der Substanzontologen für AI-Zwecke genauso unangebracht ist wie der damit zusammenhängende konzeptionelle Zuschnitt der Substanz als autarker Träger bzw. wie die Reduktion systemischer Relationen auf Relata als einstellige Prädikate.

Ad (ii) ist der Alltagsverstand (Common Sense) ins Feld zu führen; hier wird argumentiert, dass es für das menschliche Verständnis eingängiger bzw. vorteilhafter sei, Ontologie im 3D-Sinne zu konzipieren. Dabei ist hervorzuheben, dass sich diese Position nicht etwa allein auf klassische, einfache Alltagssituationen bezieht, für die Rescher (2005a) den *Common Sense* noch gelten lassen will. Vielmehr argumentieren Marquardt et al. (2010: 381 f.) selbst im Kontext der chemischen Prozessindustrie für diese Sichtweise; denn Ontologie müsse "intuitiv" bzw. "einfach anzuwenden" sein, und sollte aus diesem Grunde auf den gegenständlichen 3D-Ansatz hinauslaufen. Dieses Argument ist schon insofern verfehlt, als es allein auf eine Neumannsche Automatenklasse bzw. Agentenklasse abstellt, die selbst immer weniger etwas mit den AI-Prozessen zu tun hat. Marquardt et al. (2010: 381 f.) wie auch andere begehen den Fehler, dass sie ihre Argumente immer auf *menschliche* Agenten und deren kognitiven Unzulänglichkeiten beziehen. Im Smart Web bzw. in der Smart Factory (CPPS) sind menschliche Agenten aber nur wenige von vielen, und die anderen, nämlich maschinelle Agenten operieren notwendigerweise im Vierdimensionalismus. In dieser Sache haben sich also nicht die maschinellen Agenten anzupassen, sondern die menschlichen Agenten, indem jedes sachgerechte AI-Processing ein 4D-Processing ist. Für diejenigen Ontologen, die – wie etwa Russell/Norvig oder Sowa – mit ihrer Industrieforschung bei Google bzw. IBM tatsächlich AI-nah aufgestellt sind, steht das auch außer Frage: ihre TLO-Ansätze basieren auf einem exklusivistischen Vierdimensionalismus. Allerdings ist die Debatte hier unvermeidlich, indem dieses Missverständnis um den Dreidimensionalismus wesentlich das TLO-Inkommensurabilitätsproblem bedingt.

⁴⁴⁵⁹ Vgl. Whitehead (1925: 152).

Indem im Universum wie im AI-Processing Alles *Prozess* ist, beruht die Vorstellung von selbstidentischen ontologischen Entitäten auf einem kognitiven Irrtum. Mit Ontologie im Sinne metaphysischer Ontologie hat dieser kognitive Fehler jedoch nichts zu tun. Als Prozessontologie ist Ontologie gewiss nicht Sache statischer Momentaufnahme, womit 3D-Objekte für eine sachgerecht verstandene Ontologie letztlich inakzeptabel sind. Natürlich ist die Position von Marquardt et al. (2010) in keiner Weise haltbar und in Bezug auf chemische Transformationsprozesse auch nicht ungefährlich. Nicht umsonst plädieren Batres et al. (2005, 2007) genau in diesem Kontext vehement für den Vierdimensionalismus, indem ihnen klar ist, dass sich chemische Transformationsprozesse allein auf dieser Basis sachgerecht konzipieren lassen.

Ad (iii) ist festzustellen, dass eigentlich ursächlich für die 3D-Perspektive die Sprache ist, indem mit Wittgenstein (1921) die Grenzen der Sprache die Grenzen des Denkens (bzw. der Welt) bestimmen. In der Tat favorisieren die OLP-Vertreter, also jene, die dem normalsprachlichen resp. natürlichsprachlichen Zweig der Analytischen Philosophie angehören, klassischerweise eine 3D-Position. Der Grund, warum sie dies tun, ist vor allem ein linguistischer, was bereits unmittelbar an Strawsons (1959) deskriptiver Metaphysik selbst deutlich wird:⁴⁴⁶⁰ Strawson (1959: 56 f.) negiert die 4D-Sichtweise genau mit dem Argument, dass »a category of four-dimensional objects« bzw. eine »category of process-things« weder existiere noch notwendig sei. Denn in Form der 4D-Kategorie ließen sich Dinge weder identifizieren noch angemessen über sie reden:

»We do in fact distinguish between a thing and its history, or the phases of its history; we cannot appropriately speak of one in the ways appropriate to the other; and we do not speak of either in ways appropriate to the category of process-things.«⁴⁴⁶¹

Mit anderen Worten will man in der deskriptiven Metaphysik, die im Wesentlichen OLP-Sprachphilosophie ist, den metaphysischen Streit um den *Endurantismus* vs. *Perdurantismus*, der unmittelbar mit der Substanz- vs. Prozessmetaphysik zusammenhängt, tatsächlich über die Sprache entscheiden. Man will also allen Ernstes die fundamentalen Strukturen der Welt anhand alltagssprachlicher Gesichtspunkte klären. Doch in Wirklichkeit verstellt der linguistische OE-Ansatzpunkt mit seinen rein *linguistisch* motivierten metaphysischen Positionen den Zugang zur adäquaten Erfassung dieser fundamentalen Strukturen der Welt, womit unsere Kritik in Pkt. 3.3.2 nochmals zu bekräftigen ist. Dabei wurde bereits Jahre vor Strawson (1959) durch den Whitehead-Schüler N. Goodman (1951) unter dem bezeichnenden Titel *The Structure of Appearance* dargelegt, warum sich hinter jedem vermeintlichen 3D-Objekt als Erscheinung in Wirklichkeit eine 4D-Struktur verbirgt:

»[W]hen we consider the table at different moments, we are sometimes told that we must inquire what it is that persists through these temporally different cross sections. The simple answer is that, as with the leg and the top, the unity overlies rather than underlies the diverse elements: these cross sections, though they happen to be temporally rather than spatially less extensive than the whole

⁴⁴⁶⁰ Eine solche linguistisch motivierte 3D-Position findet sich ähnlich bei vielen anderen Ansätzen der Analytischen Philosophie und deren Vorläufern, etwa bei Chisholm, vgl. Pkt. 5.4.

⁴⁴⁶¹ Strawson (1959: 57).

object in question, nevertheless stand to it in the same relation of element to a larger totality. And as before, because these elements have certain characteristics and are related in certain ways, the totality they make up is what we call a thing, and more specifically a table.«⁴⁴⁶²

Dabei ist die 3D-Sichtweise der OLP-Positionen etwa Strawsons oder Chisholms im Kontext linguistischer Ontologie keineswegs zwingend, wie es die 4D-Perspektive Davidsons (1967, 1980) verdeutlicht, die in fundamentaler Hinsicht mit jener Whiteheads identisch ist und auf diesen zurückgeht. Auch lassen sich neben linguistischen *Common Sense-Ontologien* solche unterscheiden, die primär auf *disziplinäre Vereinfachungen* zielen. Hierzu gehört vor allem Hayes' (1979, 1985a, 1985b) *Naïve Physics*; dabei handelt es sich explizit um 4D-Ontologien. Auch diese bauen mit Hayes (1985b: 24) nicht nur im Whiteheadschen Sinne auf *Events* als »four-dimensional spatio-temporal entities« auf, sondern verweisen mit Hayes et al. (2002: 13) vielmehr auch *de facto* unmittelbar auf die Whiteheadsche Prozessmetaphysik, wenn Hayes konstatiert: »My [...] ontological view - my common-sense view - is more like a universe of Whiteheadian (Whitehead, 1929) processes than one filled with continuants«. Insgesamt ist nochmals darauf zu verweisen, dass die gegenwärtige Analytische Philosophie alles andere als einheitlich ist: Während etwa Van Inwagen eine 3D-Position vertritt, ist es ausgehend vom Whitehead-Schüler Quine bei D.K. Lewis, bei M. Heller, Seibt oder Sider vielmehr eine 4D-Position. Dabei verläuft dieser Trend einseitig zugunsten der 4D-Sichtweise.

In der Philosophie sind solche Irrtümer im Allgemeinen ohne folgenschwere Konsequenz, insbesondere wenn es sich um *armchair philosophy* handelt. In der AI-Ontologie der Informatik, die sich auf Computer als *Reality Machines* bezieht, sieht die Sache jedoch völlig anders aus; solche Positionen sind nicht nur völlig wirklichkeitsfremd, sondern in kausaler Hinsicht inakzeptabel, wenn es um Cyber-physische Systeme wie etwa um hochautomatisierte Produktionssysteme (CPPS) in der chemischen Prozessindustrie geht. Damit ist auch dem dritten, dem eigentlichen Argument für die 3D-Sichtweise der Boden entzogen. Natürlich lässt sich keine einzige metaphysische Position anhand sprachlicher Gesichtspunkte entscheiden. Diese für die Informatik potentiell folgenschweren Missverständnisse gehen mit den linguistischen *Common Sense-Ontologien* wesentlich auf zentrale Ideen der OLP-Tradition Moores zurück. Hier sei nochmals auf P.M.S. Hacker (1982a: 6 f.) verwiesen, der einräumt, dass das OLP-Schema im Grunde nichts mit der *techno-wissenschaftlichen realen Welt* zu tun habe, dass es sich um zwei ganz verschiedene Spielfelder handele. Das zentrale Problem besteht allerdings darin, dass diese "Spiele" in der AI-Ontologie vermischt werden, wenn wir uns von den klassischen "toy problems" abwenden und uns jenen Cyber-physischen Systeme als *Reality Machines* zuwenden. Es gibt dazu nur eine Alternative, und diese besteht im techno-wissenschaftlichen Ratio-Empirismus, wie ihn Whitehead vollzieht, indem dieser auf entsprechend relevanten erfahrungswissenschaftlichen Schlüsseltheorien wie in dieser Sache auf der Relativitätstheorie aufbaut.

⁴⁴⁶² N. Goodman (1951: 93 f.).

Was vor dem Hintergrund dieser Erkenntnis in der Ontologie der Informatik im Kontext der CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption notwendig wegbricht ist nicht wenig: Nimmt man die heute etablierten Sichtweisen, muss man letztlich feststellen, dass es um fast Alles geht. Denn nahezu alles Etablierte ist in der 3D-Perspektive bzw. in 3D+T konzipiert. Das gilt für CM-Ansätze für die konzeptuelle Modellierung genauso wie damit verbunden für die *Enterprise Architecture* (EA). Vor allem aber gilt es auch für die AI-Ontologie. Denn sowohl die Grubersche (1993, 1995) linguistische wie viele Common Sense-Ontologien sind endurantistische Konzeptionen. Analoges gilt für die am weitesten verbreiteten TLO-Ansätze, nämlich für BFO, BWW und DOLCE; zwar besitzen sie eine Ereignis- bzw. Prozessperspektive, jedoch ist diese mit Verweis auf Pkt. 5.7 auf einen Träger bezogen, und dieser ist im Zeichen der gegenständlichen "Furniture-Ontologie" immer eine "Substanz", ein "Objekt" oder ein "Ding". 3D-Ansätze wie die Bungesche Ontologie oder Smithens bi-kategoriale Ontologie scheitern an ihrem eigenen Anspruch, *Scientific Ontology* sein zu wollen. Was für BFO gilt, ist dabei auch für DOLCE zutreffend, indem auch sie im Trägersinne im Kern einen 3D-Ansatz verkörpert, womit sie beide als "3D+T" Ansätze richtig verstanden sind. D.h. der Perdurantismus dieser Ansätze ist kein Modus für sich, sondern vielmehr als prozessuale Dimension des Trägers zu sehen. Wissenschaftlich unhaltbar sind diese Ansätze insofern, als sie materielle Substanzen in diesem Trägersinne immer notwendig voraussetzen.

Indem mit Whitehead (1925: 70) gilt: »concrete fact is process« wird deutlich, dass auch gerade im Bereich der konzeptionellen Modellierung und ihrer TLO-Fundierung nichts bleiben kann wie bisher; vielmehr ist hier im perdurantistischen Sinne genauso ein radikales Umdenken erforderlich. Denn gängige *endurantistische* Paradigmen wie Chens (1976) *Entity-Relationship Model* (ERM) oder das durch Halpin (2001) und andere propagierte *Object-Role Modeling* (ORM) erweisen sich nicht mehr als haltbar, während andere Ansätze wie UML zu modifizieren sind.⁴⁴⁶³ Denn all diese Ansätze nehmen an, dass Objekte lediglich drei räumliche Dimensionen besitzen und dass sie in jedem Moment ihres Daseins vollständig existieren. Dass diese 3D-Perspektive nicht ausreichend ist, sondern um die zeitliche Komponente als eigenständige Dimension zwingend zu ergänzen ist, wird erkannt, indem seit längerem Anstrengungen zu beobachten sind, das Entity-Relationship- (ER) bzw. das Object-Oriented- (OO) Paradigma um eine zeitliche Semantik zu vervollständigen.⁴⁴⁶⁴ Darin besteht eine Grundvoraussetzung, wenn sich die konzeptuelle Modellierung auf Cyber-physische Systeme (CPS) bzw. Computer als *Reality Machines* erstrecken soll.

Kommen wir damit zu den 4D-Ansätzen, womit gleichzeitig festzustellen ist, dass der Widerstreit um den *Endurantismus vs. Perdurantismus* allein auf Basis der Klasse-4-Metaphysik auflösbar ist. Die 4D-Ansätze gehen wie erwähnt auf Whitehead und Russell zu-

⁴⁴⁶³ Vgl. hierzu Colomb/Ahmad (2010), Al-Debei et al. (2012) sowie Colomb (2013).

⁴⁴⁶⁴ Vgl. Hadzilacos/Tryfona (1997, 1998) bzw. Moro et al. (2001).

rück, indem sie im logico-mathematischen Zeichen des Automatenuniversums Leibnizens stehen, und bei Whiteheads Ratio-Empirismus in techno-wissenschaftlicher Hinsicht etwa durch die Relativitätstheorie oder in jüngerer Zeit auch durch die Nichtgleichgewichtsthermodynamik und ihre zeitliche Irreversibilität (Zeitpfeil) bzw. Prigogines *dissipative Systeme* untermauert werden. Johansson (2011: 101) bringt die obige zeittheoretische Debatte um den *Präsentismus vs. Eternalismus* in eine entsprechende Verbindung zur Entropie und dem Zeitpfeil. Wie bereits festgestellt, sind raumzeitliche Ereignisse heute in den modernen Wissenschaften, allen voran für die Physik, in ihren Erfahrungsräumen wie auch für die Komplexitätsforschung als solcher gesetzt. Dabei gibt es die Persistenz im Sinne von Ordnungsstrukturen dissipativer Systeme natürlich auch in der Prozessmetaphysik, was offensichtlich weder in der Debatte um die Metaphysik noch um die Top-level Ontologie bis heute richtig verstanden wird.

Der Kardinalfehler von Substanzontologen besteht im mangelnden Verständnis des Umstands, dass im exklusivistischen Vierdimensionalismus bzw. Perdurantismus sehr wohl das endurantistische Moment der Persistenz seinen Platz hat. Denn dieses besteht mit Whitehead in der Reproduktion der Strukturen: »[E]ndurance is the property of finding its pattern reproduced in the temporal parts of the total event«. ⁴⁴⁶⁵ Allein in dieser Auffassung kann die Synthese universaler Ontologie bestehen, wenn sie kompatibel mit allen regionalen Ontologien, insbesondere der wissenschaftlichen, zu sein hat.

Whitehead (1920: 173) stellt heraus, dass die vierdimensionale Raumzeit durch die Relativitätstheorie vorausgesetzt wird. Wesentlich ist nun mit Whitehead (1920), dass diese Raumzeit nicht ohne *dynamische* Entitäten denkbar ist. Anders gewendet sind dynamische Entitäten für eine relativistische Physik konstituierend, was entsprechende Implikationen für das Kategoriensystem bedeutet: Ereignisse sind zeitliche Ereignisse, Objekte sind in Ereignissen situiert, Prozesse sind für das Verständnis jeder Welt elementar. Allerdings ist die Ereigniskategorie in den einzelnen Ontologieansätzen alles andere als homogen, was nochmals deutlich macht, wie abwegig die Idee eines TLO-Mappings ist: Wie bereits in Pkt. 5.4 dargelegt, bilden Ereignisse bei Chisholm (1990) einen speziellen Typus abstrakter Sachverhalte, womit diese zeitlos konzipiert sind. Für Davidson (1980) bilden Ereignisse demgegenüber partikuläre Objekte, die als Elemente von Kausalbeziehungen verstanden werden. Für Quine repräsentieren Ereignisse partikuläre Objekte, die identisch mit Raum-Zeit-Zonen sind. Für Kim und Bennett bilden sie hingegen Exemplifikationen von – abstrakten resp. konkreten – Eigenschaften an einem Gegenstand zu einer bestimmten Zeit. Für Bunge (1977a) und Lombard (1986) sind sie Veränderungen an einem konkreten Objekt, während sie wiederum für Lewis (1986b) zeitliche Teile von konkreten Einzelgegenständen darstellen. Damit lässt sich schlussendlich unterscheiden: Ereignisse *sind Raum-Zeit-Zonen*, wie es etwa Brand (1976, 1977), Davidson (1980), Lemmon (1967) oder

⁴⁴⁶⁵ Vgl. Whitehead (1925: 152).

Quine (1985a) sehen,⁴⁴⁶⁶ oder aber Ereignisse *sind in Raum-Zeit-Zonen lokalisierte Eigenschaften*, was der Sichtweise von J. Bennett (1988, 1991), Kim (1976, 1991), Lewis (1986b) oder Lombard (1986) entspricht. Die dritte Alternative besteht in der oben genannten Chisholms (1990), bei der Ereignisse keine konkreten Entitäten, sondern einen speziellen Typus abstrakter Sachverhalte bilden.

Mit dem Rekurs auf Quine wird in der Informatik bereits für eine exklusivistische 4D-Ontologie, also für eine reine Prozessontologie, votiert. Es handelt sich bei Quine (1960a: 171) also um eine Ontologie, die prinzipiell substanzfrei ist. Es gibt einige 4D-Vertreter, die die Ansicht vertreten, dass sich Objekte *aus Ereignissen* aufbauen, bzw. dass "Dinge" tatsächlich "Ereignisse" sind; diese Sichtweise ist jene Whiteheads (1920, 1929a) und seiner akademischen Schüler wie Russell (1912, 1927a) oder Quine (1960a). Das muss mit Whitehead (1920) natürlich keineswegs bedeuten, dass es keine Objekte gibt. Natürlich gibt es sie auch hier, allerdings ist das klassische Objektverständnis zu revidieren. Objekte sind in der Tat nichts Statisches; dagegen spricht letztlich jeder sachgerechte erfahrungswissenschaftliche Standpunkt sowie jeder Emergentismus. Vielmehr bilden *Objekte* immer das *Resultat von Ereignissen* in Prozessen. Das ist bei natürlichen Dingen genauso der Fall wie bei Artefakten: Objekte sind nicht nur Produkte von Prozessen, sondern sie sind auch in sich prozessual, weil alles in der Welt *grundsätzlich* prozessual ist. Das schließt keineswegs aus, dass es Fortdauer bzw. Identität gibt. Nur ist nicht Fortdauer bzw. Identität das Grundlegende, sondern das Grundlegende können nur die Prozesse an sich sein. In jüngerer Zeit wird diese Auffassung, dass "Dinge" als "Ereignisse" aufzufassen sind, etwa durch Nolan (2011) vertreten. Andere 4D-Protagonisten betonen besonders, dass Ereignisse *und* Objekte als raum-zeitliche Entitäten zu erachten sind, etwa Goodman (1951), Noonan (1976) oder M. Heller (1990, 2000).

Dabei vertritt nicht nur Quine (1960a, 1970b) einen 4D-Ansatz, der konsequent auch Alltagssprache im 4D-Sinne auslegt,⁴⁴⁶⁷ sondern genauso bereits Carnap (1958):⁴⁴⁶⁸

»[...] [A] thing occupies a region in the four-dimensional space-time continuum. A given thing at a given instant of time is [...] a cross-section of the whole space-time region occupied by the thing. It is called a *slice* of the thing (or a thing-moment). We conceive a thing as the temporal series of its slices.«⁴⁴⁶⁹

Es lässt sich vor diesem Hintergrund festhalten, dass die Analytische Philosophie in der Debatte um den Endurantismus und Perdurantismus tief gespalten ist. Dabei nehmen die klassischen ILP-Vertreter, also jene, die sich entlang der mathematischen Logik und des

⁴⁴⁶⁶ Vgl. exemplarisch Lemmon (1967): "we may invoke a version of the identity of indiscernibles and identify events with space-time zones"; sowie Quine (1985a): "For physical objects are well individuated, being identical if and only if spatiotemporally coextensive".

⁴⁴⁶⁷ Vgl. etwa Quine (1970a: 8): »[T]he observation sentence 'It is raining' could be equated to the mass term 'rain'; and this term could be taken as naming the whole spatiotemporally discontinuous portion of the atmosphere that is occupied by rainfall«.

⁴⁴⁶⁸ Carnap (1958: 213 ff.) widmet sich an anderer Stelle den *Raumzeit-Regionen*, indem er auf Woodgers (1937) *Axiomatic Method in Biology* aufbaut, vgl. hierzu speziell Woodger (1937: 55-63) sowie den durch Alfred Tarski verfassten Anhang E in Woodger (1937: 161-172).

⁴⁴⁶⁹ Carnap (1958: 158), Hvh. des Orig.

Strukturalismus bewegen, im Allgemeinen eine 4D-Position ein. Diese Linie geht vor allem von Whitehead (1920, 1929a) aus und setzt sich über seine Schüler Russell, Quine und Goodman fort. Sie alle vertreten die 4D-Position, genauso wie Carnap.

Indem sich mit Gewissheit sagen lässt, dass jeder sachgerecht konzipierte TLO-Theorieanwärter diesen Widerstreit zu adressieren hat, ist impliziert, dass jede *Top-level Ontologie* letztlich im Kern *metaphysisch* verfasst ist. Der Grund für den Umstand, dass die TLO-Spezifizierung gar nicht gerade um diesen zentralen Widerstreit umhinkommen kann, ist ein einfacher: er bestimmt in zentraler Weise das TLO-Kategoriensystem, insbesondere die Verhältnisbestimmung von Objekten und Ereignissen. Mit der *zwingenden TLO-Referenz von Kernontologien* im Sinne von Heavyweight-Ontologien lässt sich genauso feststellen, dass jede sachgerecht konzipierte *Enterprise Ontology* (EO) diese Frage umfassend zu beantworten hat. Das ist vor allem deshalb der Fall, weil es gerade im EO-Kontext einerseits elementar um Prozesse, Lebenszyklen und Wandel, andererseits um die Persistenz produzierter Güter (Produkte) und schließlich im Systemganzen von Teil und Ganzem (CPS, CPPS, CPSS) wesentlich um Mereologie geht. Dabei geht es im produktzentrischen EO-Kontext etwa mit West (2003) um Fragen wie die ontologische Behandlung *aus-tauschbarer Teile*, die nur auf den ersten Blick unkompliziert zu lösen sind. Wie bereits festgestellt, sind alle bisherigen TLO-Ansätze regelmäßig spezifischen Zwecksetzungen verpflichtet; sie stehen auf unterschiedlichen philosophischen Grundlagen und votieren dabei mit der deskriptiven und revisionären Metaphysik auf zwei vollkommen anders gefasste Metaphysikverständnisse. In der folgenden Abb. 53 wird die jeweilig vertretene Position in Bezug auf den Endurantismus vs. Perdurantismus anhand der wichtigsten TLO-Ansätze ersichtlich:

6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien

TLO-Ansatz	3D/4D	Vertretene Position in Bezug auf <i>Endurantismus vs. Perdurantismus</i>
Chisholm	3D (+T)	Monokategorialer Endurantismus, aristotelischer <i>Common Sense-Realismus</i> .
SUMO	3D (+T)	Linguistischer Ansatz.
Cyc UCO	3D (+T)	Linguistischer Ansatz mit Fokus auf <i>Common Sense</i> .
Bunge/BWW	3D+T	Monokategorialer Endurantismus (materielle Dinge), <i>Scientific Materialism</i> .
BFO	3D+T	Bi-kategorialer Ansatz (Kontinuant [SNAP], Okkurrent [SPAN] als parallel gegebene Kategorien): im Sinne der <i>deskriptiven</i> Metaphysik gemeint: »You are three-dimensional; your life is four-dimensional. You persist in time by enduring; your life perdures«, ⁴⁴⁷⁰ jedoch mit dem gleichzeitig zugrunde gelegten <i>immanenten Realismus</i> letztlich unvereinbar, da es dann um <i>ontische</i> , nicht um epistemische Kategorien geht.
DOLCE	3D+T	Bi-kategorialer Ansatz (Endurant, Perdurant als parallel gegebene Kategorien).
UFO	3D+T	Verschiedene Module (Enduranten in UFO-A, "Perduranten" in UFO-B); allerdings stellt UFO-A explizit den UFO-Kern und UFO-B stellt explizit lediglich eine Ausbaustufe von UFO-A dar, ist also im neo-aristotelischen Sinne strikt auf UFO-A bezogen; ⁴⁴⁷¹ genauso wird explizit festgestellt, dass UFO einen <i>endurantistischen</i> Ansatz verkörpert. ⁴⁴⁷² Demnach gilt: wird UFO-B als " <i>Ontology of Perdurants</i> " bezeichnet, ⁴⁴⁷³ geht es nicht etwa um eine perdurantistische, d.h. 4D-Ontologie, sondern allein um eine Ontologie <i>sprachlicher Konstrukte</i> , die – analog zur BFO-TLO – 4D-bezogene Begrifflichkeiten ("life" usf.) zum Gegenstand hat, die auf <i>Enduranten</i> bezogen sind. Wichtig ist, dass es um <i>deskriptive</i> , nicht um revisionäre Metaphysik geht.
OCHRE	3D+T	Zwar ist offiziell die Rede von einem perdurantistischen Ansatz; tatsächlich aber handelt es sich insofern um eine "3D+T"-TLO, ⁴⁴⁷⁴ indem Enduranten (thin objects) in Prozessen partizipieren.
GFO	3D+T (alt) 4D (neu)	Anfangs explizit "3D+T", ⁴⁴⁷⁵ was eigentlich zutreffend ist; später ist jedoch die Rede von "4D" und Perdurantismus, ⁴⁴⁷⁶ der jedoch eine zusätzliche Berücksichtigung von 3D-Objekten erlauben soll.
YATO bzw. YAMATO	3D+T	Mizoguchi (2010) favorisiert einen "3.5D"-Ansatz.
Sowa (IBM)	4D	Metaphysischer Perdurantismus (revisionäre Metaphysik); Fokus auf Digitalmetaphysik; direkter Rekurs auf Whiteheads <i>Prozessmetaphysik</i> .
Russell/Norvig (Hayes)	4D	<i>Common Sense</i> Perdurantismus; via Hayes indirekter Rekurs auf Whiteheads <i>Prozessmetaphysik</i> .
BORO 4D Ontology	4D	Metaphysischer Perdurantismus (deskriptive Metaphysik); via explizitem Rekurs auf Quine als Schüler Whiteheads indirekter Rekurs auf Whiteheads <i>Prozessmetaphysik</i> .
CYPO	4D	Metaphysischer Perdurantismus (revisionäre Metaphysik); Fokus auf <i>Cyberphysischen Systemen</i> (CPS) und damit auf eine ratio-empirische, technowissenschaftliche <i>Klasse-4-Metaphysik</i> , die genauso Digitalmetaphysik ist; direkter Rekurs auf Whiteheads <i>Prozessmetaphysik</i> und einziger Ansatz, der diese mitsamt ihres <i>Vierdimensionalismus</i> in richtiger Weise auslegt.

Abb. 53:⁴⁴⁷⁷ Endurantismus vs. Perdurantismus von TLO-Ansätzen

Wenn B. Smith/Grenon (2004: 281) bzgl. der BFO-TLO feststellen, dass diese parallel über einen Dreidimensionalismus (SNAP) und einen Vierdimensionalismus (SPAN) als

⁴⁴⁷⁰ Vgl. Smith/Grenon (2004: 282).

⁴⁴⁷¹ Vgl. Guizzardi/Wagner (2004).

⁴⁴⁷² Vgl. Guizzardi (2005: 11 f.): »To put it in simple terms, we restrict ourselves here to *objects* [...]. In contrast, we do not elaborate on *processes* and *events*. To put it in philosophical terms, the foundational ontology developed here is an *ontology of Endurants (continuants)* not one of *Perdurants (occurrents)*«.

⁴⁴⁷³ Vgl. Guizzardi/Wagner (2010).

⁴⁴⁷⁴ Vgl. hierzu L. Schneider (2003c).

⁴⁴⁷⁵ Vgl. Herre/Heller (2006).

⁴⁴⁷⁶ Vgl. Herre (2015b).

⁴⁴⁷⁷ Quelle: eigene Darstellung.

ontologische Modi verfügt, bedarf es dazu einer Anmerkung: der Vierdimensionalismus ist dann nicht im Sinne des Perdurantismus zu verstehen, sondern vielmehr im Sinne eines "3D+T". D.h. BFO ist als "bi-kategoriale" Ontologie, von der Grenon (2003b) oder J. Simon (2004) sprechen, insofern konsistent, als es bei SPAN im neo-aristotelischen Sinne um die Prozesse eines Trägers geht, wie es bereits in Pkt. 5.2 deutlich wurde. Dieser Träger ist bei B. Smith (1997) explizit die aristotelische Substanz. J. Simon (2004: 60 f.) führt diesen "Bicategorialism" entsprechend richtigerweise auf Aristoteles zurück und bezeichnet ihn treffend alternativ als "non-reductionist three-dimensionalism", was dieser im Sinne von "3D+T" auch genau ist.

Etwas anderes ist es jedoch, wenn man gleichzeitig einen echten Endurantismus und einen echten Perdurantismus bzw. exklusivistischen Vierdimensionalismus vollziehen will. Entsprechend ist etwa bei der eklektischen UFO-TLO oder aber bei der YATO-TLO (YAMATO) der Fall anders gelagert, als es sich tatsächlich um eine Kombination der genuinen 3D+4D-Sichtweise handelt. In Bezug auf letzteren Ansatz stellt Mizoguchi (2010) diese Dualität heraus:

»YATO is said to be based on 3D view because it clearly distinguishes between endurants and perdurants, at the same time, however, it is said to be based on 4D because it accepts what exist in the world are occurrents rather than continuants. It is based on a solid understanding on what can change and what is an object at all. I could say YATO is 3.5D by which, I mean it is based on the idea of neither "objects prior to processes" nor "processes prior to objects", but "both are mutually dependent".⁴⁴⁷⁸«

Mit Brüntrup (2010), der genau auf einen solchen "3,5-Dimensionalismus" Bezug nimmt, ist allerdings die These, dass sowohl die 4D-Sicht als auch die 3D-Sicht wahr sind, zu bezweifeln. Dieser Umstand ist auch nicht dadurch zu umgehen, dass bei UFO zwischen Modulen getrennt wird; denn diese Module erfordern in ihrer Integration letztlich immer die *Top-level Ontologie* als "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*". Sie ist damit metaphysisch verankert, und diese Metaphysik steht schließlich im ratio-empirischen Sinne des "*general world view*" entweder unter dem Regime des Dreidimensionalismus oder des Vierdimensionalismus. Beides kann sie nicht sein, denn ansonsten wäre sie inkonsistent. Wenn 3D- und 4D-Theorien im elementaren Widerspruch zueinander stehen, kann auch nicht ontologisch gleichzeitig ein 3D- und ein 4D-Modus vertreten werden; denn diese sind mit Merricks (1995) inkompatibel. Entsprechend liegen auch Maojo et al. (2011) mit ihrer allgemeinen Kritik einer solchen Kombination, die sie im Kontext biomedizinischer Ontologie konstatieren, richtig. Dass darin für die biomedizinische Forschung offenbar eine problematische Grundlage besteht, wird mit Vogt et al. (2011) auch von anderer Seite festgestellt. Vor allem aber ist evident, dass die Persistenzbedingung bei 3D+T Ansätzen letztlich allein auf *linguistischen* Konventionen basiert, wie es mit Abb. 54 deutlich wird:

⁴⁴⁷⁸ Mizoguchi (2010: 8).

3D+T Ansatz	Persistenzbedingung
BFO	Linguistische Konvention: Persistenz über gesonderte <i>Kontinuanten</i> [SNAP] (Bi-kategorialer Ansatz).
DOLCE	Linguistische Konvention: Persistenz über gesonderte <i>Enduranten</i> (Bi-kategorialer Ansatz).
OCHRE	Linguistische Konvention Persistenz via <i>Thin Objects</i> bei Thick/Thin Differenzierung: »Thick objects have spatio-temporal bulk and undergo change. [...] Thin objects as the enduring cores of thick objects constitute the ultimate referential framework, the ontological backbone of reality.«. ⁴⁴⁷⁹
UFO	Linguistische Konvention: Persistenz über gesonderte <i>Enduranten</i> (UFO-A).

Abb. 54:⁴⁴⁸⁰ Persistenz als differierendes Merkmal von 3D+T *Top-level Ontologien*

Demgegenüber lässt sich die Problematik der endurantistischen bzw. Bi-kategorialen Ansätze erst richtig auf der Basis von *4D Metaphysiken* verstehen. Mit ihnen wird nicht nur die Inkohärenz solcher neo-aristotelischer Positionen deutlich, sondern auch die Abb. 55 zu entnehmende Tatsache, dass im Vierdimensionalismus genauso problemlos eine Persistenzbedingung gegeben werden kann:

4D-Ansatz	Persistenzbedingung
Whitehead	Revisionäre Metaphysik: logico-mathematischer Strukturalismus: Persistenz im Sinne der strukturalistischen Reproduktion von Ordnungsmustern: »[E]ndurance is the property of finding its pattern reproduced in the temporal parts of the total event.«. ⁴⁴⁸¹ Entsprechend grenzt Whitehead (1929a) auch " <i>enduring objects</i> " ab.
Lewis	Deskriptive Metaphysik: Stage View bei Modalem Realismus/Possibilismus »[S]omething <i>persists</i> iff, somehow or other, it exists at various times [...]. Something <i>perdures</i> iff it persists by having different temporal parts, or stages, at different times, though no one part of it is wholly present at more than one time; whereas it <i>endures</i> iff it persists by being wholly present at more than one time.«. ⁴⁴⁸²
M. Heller	Deskriptive Metaphysik: Materialismus, physikalischer Begründungsversuch »A four-dimensional object is the material content of a filled region of spacetime.«. ⁴⁴⁸³ »The identity of a conventional object - its persistence conditions and essential properties - is dependent upon the conventions we adopt.«. ⁴⁴⁸⁴ »Three-dimensional persisting objects would have a beginning in time and an end in time, a first moment of existence and a last. But no purely physical facts could be sufficient for these temporal boundaries rather than any other.«. ⁴⁴⁸⁵
Sider	Deskriptive Metaphysik: Stage View bei Aktualismus - Gegenstücktheorie (counterpart theory) von Lewis als Basis »[A]ssuming four-dimensionalism is true, counterpart-theoretic persistence is as good as it gets, and is thereby the best candidate, and is thereby true persistence.«. ⁴⁴⁸⁶

Abb. 55:⁴⁴⁸⁷ Persistenz als differierendes Merkmal von 4D *Metaphysiken*

Allerdings ist dabei die richtige Metaphysikkategorie zu wählen, die einzig in der Whiteheadschen Klasse-4-Metaphysik gegeben ist. Tatsächlich sind die metaphysischen Positionen des Vierdimensionalismus insofern nicht miteinander kompatibel, als die deskriptiven Positionen nicht ohne weiteres mit der revisionären Position von Whitehead vereinbar sind.

⁴⁴⁷⁹ Vgl. L. Schneider (2003a: 97).⁴⁴⁸⁰ Quelle: eigene Darstellung.⁴⁴⁸¹ Vgl. Whitehead (1925: 152).⁴⁴⁸² Vgl. D.K. Lewis (1986b: 202), Hvh. des Orig.⁴⁴⁸³ Vgl. M. Heller (1990: 10).⁴⁴⁸⁴ Vgl. M. Heller (1990: 48).⁴⁴⁸⁵ Vgl. M. Heller (1990: 52).⁴⁴⁸⁶ Vgl. Sider (2001: 196).⁴⁴⁸⁷ Quelle: eigene Darstellung.

Das in Pkt. 1.2 erörterte Inkommensurabilitätsproblem ist somit auch in Sachen *Endurantismus vs. Perdurantismus* in umfassender Weise gegeben. Entsprechend sind TLO-Ontologen, die mit Sanfilippo et al. (2014b) selbst in der Analytischen Philosophie bzw. deskriptiven Metaphysik zu Hause sind, schlecht beraten, wenn sie die Auseinandersetzung mit dem Vierdimensionalismus in der Analytischen Philosophie selbst suchen, weil sie damit in der problematischen Klasse-2-Metaphysik verharren. Aus der Tatsache, dass die Stadientheorie (Stage View) D.K. Lewis' (1986b) bzw. Siders (2001) für praktische Zwecke wie die Prozessmodellierung tatsächlich die falsche Wahl ist, sollte jedoch nicht der Fehlschluss gezogen werden, dass die DOLCE-TLO als 3D+T-Ansatz dem Vierdimensionalismus überlegen ist:

»In [...] [Sider's] ontological theory it is assumed that perdurants extend in time by having different temporal slices at different times. This would rule out BPMN tasks because, by extending in time, they *necessarily* have (temporal) proper parts, where 'necessity' is here used in the ontological sense, namely tasks have temporal parts in all possible worlds. According to this perspective, a task like *Request Quotes* is necessarily *anti-atomic* and *anti-homeomeric*, i.e., all its instances have parts that do not belong to *Request Quotes*. The anti-homeomericity is evident for BPMN sub-processes, whose structure is explicitly included in the BPMN-model. However, it might be suggested that BPMN models the world at some *granularity*, in the sense that tasks are *considered to be atomic* in the context of the model even though they have temporal parts in the actual world.«⁴⁴⁸⁸

Man sollte nicht den Fehler begehen und den Perdurantismus mit dem Exdurantismus Siders (2001) verwechseln. Auf Basis alternativer 4D-Ansätze wie der GFO-TLO stellen sich die Sachverhalte anders dar. Solche 4D-Ansätze arbeiten mit Prozessgrenzen (Process Boundaries) und lehnen den *Stage View* von D.K. Lewis (1986b) bzw. Sider (2001) gerade explizit ab. Bei Whitehead (1929a) zeigen sich *Ereignisse* ebenfalls eingegrenzt, indem *aktuale Welten*, die im UoD-Sinne modellierbar sind, als *nexus* abgegrenzt werden: »An actual world is a nexus; and the actual world of one actual entity sinks to the level of a subordinate nexus in actual worlds beyond that actual entity«.⁴⁴⁸⁹ Indem jede *Top-level Ontologie* eine *metaphysische* Basis besitzt, setzen sich damit auch die Unterschiede in den Persistenzbedingungen fort, wie es in Abb. 56 ersichtlich wird:

⁴⁴⁸⁸ Sanfilippo et al. (2014b: 4), Hvh. des Orig.; vgl. ähnlich Sanfilippo et al. (2014a).

⁴⁴⁸⁹ Vgl. Whitehead (1929a: 28).

4D-Ansatz	Persistenzbedingung
Sowa	Logico-mathematische Persistenzaxiome im Whiteheadschen Sinne der Reproduktion von Variablenausprägungen. ⁴⁴⁹⁰ - kompatibel mit exklusivistischen Vierdimensionalismus - an sich richtige logico-mathematische Orientierung für AI-Disziplin - metaphysischer Logizismus bedarf im Detail der Korrektur (Ratio-Empirismus usf.)
Russell/ Norvig	Logico-mathematische Persistenzaxiome im Whiteheadschen Sinne der Reproduktion von Variablenausprägungen; darüber hinaus Gebrauch <i>persistenter Variablen</i> . ⁴⁴⁹¹ - kompatibel mit exklusivistischen Vierdimensionalismus - keine echter metaphysischer Logizismus; nur indirekt abgeleitet von Prozessmetaphysik
BORO 4D-Ontology	»[W]hat distinguishes changes from things are that things persist through time; whereas, changes do not, they happen«. ⁴⁴⁹² »While event and states are both time-slices, unlike states, events do not persist through time. They have zero thickness along the time dimension, because they only occupy an instant in time. This gives us a very neat distinction between physical bodies and physical events. Physical bodies persist through time; whereas, physical events do not. This makes bodies four-dimensional and events three-dimensional, but three-dimensional in a four-dimensional world«. ⁴⁴⁹³ - inkompatibel mit exklusivistischen Vierdimensionalismus - dass auch "events" Zeit im Sinne <i>zeitlicher Teile</i> zu beanspruchen vermögen, steht selbst für Dreidimensionalisten wie Wiggins (1980: 25, Fn. 12) außer Frage
GFO-neu	- Perdurantismus, erlaubt jedoch zusätzliche Berücksichtigung von 3D-Objekten im Sinne eines zusätzlichen epistemischen Modus: »Continuants are creations of the mind, and possess, according to GFO, not the same level of objectivity as processes and presentials«. ⁴⁴⁹⁴ »Spatio-temporal individuals are classified into continuants, presentials and processes. <i>Continuants</i> persist through time and have a lifetime; they correspond to ordinary objects, as cars, balls, trees, etc. [...] Continuants [C] are individuals which may change [...]. [A]t every time point t [...] C exhibits a snapshot C(t); these snapshots differ with respect to their properties. [...] The entities C(t) are individuals of their own, called <i>presentials</i> ; they are wholly present at a particular time-point, being a time-boundary. Presentials cannot change, because any change needs an extended time interval or two coinciding time-boundaries. <i>Processes</i> are temporally extended entities that happen in time, for example, a run; they can never be wholly present at a time-point. Processes have temporal parts, being themselves processes. If a process P is temporally restricted to a time-point, then it yields a presential M, which is called a process boundary of P«. ⁴⁴⁹⁵ - Abgrenzung von Prozessen via <i>Process Boundaries</i> - Ablehnung der metaphysischen Position von Lewis - Ablehnung der metaphysischen Position von Sider - inkompatibel mit exklusivistischen Vierdimensionalismus - inkompatibel mit Whiteheadschen Kontinuanten bzw. Objekten

Abb. 56:⁴⁴⁹⁶ Persistenz als differierendes Merkmal von 4D *Top-level Ontologien*

Zu dieser theoretisch-metaphysischen Erörterung lässt sich abschließend feststellen, dass *Cyber-physische Systeme* (CPS) auch bezüglich der alten Streitfrage der Persistenzbedingungen einigen Aufschluss bieten können. Indem sich jedes *IoX-Computing* physisch wie kausal "in der Welt" bzw. als "Teil" der realen Welt vollzieht, wird mit ihm ein neues Programmierparadigma erforderlich: mit dem *IoX-Computing* ist ein *Space-Time Programming* impliziert.⁴⁴⁹⁷ Im 4D-Sinne geht es damit um *Computational Space-Time* (CST),

⁴⁴⁹⁰ Vgl. Sowa (2000: 142 f.).⁴⁴⁹¹ Vgl. dazu Russell/Norvig (2010: 1061).⁴⁴⁹² Vgl. Partridge (1996: 59).⁴⁴⁹³ Vgl. Partridge (1996: 232).⁴⁴⁹⁴ Vgl. Herre (2015b: 337).⁴⁴⁹⁵ Vgl. Herre (2015b: 341).⁴⁴⁹⁶ Quelle: eigene Darstellung.⁴⁴⁹⁷ Vgl. hierzu Beal/Viroli (2015).

worauf offenbar bei einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption auch die *Top-level Ontologie* in elementarer Weise abzustellen hat. Vor diesem Hintergrund ist die Persistenzbedingung dann richtig verstanden, wenn sie strukturalistisch konzipiert wird. Das setzt wie im Fall der TLO-Ansätze von Sowa (2000) und Russell/Norvig (2010) logico-mathematische Persistenzaxiome voraus, die auf die Reproduktion von Variablenausprägungen hinauslaufen. Dabei lässt sich die Persistenzfrage am einfachsten anhand der Whitehead-Quineschen Pixeltheorie illustrieren, indem sich in Cyberwelten *Event Streams* simulieren lassen, in denen Objekte selbstidentisch bleiben. Das geschieht dann dadurch, dass ihr Ordnungsmuster auf der Basis von Pixeln in zeitlichen Folgesequenzen vollständig reproduziert wird. Und das entspricht, wie ausgeführt, genau dem Whiteheadschen Endurantismus: »[E]ndurance is the property of finding its pattern reproduced in the temporal parts of the total event«. ⁴⁴⁹⁸ Insofern sind auch Prozesse und Objekte auf Basis des gleichen metaphysischen Ansatzes einheitlich adressierbar. Entsprechend kann mit Bailey (2011: 337 f.) gelten: »The 4D approach provides a single, consistent approach to time that covers all the bases a data modeller would ever need«. Offensichtlich braucht es also keiner Kunstgriffe, wie sie bei der *GFO-neu* unternommen werden. Vielmehr wird diese letztlich gerade damit für die Zwecke der Informatik unbrauchbar.

Während alle theoretischen Gesichtspunkte bzw. die metaphysische Diskussion eindeutig für einen exklusivistischen Vierdimensionalismus sprechen, sei im Folgenden gezeigt, dass auch sämtliche praktischen Aspekte für diesen votieren. Im Grunde sind diese praktischen Aspekte mindestens genauso wichtig wie der metaphysische Zusammenhang, indem jeder TLO-Ansatz als oberste ontologische Referenzebene gerade darauf zielen muss, sich im Kontext praktischer Anwendung zu bewähren. Auch in dieser Sache lässt sich dabei auf das *U-PLM-Referenzszenario* zurückgreifen. Dazu lassen sich zunächst zwanzig *U-PLM-relevante* praktische Argumente zum generellen Vorzug des exklusivistischen Vierdimensionalismus anführen, die dabei auf die CPSS/SEA-Adäquanz der Ontologie abstellen. Anschließend wird anhand von fünf U-PLM-relevanten Industrieanforderungen gezeigt, dass auch die industriellen Einsatzkontexte im Zeichen der *TLO-EO-Verkopplung* auf den Vierdimensionalismus hinauslaufen. Kommen wir zunächst auf die zwanzig praktischen Argumente zu sprechen:

1. *Ereigniszentrismus*: Sind mit den *Event Streams* Cyber-physischer Systeme (CPS) Ereignisse, nicht Objekte als primär zu erachten, ist damit eine exklusivistische 4D-Position insofern impliziert, als Ereignisse allein als *4D-Ereignisse* sachgerecht konzipiert sind. Diese Position gilt dabei für die Informatik im Sinne des *Information Processing* allgemein. U-PLM-Systeme setzen mit ihrer ED-SOA-Basis auf der *primären Ereigniskategorie* auf, und diese ist genauso für alle nachfolgenden Punkte zu fordern.

⁴⁴⁹⁸ Vgl. Whitehead (1925: 152).

2. *Transformationsprozess*: nicht nur in der chemischen Prozessindustrie, sondern allgemein geht es bei U-PLM-Systemen wie in der Smart Factory um Transformationsprozesse, die es im Zeichen der *TLO-EO-Verkopplung* erforderlich machen, Ereignisse und Objekte im perdurantistischen Sinne zu modellieren. Die Unabdingbarkeit, konzeptuelle und semantische Modelle auf eine vierdimensionale Grundlage zu stellen, besteht dabei indessen nicht allein im CPS-Kontext, sondern betrifft den ganzen EO-Zusammenhang.
3. *Lebenszyklusorientierung (ISO 15926)*: Wie im Rahmen des PPR-Frameworks in Pkt. 2.5.2 herausgestellt, stellen *U-PLM-Informationsmodelle* sowohl für Zwecke der Lebenszyklusorientierung als auch für PPR-Steuerungszwecke 4D-Modelle dar, die ein raumzeitliches Objektverständnis implizieren.⁴⁴⁹⁹ Dieses Erfordernis wird insbesondere durch die BORO-TLO vorausgesetzt,⁴⁵⁰⁰ wobei sie die Entwicklung des ISO 15926 Standard wesentlich beeinflusst hat.⁴⁵⁰¹ Tatsächlich müssen U-PLM-Systeme als emergentische Lebenszyklussysteme der Dynamik von Objekten im Lebenszyklus Rechnung tragen. Die gerade auch für das *U-PLM-Referenzszenario* überaus relevante ISO 15926 läuft also auf ein *4D Lifecycle Data Model* hinaus,⁴⁵⁰² das ebenso SCM-Relevanz besitzt. Von Xiao et al. (2010) stammt das *Product Lifecycle Information Model* (PLIM) als 4D-Modell, auf dessen Basis Jun/Kiritsis (2012) das PPR-Framework in dem Sinne modifizieren, dass es sich um ein 4D-Framework handelt, das sich in der raumzeitlichen Variante in Gestalt des PPRLT (Product, Process, Resource, Location, and Time) wiederfindet. Dabei steht außer Frage, dass sich solche 4D-Informationsmodelle im Bereich der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* durchsetzen werden.⁴⁵⁰³ Wenn das PLM- bzw. SCM-Informationsmodell als 4D-Modell konzipiert ist, folgt mit der zentralen Stellung dieser Systeme für das CPS basierte *Smart Enterprise* bzw. die CPPS-basierte *Smart Factory*, dass sich die gesamte *Smart Enterprise Integration* auf Basis von 4D-Informationsmodellen zu vollziehen hat. Das besitzt wiederum maßgebliche Konsequenz für die in Pkt. 3.2.2 behandelte TLO-referenzierende konzeptuelle Modellierung, womit nicht nur die AI-Ontologie, sondern auch die CM-Ontologie auf einen *4D-TLO-Ansatz* referenzieren muss.⁴⁵⁰⁴ Mit Gershenfeld (2000a) ist ferner festzustellen, dass die Lebenszyklusorientierung für IoX-Systeme generell vorauszusetzen ist.⁴⁵⁰⁵
4. *CAW-/SAW-Anforderung*: Kontexte bzw. Situationen lassen sich nur *raumzeitlich* richtig erfassen; sie haben damit universal auf der Basis von Ereignissen zu stehen.

⁴⁴⁹⁹ Vgl. etwa Gruhier et al. (2014).

⁴⁵⁰⁰ Vgl. Partridge (1996) sowie Stell/West (2004).

⁴⁵⁰¹ Vgl. De Cesare et al. (2013: 307).

⁴⁵⁰² Vgl. hierzu auch die Kritik von B. Smith (2006b) an der ISO 15926 sowie die Antwort von West (2006).

⁴⁵⁰³ Vgl. hierzu etwa Kärkkäinen et al. (2012) sowie Sonzini et al. (2013).

⁴⁵⁰⁴ Vgl. hierzu auch Al-Debei et al. (2012).

⁴⁵⁰⁵ Vgl. Gershenfeld (2000a: 934): »Scalable design for systems of billions of things must include the ultimate consequence of merging bits and atoms: lifelike attributes. [...] These are familiar characteristics of living systems, but not yet matters of engineering design«.

5. *CPS-/CPPS-Anforderung*: Alle CPS-, CPPS-, CPSS-, oder CPLS-Prozesse sind *4D-Prozesse* insofern, als für sie im Kontext komplexer IoX-Systeme eine *raumzeitliche* Lokalisierung zwingend wird (z.B. Überwachung von Logistikflüssen mittels Sensoren bzw. *GPS Tracking 4D*). Demgemäß besitzen CPS bzw. CPPS als Ressourcen zeitliche Teile. Eine Assoziierung mit dem in dieser Sache oftmals bemühten *Theseus-Paradoxon* muss insofern zulässig erscheinen,⁴⁵⁰⁶ als auch CPPS-Produktionssysteme einem stetigen Austausch von Einzelteilen unterliegen, während ihre Identität dennoch erhalten bleibt. Analoges gilt für spezifische PEID-basierte Investitionsgüter (CPS). Demgegenüber besteht die Parallele bzgl. des CPSS-Kontexts vor allem im Gedanken *perennierender Sozialgebilde*, indem diese ebenfalls zeitliche Teile besitzen.
6. *PEID-/GIS-Erfordernis*: Mit Pkt. 3.3.2 inkorporiert jede CPSS-adäquate Ontologie zentrale Überlegungen von GIS-Ontologien insofern, als für sie raumzeitliche Regionen von zentralem Belang sind. Wie dort erwähnt, konstatieren Bennett/Galton (2004) im Ausblick ihrer *Versatile Event Logic* (VEL): »It would [...] be useful to establish the relationship of the VEL semantics to ontologies based on *four-dimensional* spatio-temporal regions«. ⁴⁵⁰⁷ Indem eine *universale* CPSS-adäquate Ontologie zwingend auf die GIS-Aspekte abzustellen hat, ist sie auch als *perdurantistischer 4D-Ansatz* zu konzipieren. Tatsächlich sind moderne GIS-Ontologien in genau dieser Weise beschaffen.⁴⁵⁰⁸ Auf solchen GIS-Ansätzen lässt sich dabei insofern unmittelbar aufbauen, als sie ebenfalls auf SWT-Basis konzipiert sind.⁴⁵⁰⁹
7. *Smart Objects – SPIME*: Sterling (2005) spezifiziert mit dem Neologismus *SPIME* eine spezielle Kategorie raumzeitlicher intelligenter Objekte, die in der Lage sind ihre Umgebung wahrzunehmen und reale Ereignisse über ihren gesamten Lebenszyklus zu memorieren. Solche *Smart Objects* besitzen eine *Trajektorie*, also einen raumzeitlichen Entwicklungspfad resp. eine Flugbahn.⁴⁵¹⁰ Entsprechend gilt auch hier im Lebenszyklussinne: »SPIMES begin and end as data«. ⁴⁵¹¹
8. *Ubiquitous Computing*: Auch in der *crowdsourced Sensor-Cloud* bzw. im Kontext von *crowdsourced sensor data* sind raumzeitliche Aspekte von unmittelbarer Rele-

⁴⁵⁰⁶ Vgl. hierzu Chisholm (1976a: 89 ff.).

⁴⁵⁰⁷ Vgl. Bennett/Galton (2004: 47), Hvh. des Verf.

⁴⁵⁰⁸ Vgl. etwa K. Iwamura et al. (2011) sowie Harbelot et al. (2013a, 2014).

⁴⁵⁰⁹ Vgl. hierzu speziell Harbelot et al. (2013b).

⁴⁵¹⁰ Vgl. Sterling (2005: 77): »The key to the SPIME is identity. A SPIME is, by definition, the protagonist of a documented process. It is an historical entity with an accessible, precise trajectory through space and time«. Somit gilt auch in IoX-Kontexten mit Quine (1981: 102): »There is no entity without identity«, was für *Smart Objects* mit Sterling (2005: 77) impliziert: »A SPIME must therefore be a thing with a name«; anders gewendet gilt mit Greenfield (2006: 129, Fn.): »Each ThingLink is technically a valid Uniform Resource Identifier, albeit one refined down to the "scheme" and "path" semantic elements«, ohne Hvh. des Orig. Indem die gängigste Form des *Uniform Resource Identifier* (URI) in IoX-Kontexten im *Uniform Resource Locator* (URL) besteht, schließt sich unmittelbar die IPv6-Diskussion unter Fn. 789 an.

⁴⁵¹¹ Vgl. Sterling (2005: 11).

vanz,⁴⁵¹² womit sie für das *Ubiquitous Computing* als Basis von *Closed-loop U-PLM-Systemen* voraussetzen sind. Im *Semantic Sensor Web* bewegt sich die Semantik von Sensoren nicht nur an sich in Raumzeit und den jeweils relevanten Sachverhalten.⁴⁵¹³ Vielmehr verlangen IoX-bezogene Abfragen eine Semantik, die eine Erfassung der Sachverhalte in Raumzeit eröffnet. Analoges gilt für *Real-Time Search Engines* für das *Web of Things*,⁴⁵¹⁴ indem es nicht nur um die semantische Suche nach vernetzten Objekten geht, sondern gerade auch um ihre raumzeitliche Trajektorie: In IoT-Kontexten unterliegen Daten prinzipiell einer *raumzeitlichen Korrelation*,⁴⁵¹⁵ womit es auch in dieser Sache um *4D-Datenmodelle* gehen muss.

9. *Agentenarchitektur*: Eine CPSS-adäquate Ontologie läuft im Bereich *Robotics and Automation* (R&A) insofern letztlich auf eine hybride Agentenarchitektur hinaus, als weder die deliberative noch die reaktive Methodik für sich allein ausreichend erscheinen kann. Haugelands (1985) GOFAI-Argument basiert dabei im Grunde auf zwei Aspekten, die sich in der klassisch deskriptiven Metaphysik stellen, jedoch nicht in der revisionären Metaphysik Whiteheads: das ist zum einen das Argument des Konnektionismus, der die wechselseitige Vernetzung der Objekte betrifft, zum anderen das Argument des *Dreidimensionalismus* des Symbolismus.⁴⁵¹⁶ Entsprechend schlagen hybride Lösungsansätze vor, sich nicht an die klassisch statische GOFAI-Ontologie des Symbolismus zu halten als vielmehr die Lösung im Sinne Whiteheads in einer auf die prozessuale Welt abstellenden *Ontologie der Physik* zu suchen.⁴⁵¹⁷ Auch damit ist der *Vierdimensionalismus* impliziert. Denn *Echtzeit-CPS-Steuerungssysteme* (RCS) basieren im Sinne des *PEID-/GIS-Erfordernis* auf dem *Vierdimensionalismus*.⁴⁵¹⁸ Schlenoff et al. (2006) übertragen das 4D/RCS-Modell auf die KR-Sphäre und machen darin eine universale, integrierende KR-Architektur aus. – Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* hat im Sinne einer CPSS-adäquaten Ontologie alle CPS-Zwecke *universal* zu berücksichtigen, d.h. jene von PEID-Technologien genauso wie jene in CPPS- bzw. CPLS-Kontexten. Bzgl. des Streits um *3D- vs. 4D* müssen in hybriden Agentenarchitekturen das deliberative wie das reaktive Moment auf dem gleichen Paradigma aufbauen. Da für den reaktiven Part die *exklusivistische* 4D-Perspektive zwingend ist, folgt daraus, dass sie für den deliberativen KR-Part ebenso zwingend wird.
10. *CAS-Erfordernis*: Mit Pkt. 1.5.1 stellen U-PLM-Systeme in ihrer CPS-Eigenart bzw. konkreter in Form von CPPS, CPLS oder CPSS *komplexe Systeme* dar. Mit Pkt. 4.3 ist deutlich geworden, dass dabei *agentenbasierte CAS* im Vordergrund

⁴⁵¹² Vgl. Ghari Neiat et al. (2015).

⁴⁵¹³ Vgl. Sheth et al. (2008).

⁴⁵¹⁴ Vgl. hierzu Christophe et al. (2011b); vgl. hierzu ergänzend Ostermaier et al. (2010).

⁴⁵¹⁵ Vgl. auch D.-Q. Liu (2015: 103); vgl. ferner Ning et al. (2012) sowie ergänzend Andrienko et al. (2010).

⁴⁵¹⁶ Vgl. hierzu auch Brooks (1981, 1991b).

⁴⁵¹⁷ Vgl. etwa Hallam (1995: v).

⁴⁵¹⁸ Vgl. exemplarisch Albus et al. (2002).

stehen. CAS sind topologisch als Netzwerkstrukturen zu interpretieren; diese erweisen sich dann als richtig analysierbar, steuerbar oder optimierbar, wenn sie als raumzeitliche *4D-Strukturen* konzipiert sind.

11. *MAS-Erfordernis*: MAS-Ontologien müssen aus dem Grunde ein 4D-Modell repräsentieren, als der MAS-Ansatz nicht nur den CAS-Gedanken impliziert, sondern bei der Interaktion raumzeitlich verteilter Agenten in Netzwerkstrukturen auch die Geodaten von Bewandnis sind.
12. *CEP-/SCEP-Anforderung*: IoX-Systeme bilden *Distributed Event-Based Systems* (DEBS), deren *IoX-Monitoring* auf Basis physischer bzw. virtueller Sensornetzwerke zur Observation realer bzw. virtueller Welten vollzogen wird. Ein *Spatiotemporal Event Processing* ist unter GIS-Gesichtspunkten dann richtig konzipiert,^{4519, 4520} wenn sich dieses auf den Perdurantismus bezieht.⁴⁵²¹ Dies ist bei der TLO-Referenz im SCEP-Ansatz wesentlich zu berücksichtigen.
13. *Mustererkennung (Pattern Recognition)*: Nicht nur im CEP-Ansatz geht es im *Event Stream Processing* (ESP) um *ereigniszentrierte, 4D-basierte Mustererkennung* (Event Pattern Recognition).⁴⁵²² Vielmehr spielt diese auch für PEID-Anwendungen insofern eine Rolle, als bestimmte PEIDs auf kognitiver Robotik basieren. Für diese ist eine *ereigniszentrierte, 4D-basierte Mustererkennung* genauso elementar.⁴⁵²³ Analoges gilt im Zuge der semantischen Interpretation von Bilddaten im Rahmen der *Semantic Flow Segmentation*, die im Zuge einer zeitabhängigen Flussvisualisierung ebenso 4D-basiert ist.⁴⁵²⁴
14. *ED-BPM Erfordernis*: Moderne BPM-Ansätze werden als 4D-Ansätze konzipiert,⁴⁵²⁵ das wird insbesondere auch mit Blick auf die inzwischen gängige Kombination von BPM- und CEP-Ansätzen erforderlich (ED-BPM). Gleiches gilt für das damit verbundene IoT-BPM als solches.
15. *EA-Erfordernis*: Moderne EA-Frameworks wie das TLO-basierte *Department of Defense Architecture Framework* (DoDAF) werden bereits als *4D-Frameworks* konzipiert.⁴⁵²⁶ Dabei ist Konsistenz zu den Prozessmodellen zu wahren, wobei DoDAF die semantischen Primitive bzw. atomaren Prädikate auf die BPMN-Notation bezieht.⁴⁵²⁷ Wenn die semantischen Primitive in DoDAF-Prozessmodellen auf

⁴⁵¹⁹ Vgl. Etzion/Zolotorvesky (2010).

⁴⁵²⁰ Wenn Etzion/Zolotorvesky (2010: 93) ihren *raumzeitlichen* CEP-Ansatz in dieser Sache in der Nähe des "SPAN"-Modus der BFO-TLO verorten, scheinen sie den Unterschied zwischen 3D+T und 4D misszuverstehen.

⁴⁵²¹ Vgl. K. Moody et al. (2010: 119 f.); vgl. hierzu im Einzelnen Römer/Mattern (2004, 2005).

⁴⁵²² Vgl. etwa P. Gay et al. (2011) sowie P.C. Brown (2014).

⁴⁵²³ Vgl. etwa Kanade/Narayanan (2006, 2007). Demgegenüber bauen ältere Ansätze noch auf 3D-Konzepte, vgl. etwa Brooks/Lozano-Pérez (1985) oder Rander et al. (1997); diese wechseln jedoch entweder auf die 4D-Basis oder halten es für wünschenswert, vgl. etwa Brooks/Lozano-Pérez (1985: 233).

⁴⁵²⁴ Vgl. etwa Matkovic et al. (2011).

⁴⁵²⁵ Vgl. hierzu Poletaeva et al. (2014).

⁴⁵²⁶ Vgl. USDOD (2009b: 27).

⁴⁵²⁷ Vgl. USDOD (2009a, 2009b).

BPMN-Primitive abstellen, ist konsequenterweise auch die Frage der TLO-Referenz der BPMN-Notation bzw. der BPMN-Prozessmodelle in den Kontext des Vierdimensionalismus zu stellen. Das konterkariert die in dieser Sache vertretene Position Penicinas (2013), wonach gerade in der BWV-TLO die sachgerechte TLO-Referenzbasis für BPMN bestehen soll. Als endurantistischer Ansatz ist die BWV-TLO vielmehr als Bezugsbasis für alle IoX-, CPSS- und SEA-Zwecke ungeeignet.

16. *EM-/EO-Erfordernis*: Auch der im CM-Kontext stehende EM-Aspekt,⁴⁵²⁸ sowie darüber hinaus der im damit verbundenen AI-Kontext stehende EO-Aspekt weisen deutlich in Richtung des Vierdimensionalismus.⁴⁵²⁹ Al-Debei et al. (2012) fordern eine perdurantistische *Top-level Ontologie* für die CM-Sphäre, indem sich der Widerstreit der Positionen unmittelbar auf die *konzeptuelle Modellierung* resp. einzelne Modellierungssprachen und damit auf die CM-Ontologie bezieht. Auch kritisieren sie zu Recht, dass dieser Widerstreit in der Auswahl von CM-Modellierungsansätzen bisher kaum eine Rolle spielt, während er offenbar *de facto* von elementarer Natur ist. In der Prozessmodellierung greifen etwa Sanfilippo et al. (2014a, 2014b) die Debatte um den Perdurantismus im Kontext der BPMN-Notation auf, wenn auch – in Fixierung auf Siders (2001) Stadientheorie – mit falschen Schlussfolgerungen. Denn damit verwechseln sie den *Perdurantismus* mit dem *Exdurantismus* Siders (2001). Indem raumzeitliche Aspekte bei GIS bzw. LPS seit längerem modelliert werden,⁴⁵³⁰ liegt es nahe, die aus dem Erfordernis einer CPSS-adäquaten Ontologie resultierende notwendige Revision der konzeptuellen Modellierung an der bestehenden GIS-Praxis zu orientieren.⁴⁵³¹
17. *Simulationsmethode*: Hinsichtlich der Modellierung und Simulation geht es bei der Ontologiefrage um drei Facetten: erstens um das Wechselspiel von konzeptuellen Modellen und Ontologien.⁴⁵³² Zweitens um Ontologien zur Simulationsintegration bei verteilten Simulationsansätzen, um verschiedene Einzelsimulationen zu einem in sich schlüssigen Ganzen zu integrieren.⁴⁵³³ Dies vollzieht sich zunehmend unter Einsatz semantischer Webtechnologien.⁴⁵³⁴ Drittens bauen moderne MAS-basierende Simulationsverfahren ebenfalls auf Ontologien auf.⁴⁵³⁵ Für alle drei Facetten erweisen sich *Top-level Ontologien* als elementar.⁴⁵³⁶ Damit ist auch in dieser Sache

⁴⁵²⁸ Vgl. etwa Al-Debei et al. (2012).

⁴⁵²⁹ Vgl. etwa Verdonck/Gailly/Poels (2014).

⁴⁵³⁰ Vgl. etwa Worboys (1994), E. Allen et al. (1995) sowie W. Xu et al. (2006).

⁴⁵³¹ Eine solche Orientierung bieten etwa Erwig et al. (1999) sowie Parent et al. (1999).

⁴⁵³² Vgl. etwa Turnitsa et al. (2010).

⁴⁵³³ Vgl. P.C. Benjamin et al. (2006).

⁴⁵³⁴ Vgl. Fishwick/Miller (2004) sowie J. Miller et al. (2008); anfangs wurde dies noch ohne Ontologien versucht, vgl. etwa Fishwick (1996).

⁴⁵³⁵ Vgl. Gutiérrez-Casorrán et al. (2001), J.-P. Müller (2007), Bandini et al. (2009) sowie Warden et al. (2010).

⁴⁵³⁶ Vgl. J. Miller et al. (2004, 2008), Livet et al. (2010) sowie Porzel/Warden (2010).

die 4D-Frage hinsichtlich der Modellierung und Simulation und ihrer Zeitabhängigkeit aufzugreifen.

18. *Claytronics (4D-Hyperforms), 4D-Printing, 4D-CAD*: In Pkt. 1.5.1 wurde dargelegt, dass die Ontologie der Informatik gerade auch auf die synthetische Realität der Claytronics von S.C. Goldstein et al. zielen muss; dann muss sie deren *4D-Hyperforms* behandeln können, die wiederum ereigniszentrische 4D-Entitäten im Whiteheadschen Sinne darstellen. Auch wenn diese Entitäten am Ende physisch realisiert sind, geht es nicht um aristotelische 3D-Objekte des Hylemorphismus, sondern vielmehr im platonistischen Sinne um solche, bei denen zunächst die *Form* ist, dann erst im Nachhinein die physische Realisation bzw. materielle Instantiierung vollzogen wird. Analoges gilt für das 4D-Printing, das partiell zunehmend mit dem IoT/IoX-Konnex verschmilzt. Produkte von U-PLM-Systemen stellen zunehmend solch intelligente Artefakte dar. Für Engineering-nahe PLM-Phasen spielen CAD-Systeme seit jeher eine zentrale Rolle. Diese sind zwar oftmals noch der 3D-Perspektive verhaftet; allerdings werden moderne CAD-Systeme bereits als *4D-Systeme* konzipiert. Dabei kommt die zeitliche Dimension heute schon insofern ins Spiel, als für das PLM-Engineering eine integrierte zeitliche Projektplanung wesentlich ist.⁴⁵³⁷ Additive Fertigungsverfahren werden zunehmend auf die intelligente, adaptive Materie des 4D-Printing umgestellt; selbst dann, wenn 3D-Artefakte überwiegen, 4D-Artefakte jedoch ebenfalls berücksichtigt werden müssen, muss die ontologische Basis samt Modellierungsmethoden und Datenmodellen grundsätzlich dem 4D-Ansatz entsprechen.
19. *Kongruenz mit Expertensicht*: Das *Ontology Engineering* (OE) wird durch Ontologen vollzogen, denen eher eine Expertensicht denn eine naive Weltansicht zu unterstellen ist. Die Expertensicht verkörpert dabei regelmäßig prozessuale Sichtweisen, was das Voraussetzen einer 4D-Weltperspektive nahelegt. Dabei ist im Einzelnen zwischen den disparaten Ontologietypen zu differenzieren: bei *wissenschaftlichen* Ontologien wird eine 4D-Perspektive gewiss intuitiver sein als eine 3D-Perspektive; nicht nur mit Blick auf die Relativitätstheorie wird die 4D-Perspektive zwingend, sondern sie wird es auch mit Verweis auf das erwähnte Argument der Simulationsmethode, das im Zeichen der Komplexitätsforschung für solche wissenschaftlichen Ontologien unmittelbare Relevanz besitzt. Bei *technologischen* Ontologien ist die 4D-Perspektive im Sinne der CPSS-Adäquanz bzw. moderner GIS-Ontologien regelrecht zwingend. Demgegenüber ist die 4D-Perspektive selbst bei *praktischen* Ontologien im Allgemeinen intuitiver als die 3D-Perspektive. Denn nicht nur für Ontologieexperten ist direkt nachvollziehbar, dass Supply Chains, Prozesse, Produktlebenszyklen oder dynamische Simulationen sinnvollerweise *raumzeitlich* zu konzipieren sind. Ontologen und Ontologienutzer besitzen im All-

⁴⁵³⁷ Vgl. etwa Staub-French/Khanzode (2007).

gemeinen mehr als bloße "Alltagsrationalität"; sie verfügen regelmäßig über hinreichende Expertise, die im Grunde von vornherein auf eine raumzeitliche Perspektive hinausläuft. Ansonsten lässt sich dies über entsprechende Schulungen sicherstellen, die mit Blick auf andere meta-ontologische Dispositionen (z.B. mögliche Welten) ohnehin notwendig erscheint. Demgegenüber kann das Argument Marquardts et al. (2010: 381 f.), wonach der 3D-Ansatz für die Akteure im *Chemical Process Engineering* "intuitiver" sei als der 4D-Ansatz, nicht überzeugen. Im Gegenteil gilt mit dem Expertenargument, dass genau umgekehrt letzterer als intuitiver erachtet werden muss. Nicht umsonst steht es für Batres/West et al. (2007) ebenfalls im *Chemical Process Engineering* völlig außer Frage, einen 4D-Ansatz zugrunde zu legen. Analoges ist für sämtliche PLM-relevanten Industrien zu konstatieren, deren Wertschöpfungsprozesse wie auch deren PEID-Produkte dem raumzeitlichen Kriterium der CPSS-Adäquanz zu entsprechen haben. Insgesamt gilt, dass es kaum nachvollziehbar ist, in professionellen Kontexten, in denen AI-Ontologien gerade zum Einsatz kommen, *Common Sense* zugrundelegen zu wollen. Denn dieser setzt der Künstlichen Intelligenz (AI) enge Grenzen, die gar nicht erforderlich sind. Vielmehr muss es mehr als zweifelhaft erscheinen, ob darin für AI-Systeme in "*nontoy worlds*" der sachgerechte Modus Operandi gegeben ist. Das gilt umso mehr, wenn es sich um hochautomatisierte, sicherheitsrelevante Prozesse handelt, wie sie gerade in der chemischen Prozessindustrie gängig sind.

20. *Kongruenz mit Ratio-Empirismus*: Mit der Expertensicht hängt unmittelbar ein weiteres Argument zusammen, nämlich, dass sowohl die Kategorien als auch etwa mereologische Aspekte mit zentralen erfahrungswissenschaftlichen Theorien zu korrespondieren haben. Mit der Relativitätstheorie ist die Vereinigung von Raum und Zeit in einer vierdimensionalen Struktur verwirklicht, womit Raumzeit (spacetime) vorauszusetzen ist. Hales/Johnson (2003) stellen in dieser Sache heraus, dass vor dem Hintergrund der speziellen Relativitätstheorie (STR) allein der Perdurantismus – explizit nicht der Endurantismus – wegweisend sein kann. Sie bemerken darüber hinaus, dass dieser auch allgemein mit den Anforderungen der Wissenschaften konform geht. Entsprechende kosmologische Positionen setzen sich etwa mit Unger/Smolin (2015: xi) zusehends durch: »Time is real. Indeed, it is the most real feature of the world, by which we mean that it is the aspect of nature of which we have most reason to say that it does not emerge from any other aspect. Time does not emerge from space, although space may emerge from time«.

Somit kommen wir genauso exemplarisch zu fünf U-PLM-relevanten Industrieanforderungen, anhand derer ersichtlich wird, dass auch die industrielle Anwendungspraxis den Vierdimensionalismus erfordert. Anders gewendet bedeutet dies, dass sie keine Positionen akzeptieren kann, die ihren Ursprung und ihre Argumentationsbasis allein in den Unzu-

länglichkeiten der sprachlichen Repräsentation ontologischer Sachverhalte besitzen. Auch in dieser Sache ist das *U-PLM-Referenzszenario* von direktem Belang:

1. *Automotive/Fahrzeugbau*: PEID-Ansätze werden hier mit GIS- bzw. LPS-Technologien verknüpft. Sensor- bzw. Betriebsdaten lassen sich somit 4D-basiert auswerten, etwa für Zwecke der Wartung und Innovation (z.B. Beanspruchung einzelner Komponenten). Kiritsis (2011) bringt bereits im IoT-Kontext des *Closed-loop U-PLM* einen dezidierten 4D-Ansatz (ISO 15926) ins Spiel und erwähnt darüber hinaus auch das Erfordernis der Entwicklung einer entsprechenden *Top-level Ontologie*.
2. *Chemische Prozessindustrie*: In der PLM-Produktionsphase der Prozessindustrie geht es um energie- und ressourcenbezogene Transformationsprozesse; diese stellen sich etwa als Prozesse mit Phasenumwandlungen und chemischen Reaktionen dar. Dabei werden häufig Stoffstromanalysen verwendet, die die stofflichen und energetischen Ein- und Ausgaben mengenmäßig für definierte Zeiträume gegenüberstellen. Shell-IT setzt bewusst eine *4D Ontologie* voraus.⁴⁵³⁸
3. *Luft- und Raumfahrtindustrie*: Die perdurantistische Position resultiert schon allein daraus, dass eine moderne Flugführung heute auf Basis von *4D-Trajektorien* erfolgt.⁴⁵³⁹ Damit lässt sich die Route jedes Flugzeugs örtlich und zeitlich exakt beschreiben und erlaubt es, jeden einzelnen Flugabschnitt strategisch zu planen. Allerdings ist dies nur dann möglich, wenn es auch die Datenmodelle zulassen. Jenseits des Flugbetriebs geht es um die Produktentwicklung, wobei *Closed-loop U-PLM-Systeme* im PEID-Sinne die im Flugbetrieb gewonnenen, raumzeitlich lokalisierten Sensordaten für Wartungs- oder Innovationsprozesse bzw. für die weitere Produktentwicklung nutzen. Ferner ist der Vierdimensionalismus in der Luft- und Raumfahrt auch zur Strömungsvisualisierung von Relevanz.
4. *Medizintechnik*: In der Medizintechnik ist der Vierdimensionalismus ebenso gängig. Als Beispiel lässt sich etwa die 4D Topologie zur semantischen Segmentierung beim Rechnersehen anführen.⁴⁵⁴⁰ Dabei geht es um die semantische Interpretation von Bilddaten bzw. Bildern, etwa tomographische 4D-Bilddaten zur raumzeitlichen Erfassung dynamischer physiologischer Prozesse wie der Herz- oder Lungenbewegung.
5. *Werftindustrie*: Der 4D-Ansatz kann jedoch auch für einfache Zwecke zum Einsatz kommen; mit Siemens (2014) findet er etwa Anwendung zur Optimierung der Fertigungsplanung in der Werftindustrie. Analoges gilt für alle projektbasierten Auftragsfertiger.

⁴⁵³⁸ Vgl. etwa M. West (2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009, 2011) sowie M. West et al. (2006).

⁴⁵³⁹ Vgl. etwa Canino-Rodríguez et al. (2015).

⁴⁵⁴⁰ Vgl. etwa Matkovic et al. (2011).

Als abschließendes Fazit lässt sich feststellen, dass Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* physisch wie raumzeitlich "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind. Dabei unterliegen sie insbesondere mit ihrer ontologischen Wissensbasis bzw. ihren mathematischen Modellen selbst einer stetigen Transformation. Insofern bilden solche "*Reality Machines*" insgesamt *4D-Machines*. Entsprechend wird deutlich, dass die heutige auf 3D-Modelle bezogene Informatik, die damit unzulänglicher Weise an einer *Ontologie des Seins* festmacht, in eine auf 4D-Modelle bezogene Disziplin zu transformieren ist, der insgesamt eine *Ontologie des Werdens* und damit schließlich eine Prozessmetaphysik zugrundeliegt.

6.2.6 Realismus vs. Konstruktivismus in CPSS/SEA-Kritik

»*Metaphysischer Realismus [...] bildet eine Art Hintergrund, vor dem unsere Suche nach der Wahrheit Sinn bekommt. Die rationale Diskussion, das heißt die kritische Auseinandersetzung im Interesse der Annäherung an die Wahrheit, wäre ohne objektive Realität sinnlos, ohne eine Welt, die zu entdecken wir uns zur Aufgabe machen [...].*«

— Karl R. Popper (2002b: 92)

Indem Ontologien Weltmodelle verkörpern, und es mit der Top-level Ontologie um die Frage eines für die Informatik adäquaten "*general world view*" geht, rücken epistemologische Positionen und die Unterschiede in den Denkweisen automatisch ins Spiel. Dabei besteht der elementare Widerstreit in jenem von *Realismus vs. Konstruktivismus*, und dieser ist nicht nur faktisch im Rahmen des TLO-Inkommensurabilitätsproblems von direkter Relevanz, indem es nicht nur realistische und konstruktivistische TLO-Ansätze gibt, sondern diese sind für das Wesen des jeweiligen Theorieanwärters auch elementar. So werden im Zuge der BFO, BWW oder BORO vehement *realistische* Positionen verschiedenster Spielart vertreten, während DOLCE im Zeichen von Kognition und Linguistik genauso nachdrücklich einen *konstruktivistischen* Ansatz verkörpert, wie er schließlich auch dem Gruberschen linguistischen Ontologieverständnis inhärent ist. Dabei ist festzustellen, dass es gerade im CPS-Kontext überaus wesentliche Argumente nicht nur für den Realismus als solchen, sondern darüber hinaus auch für die Voraussetzung einer *objektiven Realität* gibt, die durch DOLCE nicht akzeptiert wird und der selbst die BFO im Zeichen von Husserls Phänomenologie differenziert gegenübersteht. Andere TLO-Ansätze, die gerade im Rahmen der konzeptuellen Modellierung zum Einsatz kommen, sind in dieser Sache konsequenter, indem sie als explizit metaphysische Ansätze auch die Voraussetzung einer *objektiven Realität* einfordern. Zu diesen Ansätzen gehören die BWW-TLO mit Bunge oder die insbesondere in der chemischen Prozessindustrie zum Einsatz kommende BORO-TLO, die mit ihrem 4D-Possibilismus ansonsten gänzlich anders gehalten ist als erste. Demgegenüber besteht auch für letztere im *Realismus* das entscheidende Wesensmerkmal:

»[...] BORO is a realist ontology, one that recognizes the existence of an objective reality. In contrast, an alternative stance is conceptual idealism, which considers reality as mentally constructed. Realism is one of the metaphysical (or metaontological) choices that underpin BORO [...].⁴⁵⁴¹

Nicht nur mit Blick auf *Referenzontologien* wird dabei die konstruktivistische Position mit Johansson (2003: 2) von dritter Seite im direkten TLO-Kontext in Zweifel gezogen: »Fictions apart, the default position for every ontology creator should be the realist position; concepts are primarily links to the world. In this respect, there is no difference between application ontologies and reference ontologies«. Dass dies für die *Top-level Ontologie* als oberster ontologischer Referenzebene ganz besonders gilt, steht dabei außer Frage. Dabei ist hier der Unterschied zwischen der CM- und der AI-Sphäre entscheidend; während in der CM-Sphäre der Realismus gesetzt ist, sieht dies in der AI-Sphäre genau gegensätzlich aus. Eine integrierte Ontologiekonzeption verweist jedoch auf ein und dieselbe *Top-level Ontologie*, womit sich die Frage Realismus vs. Konstruktivismus für die Evaluierung und Selektion von TLO-Theorieanwärttern wie für ihr Inkommensurabilitätsproblem in elementarer Weise stellt.

Damit kommen wir zu den Argumenten, die überhaupt für die konstruktivistische Position sprechen. Zunächst ist festzustellen, dass diese in der AI-Disziplin gängig ist und zwar insofern, als moderne AI-Architekturen *agentenbasiert* sind und sich spätestens im MAS-Kontext das Problem divergierender Weltansichten stellt. Insofern ist es im Grunde auch richtig, bei der Agentenwelt von einem "*belief system*" zu sprechen, wie es in der AI-Disziplin praktisch immer schon der Fall ist. Dabei steht außer Zweifel, dass Dispositionen von Agenten, die immer im Wechselspiel mit den jeweiligen kognitiven wie epistemischen Fähigkeiten stehen, tatsächlich zuvorderst durch *subjektivistische* Momente geprägt sind.⁴⁵⁴² Das führt in der AI-Disziplin zuweilen dazu, dass die Agentensicht gar explizit unter das Regime des *radikalen Konstruktivismus* gestellt wird.⁴⁵⁴³ Im Kontext kognitiver Robotik sowie der in Pkt. 6.3 behandelten subsymbolischen Systeme bzw. emergenten Architekturen lässt sich eine solche Voraussetzung auch gewiss nicht gänzlich von der Hand weisen.⁴⁵⁴⁴ Darüber hinaus wird der Konstruktivismus auch im Zusammenhang mit der Modellierung der *Enterprise Architecture* (EA) bemüht. Allerdings wird dieser dann im Allgemeinen als *moderater Konstruktivismus* verstanden, indem sich eine solche Modellierung regelmäßig auf *reale* Strukturen und Prozesse bezieht.⁴⁵⁴⁵ Indessen sind es gerade die *konstruktivistischen Agenten*, die im Kontext Cyber-physischer Systemen (CPS) für das Erreichen eines "Gold Standard" im Wettstreit inkommensurabler TLO-Theorieanwärttern zumindest auf den ersten Blick herausfordernd sind.

Vor diesem Hintergrund besitzt der Widerstreit von *Realismus vs. Konstruktivismus* eine unmittelbare Relevanz für die Frage der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-*

⁴⁵⁴¹ De Cesare/Partridge (2016: 84).

⁴⁵⁴² Vgl. exemplarisch Thórisson (2012).

⁴⁵⁴³ Vgl. etwa Ziemke (2001).

⁴⁵⁴⁴ Thórisson et al. (2004) beziehen ihre *Constructionist Design Methodology* (CDM) entsprechend direkt auf die *Behavior-based AI* und entsprechende emergente Agentenarchitekturen.

⁴⁵⁴⁵ Vgl. exemplarisch Bakhtiyari et al. (2014); vgl. kritisch Maur (2009).

Ontologie im Internet of Everything. Tatsächlich ist diese Debatte schon aus drei unmittelbar einsichtigen Gründen in etwas größerer Tiefe zu führen: (i) *physische Systeme* betreffen als CPS-Aspekt unmittelbar die Realismusfrage, während *Agenten* in ihrem subjektivistisch-konstruktivistischen Momentum als CPS-Aspekt im Kantischen Sinne oftmals mit dem Konstruktivismus assoziiert werden. (ii) Mit Pkt. 3.3.2 impliziert der *realistische* OE-Ansatzpunkt einen Realismus, während der *linguistische* OE-Ansatzpunkt traditionell in Richtung des Konstruktivismus weist. Mit Verweis auf die *Intension* im semiotischen Dreieck sind insbesondere *Konzepte* wesentlich von *konstruktivistischer* Natur. Entsprechend ist auch die Antwort auf Pustejovskys (1998: 330) Frage klar: »*Are all concepts created equal? The answer is, of course, no, and the curious fact is that linguistic data actually reveal much of the underlying mechanisms of concept construction*«. (iii) Schließlich hängt der Widerstreit von *Realismus vs. Konstruktivismus* mit einer Reihe anderer meta-ontologischer und kategorialer Dispositionen zusammen. Das betrifft mit Pkt. 6.1.3 die Diskrepanz zwischen *ontischen vs. epistemischen Kategorien* sowie die damit zusammenhängende Frage *objektiven Wissens*. Es betrifft mit Pkt. 6.2.2 den Streit um die *deskriptive vs. revisionäre Metaphysik*, mit Pkt. 6.2.3 die Frage *immanenter Universalien vs. Konzepte*, mit Pkt. 6.2.4 die Disposition zu *möglichen Welten*, und mit Pkt. 6.2.5 schließlich wiederum auch die Frage des *Endurantismus vs. Perdurantismus*. Letzteres wird insbesondere an der GFO-neu-TLO deutlich, wenn festgestellt wird: »Continuants are creations of the mind, and possess, according to GFO, not the same level of objectivity as processes and presentials«. ⁴⁵⁴⁶

Darüber hinaus hat der Widerstreit von *Realismus vs. Konstruktivismus* insbesondere auch etwas mit den in Pkt. 6.2.8 behandelten Wahrheitstheorien zu tun, da diese in beiden Denkweisen andere sind. Für den *kritischen Realismus* ist dabei Poppers *regulative Idee der Wahrheit* entscheidend; diese setzt voraus, dass jeder grammatikalisch korrekte Aussagesatz, der eine Hypothese über die Wirklichkeit zum Gegenstand hat, entweder wahr oder falsch bezüglich der Wirklichkeit sein muss. Insofern gibt es für kritische Realisten auch eine *objektive Wahrheit*, die hypothetisch auch eine *objektive Realität* markiert, deren Existenz indessen durch radikale Konstruktivisten bestritten und durch gemäßigte Konstruktivisten mehr oder weniger kritisch gesehen wird. Zumindest radikale Konstruktivisten zweifeln damit auch die Möglichkeit einer *revisionären* Metaphysik als solcher an, indem diese im Sinne Poppers (2002b) den metaphysischen Realismus notwendig voraussetzt. Damit ist gezeigt, dass die Debatte um den *Realismus vs. Konstruktivismus* nicht nur etwas mit der Methodologie der Informatik zu tun hat bzw. ihre Modellierungsfragen im Kern betrifft, sondern auch insgesamt für ihre Ontologie von elementarer Bewandnis ist.

Kommen wir damit auf den Streit um die beiden vermeintlichen alternativen Denkweisen zu sprechen. Kurzgesagt postuliert der *Realismus*, dass die Welt – und damit ist der *physische* Kosmos gemeint – unabhängig vom menschlichen Denken bzw. der Erfahrung

⁴⁵⁴⁶ Vgl. Herre (2015b: 337).

eines Beobachters existiert (ontologische Prämisse). Als solcher ist er auch mehr oder weniger objektiv für den Beobachter erkennbar (epistemologische Prämisse). Diese beiden Prämissen werden als metaphysischer bzw. erkenntnistheoretischer Realismus bezeichnet. Es gibt verschiedene Spielarten des Realismus, von denen die wichtigsten im Folgenden erörtert werden. Bis auf Ausnahmen wie Smithens methodologischen Realismus setzen nahezu alle Realismusvarianten den metaphysischen Realismus und damit die faktische Existenz einer Außenwelt voraus. Damit wird bereits ersichtlich, dass die Unterschiede der Varianten vor allem im Bereich des erkenntnistheoretischen Realismus liegen, also in der Frage, auf welchem Wege bzw. überhaupt inwieweit diese Außenwelt für den Beobachter objektiv erkennbar ist.

Dabei bestehen insbesondere zwischen dem *naiven Realismus* und dem *kritisch-wissenschaftlichen Realismus* wesentliche Unterschiede, die wiederum vor allem durch die jeweilige Metaphysikklasse bedingt sind. Der *naive Realismus* betrifft in erster Linie die *Klasse-1-Metaphysik*, womit deutlich wird, dass dieser in aktuellen Metaphysiksystemen gar keine Rolle mehr spielt. Hingegen ist der *kritisch-wissenschaftliche Realismus* vor allem den wissenschaftlichen Metaphysiken der *Klasse-3- bzw. Klasse-4-Metaphysiken* vorbehalten. Schließlich betreffen die Besonderheiten des Konstruktivismus ebenfalls in erster Linie den erkenntnistheoretischen Realismus. Zu diesem wird eine mehr oder minder drastische Gegenposition eingenommen. Weite Teile des Konstruktivismus decken sich, wie im Folgenden deutlich wird, dabei mit dem kritischen Realismus, indem beide gemeinsam in klarer Opposition zum naiven Realismus stehen. Allein wenige Spielarten des Konstruktivismus gehen in grundsätzlicher Hinsicht weiter als erster, indem abgestritten wird, dass Subjekte den Kosmos überhaupt im Sinne einer objektiven Realität erkennen können. Indessen wäre es, wie noch gezeigt wird, ein Irrtum anzunehmen, dass mit dem Konstruktivismus die ontische Existenz des Kosmos bestritten wird. Das ist nicht einmal beim *radikalen Konstruktivismus* der Fall und es wäre auch nicht konform mit der Kantischen (1781) Position. Insofern darf man den *radikalen Konstruktivismus* auch nicht mit dem *radikalen Idealismus* Berkeleys (1710) verwechseln.

Wie oben ausgeführt, steht die Debatte um den Realismus vs. Konstruktivismus auch im Zeichen des in Pkt. 6.2.2 erörterten Gegensatzes von *deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik*. Während die deskriptive Metaphysik, wie sie etwa durch Guarino vertreten wird, auf eine *verstehende, interpretativ-interaktionistische* Variante hinausläuft, steht hinter der revisionären Metaphysik, wie sie etwa Sowa oder Wand/Weber favorisieren, die *erklärende, analytisch-nomologische* (bzw. histonomische) Wissenschaftsauffassung.⁴⁵⁴⁷ Teilweise ist im Kontext von Informationssystemen analog auch vom Gegensatz zwischen

⁴⁵⁴⁷ Mit Gregor (2005) gibt es keinen unbedingten Gegensatz zwischen der *verstehenden, interpretativ-interaktionistischen* Methodologie, wie sie im Zuge der deskriptiven Metaphysik zugrundegelegt wird, und der *erklärenden, analytisch-nomologischen* (bzw. histonomischen) Methodologie, die im Zuge der revisionären Metaphysik regelmäßig zur Anwendung gelangt. Vielmehr sind die Ansätze im Wesentlichen komplementärer Natur.

Interpretativismus und Positivismus die Rede,⁴⁵⁴⁸ was jedoch insofern verfehlt ist, als der Positivismus heute im Allgemeinen nicht mehr vertreten wird. Vielmehr müsste mit Bunge (1999: 127) im Rekurs auf Popper von einem *logischen Negativismus* gesprochen werden, denn die Leitmethodologie der analytisch-nomologischen Richtung besteht heute im *Kritischen Rationalismus* Poppers und Nachfolger. Für diesen ist – im Gegensatz zum logischen Positivismus – Metaphysik möglich und sinnvoll. Mit dieser Wissenschaftsauffassung verbunden sind ein ontologischer und epistemologischer Realismus sowie die in Pkt. 6.2.8 skizzierte Korrespondenztheorie der Wahrheit. Johansson (2008a) hält Poppers epistemologischen Realismus etwa für Zwecke der Bioinformatik und der biologischen Realitätsrepräsentation für geeignet und stimmt auch Poppers ontologischen Realismus mit seiner in Pkt. 3.5 erörterten *Drei-Welten-Lehre* zu.⁴⁵⁴⁹ Demgegenüber liegen dem Interpretativismus ein ontologischer Idealismus, ein epistemologischer Konstruktivismus sowie die in Pkt. 6.2.8 umrissene Konsens Theorie der Wahrheit zugrunde.

Für die Informatik ist die Modellierung von Welten bzw. Diskursuniversen (UoD) elementar. Insbesondere für die Modellierung der fundamentalen Strukturen aller Welten, speziell der Realität, bedarf sie der Hilfe der Ersten Philosophie, der Metaphysik, sowie ergänzend jene der Epistemologie bzw. Methodologie. Die Modellierung der Realität kann nun, wie bereits im Zusammenhang mit Ontologien zur konzeptuellen Modellierung in Pkt. 3.2.2 erwähnt, entweder auf Basis eines *abbildungstheoretischen* oder eines *konstruktivtheoretischen* Modellverständnis erfolgen. Hinter ersterem verbirgt sich der Realismus, hinter letzterem der Konstruktivismus. Denn das jeweilige Modellverständnis steht in direktem Zusammenhang mit spezifischen erkenntnistheoretischen Auffassungen und ontologische Positionen (et vice versa). Der abbildungstheoretische Modellbegriff geht davon aus, dass ein Modell eine vereinfachte, zweckorientierte Abbildung eines Sachverhalts darstellt; Modelle sind mit Stachowiak (1973) nichts weiter als Abbildungen von Originalen. Wesentlich ist dabei, dass Modelle strukturerhaltende Abbilder der Realität darstellen. Mit dem Ziel der Strukturgleichheit sollen Modelle somit insgesamt *objektive Abbildungen der Realität* repräsentieren, wobei die Qualität der Abbildungen allein vom kognitiven Vermögen des Modellerstellers abhängig ist. Ontologisch wird bei diesem Objektivismus damit eine externe, vom Betrachter unabhängige Realität vorausgesetzt, die sich in epistemologischer Hinsicht grundsätzlich intersubjektiv erschließen lässt. Allerdings ist bei der Beurteilung der Modellverständnisse in Rechnung zu stellen, um welche Realitätsausschnitte es überhaupt geht. Es macht natürlich einen Unterschied, ob sich der Abbildungsgedanke auf ein Totalmodell des Kosmos bezieht, den das menschliche Erkenntnissubjekt selbst kaum versteht, oder aber auf Engineering Artefakte, die menschliche Subjekte physisch selbst erschaffen haben. Im letzteren Fall wird gerade gegenwärtig von einer *digitalen Abbildung* gesprochen, etwa wenn es in der *Smart Factory* darum geht, ein exaktes

⁴⁵⁴⁸ Vgl. etwa Walsham (1995).

⁴⁵⁴⁹ Vgl. hierzu Johansson (2008a: 293, Fn. 67).

digitales Abbild der Baugruppe eines realen Produkts durch die gesamte Produktionslinie zu entwerfen.⁴⁵⁵⁰

Der abbildungstheoretische Modellbegriff rekurriert letztlich auf die verschiedenen Spielarten des Realismus, zu denen Bunge (1993: 230 ff.) drei Varianten unterscheidet, nämlich (i) den *naiven Realismus*, (ii) den *kritischen Realismus* sowie schließlich (iii) den *wissenschaftlichen Realismus*, wie er durch Bunge selbst vertreten wird. Ad (i) geht der *naive Realismus* davon aus, dass die Dinge im Wesentlichen so sind, wie sie menschlichen Subjekten erscheinen bzw. wie diese sie wahrnehmen. Kognitive Aspekte sind für diese Art von Realismus nebensächlich, d.h. der Wahrnehmende spielt eine passiv-rezipierende Rolle. Insofern geht dem klassischen abbildungstheoretischen Modellbegriff auch die *passivistische Abbildungsthese* voraus. Ad (ii) gilt demgegenüber diese passiv-rezipierende Rolle für den *kritischen Realismus* (critical realism), wie er in der griechischen Antike oder im zwanzigsten Jahrhundert bereits vor den eigentlichen Kritischen Rationalisten etwa durch N. Hartmann, H. Driesch oder A.N. Whitehead vertreten wird,⁴⁵⁵¹ nur höchst *bedingt*. Das deutet sein Adjektiv schon an. Denn hinter dem *kritischen Realismus* steht der *Kritizismus*, »der die prinzipielle Fehlbarkeit der menschlichen Erkenntnis – und des Problem-lösungsverhaltens überhaupt – anerkennt und trotzdem das Erkenntnisstreben nicht aufgibt«. ⁴⁵⁵² Der *kritische Realismus* gesteht auch zu, dass kognitive Akte durchaus von subjektiven Überzeugungen und Erwartungen abhängen.⁴⁵⁵³ Mehr noch: der kritische Realismus unterstellt, dass die Wahrnehmung der Welt beschränkt und trügerisch ist, und andererseits auch, dass keine endgültige Wahrheit über die Welt gewonnen werden kann. Diese epistemologische Prämisse ist das, was das "*kritische*" am *kritischen Realismus* ausmacht und was ihn vom naiven Realismus unterscheidet.

Im *kritischen Realismus* kann damit auch das konstruktivistische Moment problemlos als für Agenten entscheidend vorausgesetzt werden, während das Postulat *begrenzter Rationalität* mit Pkt. 3.5 für sie ohnehin gilt. Aus dieser epistemologischen Prämisse resultiert wiederum eine spezielle methodologische Position: der *kritische Realismus* setzt somit neben dem Kritizismus auch konsequenterweise den *Fallibilismus* voraus.^{4554, 4555} Auf dieser Basis können wissenschaftliche Theorien für ihn nicht mehr sein als hypothetische Konstrukte. Denn Erkenntnis ist grundsätzlich fehlbar, insbesondere wenn es menschliche Erkenntnis ist, die in kognitiver wie epistemologischer Hinsicht weniger präzise zu sein vermag als es bei maschinellen Agenten unter der Voraussetzung der Fall ist, dass sie auf den

⁴⁵⁵⁰ Vgl. dazu etwa A.S. Huber (2013), insbes. S. 121.

⁴⁵⁵¹ Bei Whitehead findet sich das *Fallibilismusprinzip* implizit an verschiedener Stelle; vgl. etwa Whitehead (1925: 23): »[...] But in general, with more complex instances, complete certainty is unattainable« oder Whitehead (1954: 277): »The danger is dogmatic thought; it plays the devil with religion, and science is not immune from it«. Auch Stengers (2011: 405) sieht Popper hier in einer Linie mit Whitehead.

⁴⁵⁵² Vgl. Albert (1980: 225).

⁴⁵⁵³ Vgl. Bunge (1993: 231).

⁴⁵⁵⁴ Ibid.

⁴⁵⁵⁵ Dabei ist es die *kritische Einstellung* und der *Fallibilismus*, mit denen Poppers Denken über die menschliche Erkenntnis steht und fällt, vgl. Popper (2002b: XXXI).

richtigen Grundlagen operieren. Insofern wird insgesamt nachvollziehbar, dass im *kritischen Realismus* im Wesentlichen die erkenntnistheoretische Position von Poppers *Kritischem Rationalismus* besteht.^{4556, 4557} Der Realismus ist seit Whiteheads (1929a) Reintegration des Subjekts in die Natur seit Jahrzehnten kein naiver, sondern ein *kritischer* Realismus, der mit dem *erkennenden Subjekt* immer das Relative, das Kontextabhängige und letztlich das Konstruktive, mit Heisenberg (1959: 66) schließlich das "Ich" des erkennenden Subjekts bedingt. Damit gibt es auch keinen Widerspruch zwischen Realismus und Konstruktivismus auf dieser *epistemologischen* Ebene. Es könnte sie nur in methodologischer oder aber in ontologischer Hinsicht geben. In erstem Fall müsste man etwa nachweisen, dass der *Kritische Rationalismus* unhaltbar ist; im letzten Fall würde man eine vom Agenten unabhängige reale Außenwelt leugnen, was aber selbst bei radikalen Konstruktivisten nicht zwingend der Fall ist. Würden sie dies tun, wären sie beim radikalen Idealismus Berkeleys, und dieser ist zumindest mit den Zwecken der Informatik genauso unvereinbar wie mit einer CPSS-adäquaten Ontologie bzw. Epistemologie im Speziellen.

Man muss den Konstruktivisten vor diesem Hintergrund vorhalten, dass sie nicht nur die Welten vertauschen sondern auch die Positionen der *Neuen Ontologie* missachten.⁴⁵⁵⁸ Denn diese sieht in ihrem Empirismus nicht nur die Metaphysik zwingend als *revisionäre Metaphysik*, sondern sie reintegriert mit Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* wie mit Hartmanns (1940) *psychologischer ("seelischer") Schicht* gerade das Subjekt wieder in die Natur. Damit wird in der revisionären Metaphysik die klassische *Subjekt-Objekt-Dichotomie* aufgegeben und der naive Realismus gleichfalls abgelehnt. Denn der einzelne Beobachter bzw. perzipierende Agent besitzt natürlich mit Simon (1976b, 1987a) nie eine *substantielle Rationalität*, sondern immer nur *prozedurale Rationalität*, was bei objektivem Wissen einerseits auf den methodologischen Gesichtspunkt Poppers hinausläuft, andererseits auf die *evolutionäre Epistemologie* Reschers.⁴⁵⁵⁹ Dabei steht insgesamt außer Frage, dass perzipierende Subjekte in ihrem individuellen geistigen Vermögen, mit ihrer spezifischen Agentenwelt sowie schließlich mit ihrer lokalen Einbettung immer *begrenzter Rationalität* unterliegen. Entsprechend geht es mit dem *kritischen Realismus* darum, »unsere Erkenntnis von ihren subjektiv bedingten Beschränktheiten nach Möglichkeit zu befreien«. ⁴⁵⁶⁰ Das macht bezogen auf den Erkenntnisprozess auch den Unterschied zwischen Poppers W2- und W3-Welt aus, indem die Welt 2 die Welt *subjektiver* Erkenntnis, die Welt 3 die Welt *objektiver* Erkenntnis ist. Alle intersubjektiv geteilten Paradigmen, ob nun wissenschaftliche Theorien oder Ontologien, fallen damit in die Welt 3, haben aber immer

⁴⁵⁵⁶ Vgl. zum *kritischen Realismus* Albert (1973, 1976, 1980, 1982, 1987, 1994), Musgrave (1993) sowie ergänzend Popper (1971).

⁴⁵⁵⁷ Der *Kritische Rationalismus* besteht für Albert (1980: 224; 1982: 9) in drei wesentlichen, miteinander verbundenen Zügen: dem *konsequenten Fallibilismus*, dem *methodischen Rationalismus* und dem *kritischen Realismus*.

⁴⁵⁵⁸ Vgl. exemplarisch Maturana (1980a).

⁴⁵⁵⁹ Vgl. dazu etwa Rescher (2003a).

⁴⁵⁶⁰ Vgl. Albert (1976: 40).

ihren Ursprung in der Welt 2. Insofern wird insgesamt deutlich, dass der kritische Realismus mit seinem Kritizismus eine Gegenposition zum naiven Realismus markiert.⁴⁵⁶¹

Ad (iii) weist der *wissenschaftliche Realismus* (scientific realism), den Bunge vertritt und den er als verfeinerten *kritischen Realismus* erachtet,⁴⁵⁶² gegenüber diesem zwei zusätzliche Prinzipien auf: erstens, das methodologische Prinzip, nach dem in *wissenschaftlicher* Forschung der beste epistemologische Weg besteht; zweitens das melioristische Prinzip, wonach im Zuge wissenschaftlicher Forschung *zunehmend bessere* Repräsentationen der realen Welt möglich werden.⁴⁵⁶³ Nach Bunge lassen sich annähernd wahre Theorien der Realität formulieren; insofern verbindet der wissenschaftliche Realismus für ihn den Fallibilismus mit dem Meliorismus.⁴⁵⁶⁴ Kutschera (1993: 121) vertritt wiederum die Auffassung, dass der *kritische* Realismus umgekehrt den *wissenschaftlichen* Realismus voraussetze. Im Grunde ist beides richtig, wenn man den eigentlichen Ursprung des *kritischen Realismus* bei Whitehead sieht. Denn dessen *Ratio-Empirismus* setzt zweifelsohne den *wissenschaftlichen* Realismus voraus, weshalb Whitehead (1929a) auch in umfassender Weise auf erfahrungswissenschaftliche Schlüsseltheorien rekurriert. Andererseits ist es Popper, der den Whiteheadschen kritischen Realismus insofern verfeinert, indem diesem eine umfassende Methodologie zur Seite gestellt wird. Tatsächlich sind dabei die zwei Zusatzprinzipien Bunges für die erkenntnistheoretische Position des *Kritischen Rationalismus* zu reklamieren; sie stammen von Popper, nicht von Bunge. Dass Bunge mit seinem *wissenschaftlichen Realismus* eine besondere Abgrenzung sucht, obwohl er mit den methodologischen Grundzügen des Kritischen Rationalismus übereinstimmt, hat mit Verweis auf Pkt. 5.3 auch einen ganz anderen Hintergrund: als Materialist kann er weder den Whitehead-Popperschen Antimaterialismus im Allgemeinen noch die Poppersche Welt 3 im Besonderen akzeptieren. Für den Kritischen Rationalismus stellt dabei die Welt 3 im Zuge der Transformation von W2-Wissen in W3-Wissen eine Grundvoraussetzung dar, während für Bunge kein Wissen unabhängig von denkenden Subjekten existieren kann: »there is no such thing as knowledge independent of the knowing subject«. ⁴⁵⁶⁵ Für die Informatik ist diese These in gleich dreifacher Hinsicht unhaltbar: erstens in Bezug auf die Speicherung von Wissen, insbesondere auch in Form von Wissensontologien; zweitens in Bezug auf die essentielle Poppersche Trennung von subjektivem und objektivem Wissen, die mit Bunge ad absurdum geführt würde; drittens in der damit verbundenen Hinsicht, dass dann auch das gesamte wissenschaftliche Wissen – zumindest in verteilter Form – in den Gehirnen menschlicher (bzw. maschineller) Subjekte bzw. Agenten existent sein müsste.

Insgesamt wird deutlich, dass der *kritische Realismus* den abbildungstheoretischen Modellbegriff auf eine sachgerechte Basis stellt. Das gilt jedoch umgekehrt auch für den

⁴⁵⁶¹ Vgl. hierzu Albert (1987: 43 ff.); vgl. hierzu auch Kutschera (1993: 122).

⁴⁵⁶² Vgl. Bunge (1993: 231; 1996: 355).

⁴⁵⁶³ Vgl. Bunge (1993: 231).

⁴⁵⁶⁴ Vgl. Bunge (1996: 323).

⁴⁵⁶⁵ Vgl. Bunge (1990a: 589).

konstruktivistischen Modellbegriff. Insofern wird deutlich, dass die in Pkt. 8.4 erwähnten Bestrebungen zu einer Synthese von BFO und DOLCE letztlich auch nur auf der Grundlage des *kritischen Realismus* bewerkstelligbar sind. Der konstruktivistische Modellbegriff baut gegenüber der abbildungstheoretischen Variante explizit auf dem Grundgedanken einer konstruktivistischen Erkenntnislehre auf; jede Wirklichkeit ist dabei mit Watzlawick (1985) nicht objektiv gegeben, womit entsprechend Abbilder von ihr gar nicht möglich sind; vielmehr sei »jede Wirklichkeit im unmittelbarsten Sinne die *Konstruktion* derer [...], die diese Wirklichkeit zu entdecken und erforschen *glauben*«. ⁴⁵⁶⁶ Zwar wird analog zum Objektivismus beim Konstruktivismus davon ausgegangen, dass eine außerhalb des Subjekts existierende Realität existiert; eine objektive Realität wird jedoch negiert. Damit besitzt diese Position ihren eigentlichen Ursprung in Kants Kopernikanischer Wende, die das Primat der Ontologie zugunsten der Epistemologie verschiebt, indem Kant (1781: 12) die Welt als Vorstellung dem Subjekt entspringen lässt, was den deutschen Idealismus begründet. ⁴⁵⁶⁷ Konstruktivistische Modelle zeichnen sich damit durch eine subjektive Konstruktionsleistung des Modellerstellers und entsprechend durch dessen subjektbezogenen Kontext aus. Der *radikale* Konstruktivismus bricht hingegen mit dem Objektivismus in elementarerer Weise; er stellt zugleich den wissenschaftlichen Realismus, wie er etwa im Rahmen von Bunges wissenschaftlicher Ontologie vertreten wird, vollends in Frage, indem er negiert, dass Erkenntnis eine objektiv erfahrbare, ontologische Wirklichkeit betrifft. In der Sichtweise des *radikalen* Konstruktivismus sind Wahrnehmungen unvermeidlich abhängig vom Wahrnehmenden. Die "Wirklichkeit" wird damit als Ergebnis eines Verarbeitungs- oder Konstruktionsprozesses gesehen. ⁴⁵⁶⁸ Entsprechend meint Erkenntnis nach Auffassung des radikalen Konstruktivismus nichts weiter als die Ordnung und Organisation unseres Erfahrungswissens, das weder ohne weiteres verifizierbar noch falsifizierbar sei. ⁴⁵⁶⁹ Demgegenüber besteht der Grundzug der konstruktivistischen Epistemologie in dem Umstand, dass die Welt, die konstruiert wird, eine Welt des Erlebens ist, die aus Erlebten besteht und als solche keinerlei Anspruch auf "Wahrheit" im Sinne einer Übereinstimmung mit einer ontologischen Wirklichkeit erhebt. ⁴⁵⁷⁰ Das heißt allerdings nicht, dass durch den Konstruktivismus die Existenz einer ontischen Realität verneint wird, nur sei ihre Erkenntnis nicht möglich: »As a constructivist, I have never said (nor would I ever say) that there is *no* ontic world, but I keep saying that we cannot *know* it«. ⁴⁵⁷¹

Gilt es, die Welt neu zu erdenken, läuft dies notwendig auf eine Art *Konstruktivismus* hinaus. Radikale Innovationsprozesse haben regelmäßig Objekte zum Gegenstand, die es

⁴⁵⁶⁶ Vgl. Watzlawick (1985: 9), Hvh. im Orig.

⁴⁵⁶⁷ Kant (1781), auf den sich Konstruktivisten wie Glasersfeld (1985) auch explizit beziehen, geht damit deutlich über die Erkenntnistheorie Vicos (1712) hinaus, in dem der erste echte Konstruktivist erachtet wird, vgl. Glasersfeld (1985: 16).

⁴⁵⁶⁸ Vgl. hierzu Schmidt (1987) sowie Glasersfeld (1987a, 1987b).

⁴⁵⁶⁹ Vgl. Glasersfeld (1985).

⁴⁵⁷⁰ Vgl. Glasersfeld (1985: 28).

⁴⁵⁷¹ Vgl. Glasersfeld (1991: 17), Hvh. im Orig.

in der Realität noch gar nicht gibt. Es handelt sich also bei solchen radikalen Innovationen zunächst immer um W2-Objekte, die im Allgemeinen über die W3-Welt im Zeitablauf zu einer späteren Phase des PLC in Form physikalischer Objekte Eingang in die W1-Sphäre finden. Andererseits gilt: W2- und W3-Ontologien stehen nicht zwangsläufig unter einem konstruktivistischen Regime. Im Zuge der *Smart Enterprise Integration* (SEI) ist vielmehr oftmals ein *kritischer Realismus* angezeigt, wenn es gilt, möglichst detailgetreue digitale Abbilder physischer Prozesse zu schaffen. In praxi werden offensichtlich beide Erkenntnismodi parallel betrieben, so dass eine scharfe Trennung bzw. der Ausschluss von einem Modi für die Zwecke der Informatik nicht sinnvoll erscheinen kann. Offensichtlich ist mit Verweis auf Pkt. 4.2 ein philosophischer Ontologieansatz erforderlich, der sowohl den primären kritischen Realismus abdeckt als auch gleichzeitig damit verbundene konstruktivistische Momente. Das muss dann so weit reichen, dass dieser Ansatz nicht nur Kreativität an sich zulässt, sondern insbesondere auch ein kreatives Subjekt. Indessen kann im Konstruktivismus keine Methodik bestehen, auf deren Basis ein tatsächlicher wissenschaftlicher Fortschritt möglich ist. Vielmehr erscheint mit P.M. Simons (2009d) in dieser Hinsicht eine grundlegende Kritik des interpretativistischen Forschungsparadigmas angezeigt:

»Only by being sensitive to the multiplicity and variety of Ontological relations, in advance of coding, can ontologists expect to provide knowledge representation systems that are adequate to the complexities thrown at us by the world. If there is a single underlying thesis of this rich collection, it is that a good ontology should be predicated on scientific and epistemological realism. Only thus can ontologists keep pace with scientific advances and avoid the relativism or anti-realism of the postCartesian and post-Kantian moderns, whose invidious influence extended far into the twentieth century.«⁴⁵⁷²

Nicht zuletzt mit dem zentralen Stellenwert wissenschaftlicher Theorie ist es somit mehr als fraglich, ob im Konstruktivismus die grundlegende ontologische wie insbesondere erkenntnistheoretische Position bestehen kann. Denn der Konstruktivismus entspricht nicht der heute allgemein akzeptierten wissenschaftstheoretischen Methodologie, was für naturwissenschaftliche Theorien gänzlich außer Frage steht: »Constructivists systematically confuse reality with our representations of it: the explored with the explorer, facts with data, objective laws with law statements, assumptions with conventions. This is certainly not the way scientists proceed.«⁴⁵⁷³ Tatsächlich lässt sich auf konstruktivistischer Basis aus dem Grunde keine wissenschaftliche Objektivität erzielen, weil das interpretativistische Forschungsparadigma geradezu prädestiniert ist, eine paradigmatische Vielzahl konzeptueller Schemata nach sich zu ziehen: »The idealist who does not distinguish a thing from any of its models cannot account for the multiplicity of schemata of one and the same thing.«⁴⁵⁷⁴ Insofern ist entgegen Glasersfeld (1991) festzustellen, dass das Ontische im Sinne des kritischen Realismus zu einem gewissen Grad doch erkennbar ist: »We know that something exists because we are acquainted with it or with something else from which

⁴⁵⁷² Vgl. Simons (2009d: 470 f.).

⁴⁵⁷³ Vgl. Bunge (1993: 215).

⁴⁵⁷⁴ Vgl. Bunge (1977a: 121).

we can infer its existence. There is no other way of knowing that something exists«. ⁴⁵⁷⁵
Wäre dem nicht so, stünde letztlich Sinn und Zweck des Wissenschaftsbetriebs in Frage. Im *kritischen Realismus* besteht die erkenntnistheoretische Position des Kritischen Rationalismus Poppers. Wenn dieser einen ontologischen wie epistemologischen Realismus voraussetzt, liegt insofern eine unmittelbare Verbindung zur Popperschen *Drei-Welten-Lehre* vor, als der Poppersche Realismus alle drei Welten als real erachtet.

Ungeachtet seiner großen Bewandnis, wird dieser Streit um den Realismus vs. Konstruktivismus jedoch kaum in angemessener Weise geführt. Denn nicht nur in der Ontologie an sich, sondern auch in dieser Kontroverse geht es um Weltansichten und Weltmodelle; indessen wird dabei nicht sachgerecht zwischen völlig differenten Welttypen getrennt. Differenziert man hingegen zwischen diesen, wird schnell deutlich, dass es keine Wahl zwischen *Realismus vs. Konstruktivismus* gibt, sondern es sich vielmehr um eine Scheinalternative handelt. Denn tatsächlich gehören beide Standpunkte viel enger zusammen als es bisher gemeinhin angenommen wird. Letztlich schließen sich diese Standpunkte entgegen der üblichen Annahme auch gar nicht aus. Somit entpuppt sich auch der Streit zwischen ihnen letztlich als Scheindebatte, genauso wie es für den ewige Streit um den *Endurantismus vs. Perdurantismus* zu konstatieren ist.

Wie oben ausgeführt, ist der Ursprung der Debatte *Realismus vs. Konstruktivismus* ein metaphysischer, denn er liegt bei Kants (1781) Metaphysikkritik, die letztlich auch eine wesentliche Kritik am *naiven* Realismus ist. Entsprechend bauen alle Konstruktivisten letztlich auf Kants Kopernikanischer Wende auf; so insistiert etwa der Neurobiologe Maturana (1994) vor dem Hintergrund *kognitiver Prozesse* darauf, dass die Welt im Auge des Betrachters entsteht, wie es Kant (1781) mit seiner Metaphysik- bzw. Epistemologiekonzeption voraussetzt. Es besteht auch kein Zweifel, dass Kant bzw. Maturana damit an sich richtig liegen. Allerdings begehen Konstruktivisten wie Maturana dabei einen veritablen und alles entscheidenden Fehler, der auch typisch ist für gängige Ontologieansätze der Informatik. Sie übersehen, dass die Metaphysik mit Pkt. 4.1 bei Kant (1781) keineswegs entfallen soll, sondern gerade für ihn als *Zensoramt* fungiert. Diese Rolle wird, wie in Pkt. 4.1 erwähnt, durch Agassi (1976) als *regulative Idee*, mit Walsh (1967) als *externer Stimulus* oder mit Wartofsky (1967) als *Heuristik* bezeichnet. Und letztlich besitzt auch Poppers *regulative Idee der Wahrheit* einen solchen metaphysischen Kern, indem sein Fallibilismus den metaphysischen Realismus impliziert. Der eigentliche Fehler der Konstruktivisten, der sich auch bei Maturana findet, besteht darin, dass sie zwar von *Welten* im Plural sprechen, damit aber nicht einen Plural an Welttypen meinen. Vielmehr ist dieser Plural allein auf den *epistemischen* Welttypus bezogen, also auf jenen Typus, der bei Popper die Welt 2 markiert. Maturana wie Popper geht es dabei ausschließlich um die menschliche bzw. biologische Kognition; universal ausgelegt lässt sich dieser Typus

⁴⁵⁷⁵ Grossmann (1983: 19).

indessen als *Agentenwelt* auffassen, wobei etwa auch *AL-Agenten* zu berücksichtigen sind.⁴⁵⁷⁶ Somit gilt für *jede* Automatenklasse: *die Welt entsteht im Auge des Betrachters*.

Mit Verweis auf die Mehrweltenontologie in Pkt. 3.5 wird also deutlich, dass Maturana wie alle Konstruktivisten einem grundlegenden Irrtum aufgesessen sind, und er lässt sich gut mit Rescher (2003a: 349) verdeutlichen, wenn dieser konstatiert: »The limits of our knowledge may be the limits of *our* world, but they are not the limits of *the* world. We do and must recognize the limitations of our cognition«. Diese Feststellung hat es in sich, denn sie läuft auf die Einsicht hinaus, dass es den Widerstreit von *Realismus vs. Konstruktivismus* eigentlich gar nicht gibt. Vielmehr beziehen sie sich auf zwei unterschiedliche Ebenen bzw. Welttypen und ergänzen sich dabei einander. Denn es lässt sich zum einen leicht nachweisen, dass die Agentenwelt im Zeichen des Konstruktivismus steht und insofern ist es auch richtig, dass die Informatik in dieser Sache immer schon von "*belief systems*" einschließlich der "*belief revision*" spricht. Das Problem ist dabei das gleiche wie bei Maturana, dass sich weite Teile der AI-Tradition allein auf diesen Welttypus beschränken. Demgegenüber lässt sich zum anderen genauso leicht nachweisen, dass der Realismus im Sinne des metaphysischen Realismus zwingend vorauszusetzen ist. Und genau so ist Kants *Zensoramt* der Metaphysik gemeint. Legt man Kant richtig aus, was bisher kaum der Fall ist, dann wird es erforderlich, den *Realismus und den Konstruktivismus* in einem metaphysischen Ansatz zu vereinen. Tatsächlich besteht dazu, wie weiter unten gezeigt, auch praktische Notwendigkeit, und zwar quer durch sämtliche Disziplinen, allen voran für die Ontologie in Philosophie und Informatik. Im Allgemeinen wird man annehmen, dass es unmöglich sei, den metaphysischen *Realismus* und den *Konstruktivismus* in einem Ansatz zu einen, zumal bisher nicht nur angenommen wird, dass es sich um entgegengesetzte Positionen handelt, sondern weil auch der Konstruktivismus bisher jenseits der klassischen Metaphysik angesiedelt ist.

Allerdings ist nicht nur mit Pkt. 4.1 sowie Pkt. 6.2.2 deutlich geworden, dass es nur *einen* Typus von Metaphysik geben kann, der – auch für Kant – legitim ist. Vielmehr ist auch festzustellen, dass dieser Lösungsansatz bereits seit langem existent ist. Dabei steht außer Frage, dass die Lösung zur Synthese von Realismus und Konstruktivismus allein in einem Ansatz bestehen kann, der die Kopernikanische Wende Kants absorbiert, während er den metaphysischen Realismus im Sinne ontischer Kategorien revitalisiert. Genau das vollzieht Whiteheads (1929a) *Kosmologie*, die ausgehend von der Kopernikanischen Wende Kants eine zweite Kopernikanische Wende unternimmt, während die erste ihre Gültigkeit behält.⁴⁵⁷⁷ Maturana und andere Konstruktivisten übersehen diese entscheidende prozessmetaphysische zweite Kopernikanische Wende Whiteheads völlig; dabei finden sich all ihre Argumente bei Whitehead berücksichtigt. Denn Whiteheads *Subjekt-Superjekt* ist nicht nur im konstruktivistischen Sinne zu verstehen, sondern auch gerade als univer-

⁴⁵⁷⁶ Vgl. dazu J. Stewart (1992, 1995).

⁴⁵⁷⁷ Bei *Britischen Emergentisten* wie G.H. Lewes (1875) oder S. Alexander (1912) finden sich dazu bereits entsprechende, explizit an Kant (1781) festmachende Vorüberlegungen, auf denen Whitehead aufbaut.

sales perzipierendes Moment autonomer Systeme. Insofern ist auch die Prozessmetaphysik Whiteheads nicht nur mit der "New Physics" kompatibel, sondern auch mit der Neurobiologie bzw. dem Konzept der *Autopoiesis*.

Vor diesem Hintergrund kommen wir auf unsere obige Behauptung zurück, wonach die Synthese von Realismus und Konstruktivismus praktisch zwingend wird, und zwar quer durch alle Disziplinen. Tatsächlich ist sie unabdingbar, nämlich insofern *Cyber-physische Systeme* (CPS) für die Ontologie bzw. Metaphysik bestimmend werden. Das ist dann nachvollziehbar, wenn wir uns dem bereits in Pkt. 3.5 thematisierten *Hyperspace* zuwenden. Indem J. Ma/Yang (2005a, 2005b) dabei auf der *Hyperworld* bei Kunii et al. (1997) aufbauen, wird sogleich die unmittelbare Relevanz dieser Debatte um den Realismus und Konstruktivismus offensichtlich. Denn mit der *Hyperworld* zielen Kunii et al. (1997) auf ein "Direct Mapping between Visual Information Worlds and Real Worlds", was die durch Maturana und andere in dieser Sache bemühten kognitiven Prozesse in direkter Weise betrifft. Zweifelsohne ist die *Hyperworld* für den Streit um den *metaphysischen Realismus* wie auch um den *epistemologischen Realismus* von direkter Relevanz, wenn in ihrem Zuge postuliert wird:

»By the direct mappings, connections between information worlds and real worlds become closer and closer. The combinations of these worlds form a new world called as a *hyperworld*. In this hyperworld we can, not only get passive visual information but also, sense and control real worlds directly and actively. The direct mapping is the basic characteristic of a hyperworld.«⁴⁵⁷⁸

Während das Problem mit der *Hyperworld* für die kognitiven Prozesse der AI-Disziplin damit auch für die Informatik insgesamt außer Frage steht, führt seine Lösung über den darauf aufbauenden *Hyperspace*, der mit dem *Ubiquitous Computing* (UC) anfänglich allein auf die Verschmelzung von *physical space* und *cyberspace* zielt, wie es eine CPSS-adäquate Ontologie bzw. Epistemologie erfordern: »We envision that the future world will possibly be a highly computerized physical world known as the smart world (SW), which is created on both cyberspaces and real spaces.«⁴⁵⁷⁹ Allerdings muss sich diese CPSS-Adäquanz dabei universal auf alle CPS-Typen bzw. –Eigenarten erstrecken. Das wird im nächsten Schritt erkannt, wenn im Zeichen von *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) bei Ning (2013) *Cyber-Physical-Social Aspects* Berücksichtigung finden, während bei S. Wang/D. Wang et al. (2014) "social spaces" neben dem "physical space" und dem "cyberspace" als dritte Schicht vorausgesetzt werden. Mit dieser dritten Schicht umfasst die *Hyperworld* somit bereits drei Welttypen. Allerdings bleibt es dabei nicht, indem auch hier noch ein vierter Welttypus hinzukommt, und dabei handelt es sich um genau jenen Typus, um den es bei Maturana einzig und allein geht: Dass die Frage nach der Weltauffassung auch ganz anders angegangen werden kann als bei Maturana, wird mit Ning et al. (2016) deutlich, wenn der durch Maturana bemühte Welttypus erst im letzten Akt hinzukommt. Dabei ist die Vorgehensweise von Ning et al. (2016) gewiss legitim, indem sie mit *Cyber-physischen Systemen* (CPS) die Weltenfrage aus der Sichtweise der Schlüsseldisziplinen

⁴⁵⁷⁸ Kunii et al. (1997: 28), Hvh. im Orig.

⁴⁵⁷⁹ Vgl. J. Ma/Yang (2005b: 54).

der Physik und Informatik adressieren. Auf diesem Wege wird bei Ning et al. (2016) die Perspektive Maturanas also gewissermaßen auf den Kopf gestellt, wenn der "*thinking space*" im Sinne der Integration der *Agentenperspektive* in Cyber-physische Systeme (CPS) erst als letztes Moment hinzukommt. Somit geht es bei Ning et al. (2016) insgesamt um den *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace*, und es ist genau dieser, der für das *Internet of Everything (IoX)* als *Real World Internet (RWI)* vorauszusetzen ist.

Dabei ist wesentlich, dass der *CPST-* bzw. *IoX-Hyperspace* insofern irreduzibel ist, als alle vier "*Spaces*" wechselseitig kausal wirksam sind. Diese wechselseitige Kausalität ist hier im situativen bzw. raumzeitlichen Zusammenhang zu sehen;⁴⁵⁸⁰ d.h. also, dass sich komplexe Situationen in Raumzeit über mehrere "*Spaces*" bis hin zu allen vier "*Spaces*" erstrecken können. Soziales bzw. individuelles Verhalten bei physischen Ereignissen wie Naturkatastrophen unter Zuhilfenahme von IoX-Technologien erstreckt sich etwa über alle vier "*Spaces*" wie über verschiedene Agentenklassen. Ferner ist festzustellen, dass dieser *CPST-Hyperspace* mit *CYPO FOX* konform geht, die als *integrierte metaphysische Wissensontologie* für diesen die erforderlichen Fundamente bietet. Denn mit diesem *CPST-Hyperspace* formulieren Ning et al. (2016) letztlich nichts anderes als lediglich eine *metaphysische Position*. Diese wird jedoch weder als solche begründet, noch ist der Anschluss der *Wissensontologie* vorgesehen, was für einen MAS-basierten CPS-Ansatz allerdings unabdingbar ist. Für die Informatik ist der *CPST-Hyperspace* im Zeichen komplexer IoX-Systeme deshalb zwangsläufig als *IoX-Hyperspace* zu verstehen, als das totale Diskursuniversum die *absolute Relationalität* voraussetzt, die metaphysisch allein im Leibniz-Whiteheadschen *Automatenuniversum*, in der Technopraxis hingegen im *IoX-Hyperspace* gegeben ist. Für den praktischen Vollzug ist dabei letzterer ausschlaggebend, wobei sein ontologisches Fundament im Zeichen des Leibniz-Whiteheadschen Paradigmas mit Pkt. 3.4 bzw. Pkt. 3.5 auf *CYPO FOX* im *IMKO OCF* hinausläuft.

Keine metaphysische und keine epistemologische Diskussion, wenn sie sachgerecht geführt wird, kommen mehr an der CPS-Problematik vorbei. Das gilt unabhängig von der Frage, wie man mit ihr umgeht. Gewiss kann man dabei auch die Bungesche Position beziehen, wenn man diese entsprechend begründet, was bei Bunge auch der Fall ist. Doch irgendeine Position muss zu dieser CPS-Problematik bezogen werden, denn Cyber-physische Systeme (CPS) sind offensichtlich mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal genauso "in der Welt" und selbst "Teil" der Welt, wie es für natürliche Lebewesen vorauszusetzen ist. Ob mit dem "in der Welt-Sein" von Cyber-physischen Systemen (CPS) ihre *reale Existenz* impliziert ist, wird auf Basis disparater Metaphysiken bzw. Metaphysikklassen unterschiedlich beantwortet. Allerdings spricht alles dafür, von ihrer realen Existenz auszugehen, indem ihr kausales Moment nicht in Abrede gestellt werden kann. CPS bilden ein unteilbares System; ihre Logik ist offenbar im Sinne Zuses (1982) dem Kosmos inhärent. In dieser kausalen Relevanz bezieht dies das *Moment des Agens* notwendig mit ein,

⁴⁵⁸⁰ Vgl. J. Ma (2005: 148).

womit wir bei Kant und seiner Metaphysikkritik sind. Wenn alle Konstruktivisten auf Kant aufbauen, sollten sie sich zunächst darüber im Klaren sein, was Kant überhaupt vorschwebt. Wie in Pkt. 4.1 gezeigt, lehnt Kant die Metaphysik keineswegs ab. Vielmehr will Kant diese auf ein gänzlich anderes Fundament stellen, indem sie nicht allein rationalistisch veranlagt sein kann. Vielmehr hat sie auf den *Ratio-Empirismus* hinauszulaufen. Zum anderen wird mit Kant deutlich, dass weder Metaphysik ohne Epistemologie, noch Epistemologie ohne Metaphysik möglich ist. Vielmehr gehört beides zusammen; die Epistemologie ist also letztlich in die Metaphysik zu inkorporieren. Wenn sich die Konstruktivisten also auf Kant berufen, dann sollten sie auch diese beiden Kantischen Grundsätze befolgen. Damit aber kommen wir zu Whitehead (1929a), dessen zweite Kopernikanische Wende letztlich nichts anderes verkörpert als die Konsequenzen aus der Kantischen Position. Tatsächlich hat Whiteheads (1929a) Metaphysik letztlich keine andere Intention, als die beiden durch Kant (1781) erkannten prinzipiellen Missstände der Metaphysik zu beseitigen.

Allerdings muss man dann auch die Konsequenzen aus Whitehead (1929a) ziehen, die in dem Erfordernis einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* liegen. Diese Position ist implizit genauso unmittelbar aus der Whiteheadschen Metaphysikposition ableitbar wie diese direkt aus der Kantischen Metaphysikkritik folgerbar ist. Tatsächlich fehlt ein Baustein, wenn der metaphysische Realismus eine objektive Realität postuliert, die der Kantische Agent jedoch nicht ohne weiteres erreichen kann. Vielmehr bedarf es dazu einer regulativen Idee. Denn der Kantische Agent *konstruiert* in seiner Eigenschaft als Individuum die Welt; *seine* Welt entsteht mit Maturana im Auge des Betrachters, und dabei handelt es sich um die Agentenwelt. Insofern sollte man auch nicht den bereits in Pkt. 5.3 erwähnten *objektiven Idealismus* von J.A. Wheelers (1977) *partizipatorischen Universum* überbewerten, für das gilt: »Quantum mechanics has led us to take seriously and explore the directly opposite view that the observer is as essential to the creation of the universe as the universe is to the creation of the observer«. ⁴⁵⁸¹ Denn mit Wheelers (1990: 5) "*It from bit*" hängen genauso ontische Dispositionen zusammen wie sie schließlich auch in den metaphysischen Annahmen der Quantenphysik als solcher gegeben sind. Demgegenüber gilt für die Agentenwelt bzw. die Welt des Beobachters gewiss Maturanas (1980b: 8) These: »Anything said is said by an observer«. Doch dabei kann es mit Kant keineswegs bleiben, wenn der Metaphysik ein *Zensoramt* zukommen soll. Insofern es bei Maturana um *kognitive Prozesse* geht, lässt sich, um hier Klarheit zu schaffen, im universalen cyberphysischen Sinne entlang der Whitehead-Quineschen Pixeltheorie argumentieren und dies experimentell unterlegen: Legt man zehn Agenten genau das gleiche einfache Bild als *Realitätsausschnitt* vor, werden sie im Allgemeinen regelmäßig die gleichen Pixel im Pixelraster erkennen. Bei gleicher Sensorik maschineller Agenten wird hier sogar ein genau identisches Ergebnis erzielt; die Abweichungen, die sich bei menschlichen Agenten ergeben, resultieren allein aus den kognitiven Fähigkeiten. Jedoch nicht daraus, dass der *Rea-*

⁴⁵⁸¹ Vgl. J.A. Wheeler (1977: 27).

litätsausschnitt nicht objektiv gegeben ist. Ein experimenteller Test wird jedoch auch bei menschlichen Agenten in dieser Sache etwa insofern zu einem übereinstimmenden Ergebnis kommen können, dass sich die Pixel etwa allein auf die Bildmitte konzentrieren. Was indessen in das Bild hineininterpretiert wird, hängt unmittelbar mit der *prinzipiellen* Disparität der Agentenwelten zusammen. Und *diese* ist bei menschlichen Agenten als Individuen allein schon *immer* insofern grundverschieden, als jedes Individuum eine eigene Erfahrungshistorie besitzt. Hinzu kommen unterschiedliche kognitive Fähigkeiten. Setzen wir hingegen bei maschinellen Agenten im experimentellen Test identische Agentenwelten im Zeichen einer einheitlichen W2-Ontologie voraus, werden auch die aus dem Bild gewonnenen Schlussfolgerungen genau die gleichen sein. Aber sie sind es in praxi auch hier nicht, solange jeder maschinelle Agent *an sich* immer nur ein *lokales* Weltmodell, nämlich *sein* kognitives Weltmodell besitzt. Daraus folgt, dass die Problematik menschlicher Agenten zumindest in Bezug auf die Disparität der Agentenwelt bei maschinellen Agenten im Grunde fortbesteht. Nicht umsonst hat die AI-Forschung seit langem die Notwendigkeit zur Berücksichtigung einer "*belief revision*" erkannt, und in ihren jeweiligen Möglichkeiten bestehen elementare Unterschiede zwischen maschinellen und menschlichen Agenten.

Dessen ungeachtet besteht offensichtlich eine Kantische Lücke zwischen dem kognitiven Moment Kantischer Agenten und dem Zensoramt der Metaphysik. Und diese Lücke wird auch nicht durch Whiteheads (1929b) *Function of Reason* geschlossen. Vielmehr lässt sie sich nur dann richtiggehend schließen, wenn neben der Metaphysik und der Epistemologie ein dritter Baustein, nämlich die *Methodologie* hinzukommt. Und dieser dritte Baustein besteht in Poppers *regulativer Idee der Wahrheit*, ohne die das Kantische Zensoramt der Metaphysik nicht in Funktion treten kann und auch die zweite Kopernikanische Wende Whiteheads entsprechend nicht als abgeschlossen zu betrachten ist. Indessen ist damit letztlich bereits bei Popper ein vierter Baustein impliziert, nämlich die *formale Logik*, ohne die die *regulative Idee der Wahrheit* nicht sachgerecht umsetzbar ist. Schließlich ist aber nicht nur über Kant und Whitehead, sondern auch über Popper hinauszugehen, indem auch bei letztem ein wesentlicher Baustein fehlt. Dieser fünfte Baustein besteht in der *formalen Ontologie*, die erst die *integrierte metaphysische Wissensontologie* faktisch eröffnet und damit die formale Wissensrepräsentation im Kantisch-Whiteheadschen Sinne Wirklichkeit werden lässt. Somit wird vor dem Hintergrund des *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* deutlich, dass es gar keinen Gegensatz von Realismus vs. Konstruktivismus gibt, sondern vielmehr beides notwendig der Integration in eine einheitliche Ontologiearchitektur bedarf, wie es bei CYPO FOX als integrativer Ontologiekonzeption angedacht ist. Dabei setzt diese mit ihrer hybriden Agentenarchitektur einen *epistemologischen Dualismus* voraus, bei dem es keinen Widerspruch zwischen dem konstruktivistischen Moment der Agentenwelten und Poppers *regulativer Idee der Wahrheit* gibt,⁴⁵⁸² wie es anhand von Abb. 57 ersichtlich wird:

⁴⁵⁸² Praktisch wird dieses Regulativ durch den Rückgriff auf *Referenzontologien* bewerkstelligt.

6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien

<i>Ontologietypus</i>	<i>Ontologieebene</i>	<i>#</i>	<i>Denkweise</i>
W1-Ontologie [Natürliche Welt]	Physikalische Prozesse (Natürliche Systeme)	1	Kritischer Realismus (empirisch): ⁴⁵⁸³ Poppers regulative Idee der Wahrheit
	Chemische Prozesse (Natürliche Systeme)	2	
	Biologische Prozesse (Natürliche Systeme)	3	
W2-Ontologie [Epistemische Welt] Agentenwelt	Belief System Psychische / geistige Prozesse [Prozesse (rationaler) Intelligenz] (Intelligente Systeme / Automaten) Berücksichtigung der Besonderheiten menschlicher und maschineller Agenten Dispositionen zu W1, W3, W4 Belief Revision durch Verkopplung mit Referenzontologien als Korrekturfaktor	4	1. Kritischer Realismus (empirische Reflexion aktueller Erfahrungswelten): W2A (Referenzontologien als Regulativ) 2. Konstruktivismus: W2A (Lernprozess Subjekt) 3. Konstruktivismus (imaginativ, Invention, Design möglicher Welten): W2P, W2F
W3-Ontologie [Technologische Welt] Technopraxis	Artifizielle / Virtuelle Prozesse (Technologische Systeme)	5	1. Kritischer Realismus (empirische resp. technologische Reflexion) 2. Konstruktivismus (Design, Innovation) W3A = Realismus W3P = Konstruktivismus W3F = Konstruktivismus W3L = Realismus
W4-Ontologie [Soziale Welt]	Soziale Prozesse Berücksichtigung von Regeln, Institutionen und sozialen Verhaltensnormen (Commitment, Trustworthiness von Agenten) Empirische MAS-Analyse	6	Kritischer Realismus (empirisch) ⁴⁵⁸⁴ W4-Ontologie

Abb. 57: Epistemologischer Dualismus von CYPO FOX

Bhaskars (2008) *kritischer Realismus* wurde bereits unter Pkt. 1 durch Mora et al. (2011) ins Spiel gebracht, um auf die Notwendigkeit einer *maximalen ontologischen Verpflichtung* hinzuweisen. Auch Reed/Harvey (1992) bauen auf dem *kritischen Realismus* Bhaskars auf und votieren auf seiner Grundlage für eine Synthese von *philosophischer* und *wissenschaftlicher* Ontologie. Dabei geht es bei erster um die philosophische Ontologie Bhaskars, die die Welt als komplexes, emergentisch-strukturiertes Mehrebenenuniversum konzipiert, wie es im folgenden Pkt. 6.2.7 thematisiert wird. Demgegenüber handelt es sich bei dem, was sie unter *wissenschaftlicher Ontologie* verstehen, um die *Theorie komplexer Systeme*, konkret in Form von Prigogines dissipativen Strukturen, um die es insbesondere

⁴⁵⁸³ Angewandt nach Maßgabe des *Kritischen Rationalismus* Poppers.

⁴⁵⁸⁴ Dito zu Fn. 4583.

in Pkt. 4.3 ging. Insofern könnte man diese Synthese als einen *komplexen Realismus* bezeichnen. Aus Sicht der Informatik ist diese Position zu bekräftigen, indem es letztlich nur eine Ontologie als *integrierte metaphysische Wissensontologie* geben kann, die dann entsprechend auch vor diesem Hintergrund auf eine *Klasse-4-Metaphysik* hinausläuft. Wenn es bei der Metaphysik um die fundamentalen Strukturen der Realität geht, stellt sich vor dem Hintergrund dieses *komplexen Realismus* bald zwangsläufig die Frage, ob dieser als *Strukturenrealismus* zu verstehen ist. Mainzer (2005b: 46) stellt zu diesem fest: »Structural realism assumes that mathematical structures refer to real structures of the world, independent of syntactical and semantical representations in the human mind«. Auf Basis seiner mathematischen Untersuchungen vertritt Mainzer selbst aber nicht diesen, sondern einen epistemischen Strukturalismus, der zwischen dem empirischen Strukturalismus und dem Strukturenrealismus eine vermittelnde Position einnehmen kann. Ist demgegenüber für die Informatik der Ratio-Empirismus der techno-wissenschaftlichen Metaphysik vorauszusetzen, ist die Sachlage im Zeichen von Zuses (1982) *Computing Universe* und der im CPS-Sinne faktisch gegebenen *synthetischen Realität* auch strikt metaphysisch darstellbar. Dann ist eine entsprechende metaphysische Disposition bezüglich der fundamentalen Strukturen der Realität vorzunehmen, indem anders die fundamentalen Kategorien der Wissensontologie im Whiteheadschen Sinne nicht zu bestimmen sind.

Indem die *Top-level Ontologie* im Zuge der konzeptuellen Modellierung ein fundamentales Verständnis der Welt vermitteln können muss und dies allein auf Grundlage einer metaphysischen Ontologie als wissenschaftlicher Ontologie gelingen kann, muss die *Top-level Ontologie* in einer integrierten Ontologiekonzeption fundamental *realistischer* Natur sein. Denn lediglich in diesem Fall kann die Top-level Ontologie ihrer eigentlichen integrativen Funktion gerecht werden, nämlich, dass sie zum Mittel einer *ex-ante Harmonisierung* repräsentierter Sachverhalte avanciert.⁴⁵⁸⁵ Für MAS-basierte Systeme ist dabei eine solche *ex-ante Harmonisierung* unerlässlich, auf die die *Referenzfunktion* der Top-level Ontologie letztlich auch hinausläuft. Dabei ist eine *realistische* Top-level Ontologie insbesondere für *Cyber-physische Systeme* (CPS) unabdingbar, die mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal genauso "in der Welt" und selbst "Teil" der Welt sind. Das gilt analog für den technologischen Gestaltungsanspruch; für diesen ist ein umfassender Realitätsbezug hinsichtlich des realen Kontextes resp. der Systemumwelt notwendig, um im Rahmen des *Systems Engineering* sicherzustellen, welche Regeln bzw. Funktionen wie und wann zum Einsatz kommen können. Wie soll das möglich sein, wenn radikale Konstruktivisten die Ansicht vertreten, dass keine objektive Realität erkennbar wäre? Vielmehr ist der ganze CPS-Gedanke ohne eine *ex-ante Harmonisierung* insbesondere bezüglich McCarthys (1995) "*general world view*", ohne ein Physikmodell im Sinne objektiven Wissens schlichtweg nicht realisierbar.

⁴⁵⁸⁵ Vgl. Schneider/Brochhausen/Koepsell (2011: 30 ff.).

Insofern steht auch außer Frage, dass mit dieser realistischen Position ein gänzlich anderes methodisches Vorgehen im Zuge des *Ontology Engineering* impliziert ist, indem die strikte Verkopplung mit Referenzontologien erst Poppers *regulative Idee der Wahrheit* in die Ontologiearchitektur bringt. Umgekehrt lässt gerade die Whiteheadsche Prozessmetaphysik mit ihrer ultimativen Kategorie Kreativität im Universum zu, womit auch Spielraum für den Konstruktivismus besteht, wenn es um die Schaffung von Neuem bzw. um neue mögliche Welten geht. Mit Cyber-physischen Systemen (CPS) ist die Existenz der Außenwelt faktisch vorauszusetzen, genauso wie ihre prinzipielle Erkennbarkeit. Die systematische Generierung von Wissen über diese Außenwelt ist also möglich, was nicht nur der Fallibilismus belegt, sondern gleichermaßen der auf diesem *objektiven Wissen* aufbauende Bau technologischer Artefakte und ihre problemlose Einbettung in die physische Realität; wenn somit nicht weniger als eine neue synthetische Realität entsteht, ist der metaphysische wie epistemologische Realismus offensichtlich richtig. Jeder als Gegenposition dazu verstandene Konstruktivismus ist damit im Umkehrschluss falsch. Konstruktivistische Momente sind jedoch als solche richtig, wenn sie die epistemische Welt des einzelnen lokalen Agenten betreffen. Alle Agenten unterliegen immer begrenzter Rationalität. In dieser Kombination finden sich diese richtigen Auffassungen im *kritischen Realismus* bei Whitehead (1929a), der entsprechend für das Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt* selbst Gültigkeit besitzt.

Die Forderung nach einer CPSS-adäquaten Ontologie impliziert für fast alle ontologischen Bereiche grundlegende Anforderungen bzgl. des "*general world view*". Das gilt gerade auch für alle epistemologischen und methodologischen Fragestellungen. Cyber-physische Systeme sind immer nicht zuletzt auch *physische* Systeme, die sich allein dann sachgerecht verstehen lassen, wenn sie im Sinne von Trajektorien raumzeitlich konzipiert werden. Der "*general world view*", den CPSS-adäquate Ontologie einfordern, behandelt CPS "in der Welt" und als "Teil" der Welt, konkret als Teil der Realität: Computer sind als "*Reality Machines*" zu verstehen, bei denen es sich auf AI-Basis um artifizielle Erkenntnismaschinen und kognitive Entscheidungsautomaten handelt. Mit Verweis auf Pkt. 3.4 interagieren solche komplex-adaptiven "*Reality Machines*" in CPS-Kontexten mit *physischen Prozessen*, mit der Realität. "*Reality Machines*" stehen in den erwähnten "*nontoy worlds*" bzw. "*real lifeworlds*", und indem sie dies tun, wird deutlich, wie umfassend in der Ontologie der Informatik umzudenken ist. CPS als "*Reality Machines*" können nur dann richtiggehend "in der Welt" sein, wenn sie auf Basis objektiven, insbesondere physikalischen Wissens programmiert sind. Daraus resultieren unmittelbar fünf Axiome: (i) es gibt eine bewusstseinsunabhängige Außenwelt; der metaphysische Realismus ist als Basishypothese allgemein voraussetzbar und vorauszusetzen; (ii) es ist prinzipiell Erkenntnis über die Außenwelt möglich, d.h. es gilt darüber hinaus der epistemologische Realismus; (iii) entsprechend ist die in Pkt. 6.2.8 behandelte Korrespondenztheorie der Wahrheit zulässig und notwendig; (iv) es ist strikt zwischen objektivem und subjektivem Wissen zu trennen;

(v) dieses objektive Wissen setzt den *Kritischen Rationalismus* als einwandfreie Methodologie voraus.

Dabei ist mit Verweis auf Pkt. 4.6 im Zeichen des *IoX-Hyperspace* strikt zwischen vier *Realitätsstufen* zu differenzieren, nämlich der W1-, W2-, W3- und W4-Realität. Konkret handelt es sich um die *objektive, physische Realität* (W1A), die *Agentenrealität* als Realität aus Agentensicht (W2A), die *physisch-technologische Realität*, die im Zeichen der *Augmented Reality* um die reale Existenz technologischer Artefakte erweitert wird (W3A), sowie um das, was gemeinhin als *soziale Realität* (W4A) bezeichnet wird, die im CPSS-Sinne eine spezifische *MAS-Realität* (W4M) als *soziale Realität maschineller Agenten* gesondert ausweist. Cyber-physische Systeme (CPS) umfassen dabei im Zeichen des *CPST*- bzw. *IoX-Hyperspace* alle vier Realitätsstufen und integrieren diese ontologisch zu einem kosmologischen Ganzen.⁴⁵⁸⁶ Dabei verkörpert die W1-Realität den *metaphysischen Realismus*, während die W2-Realität als universale Agentenwelt in ihrer lokalen Einbettung *konstruktivistische* Momente aufweist. Das schließt im Zeichen des kritischen Realismus jedoch den *epistemologischen Realismus* keineswegs aus. Vielmehr ist dieser im Wechselspiel der Realitätsschichten notwendig vorauszusetzen, denn jedes Subjekt ist als *Subjekt-Superjekt* integraler Bestandteil der Natur. Alles andere wäre auch als CPSS-inadäquat zu erachten, und für die Zwecke der Informatik als nicht zielführend zu werten.

6.2.7 Multiplikative vs. reduktionistische TLO-Konzeption

»We have fallen into the habit of thinking of the actual external world as merely physical, as consisting of objects whose sole real properties are physical properties: mass, density, dimensions. This is not the case. For while the world does have the physical properties, it has also many other properties: chemical, crystallographical, biological, psychological and cultural. These are the field; and the objects in these fields have the properties we discover in them [...].«

—James K. Feibleman (1951: 332)

Mit dem *Cyber-Physical-Social-Thinking (CPST) Hyperspace* bei Ning et al. (2016) hängt neben der im letzten Punkt behandelten Kontroverse um den *Realismus vs. Konstruktivismus* eine weitere elementare metaphysische Fragestellung zusammen, die unmittelbare Relevanz für die Ontologie der Informatik besitzt. Dabei geht es um die Frage, ob die Ontologiekonzeption eine *multiplikative* oder eine *reduktionistische* ist, womit nicht nur eine zentrale Determinante des TLO-Inkommensurabilitätsproblems, sondern damit zusammenhängend auch eine jahrzehntelange überaus tiefgreifende metaphysische Diskussion in direkter Weise zusammenhängt. Diese erstreckt sich auf die Aspekte der *"New Physics"* bzw. aller nunmehr am Komplexitätsparadigma orientierten Wissenschaften,⁴⁵⁸⁷ zuvorderst auf die Selbstorganisation, die Evolution und vor allem auf die Frage der Emergenz, die wissensontologisch die *Emergenz neuer Entitäten* bedeutet. Für die Informatik sind diese

⁴⁵⁸⁶ Es gilt somit in der Tat der *Plural Realism*, von dem Dreyfus/Taylor (2015: 148 ff.) sprechen, jedoch nicht in ihrem Heideggerschen, sondern vielmehr im emergentischen Whitehead-Popperschen Sinne.

⁴⁵⁸⁷ Vgl. dazu die Ausführungen Barrows unter Fn. 2738.

Fragen auch mit Blick auf das *Emergent Computing* in metaphysischer Hinsicht zu lösen, was sich ebenfalls im cyber-physischen Kontext zu bewegen hat.⁴⁵⁸⁸ Dass die Diskussion dabei insgesamt an der *Theorie komplexer Systeme* festmachen sollte wird auch daran deutlich, dass das *Emergent Computing* einen wesentlichen Schwerpunkt in der Programmatik des *Santa Fe Institute* zur Komplexitätsforschung bildet.

Demgegenüber wird die entscheidende meta-ontologische Disposition bzgl. einer multiplikativen oder einer reduktionistischen TLO-Konzeption bisher in keinem einzigen TLO-Ansatz an den Einsichten festgemacht, die die Komplexitätsforschung im Wechselspiel mit den modernen Wissenschaften liefert. Vielmehr geht die Entscheidung letztlich allein genau darauf zurück, was das jeweilig gewählte philosophische Fundament zulässt. In neoaristotelischen Ontologien ist etwa die Bedingung des Hylemorphismus zu beachten, während platonistische Konzeptionen eine reichhaltigere Welt erlauben. Genau hier ist auch der Grund zu suchen, warum TLO-Theorieanwörter wie BFO, BWW oder OCHRE eine *reduktionistische* TLO-Konzeption verfolgen, während andere wie DOLCE, OpenCyc, SUMO oder die PSI Upper-level Ontology eine *multiplikative* TLO-Konzeption favorisieren. Dagegen machen sich naive Ontologiekonzeptionen wie die Grubersche um solche grundlegenden Fragen keinerlei Gedanken, indem sie meinen »what 'exists' is exactly that which can be represented«. ⁴⁵⁸⁹ Allerdings muss man dann auch die Konsequenzen tragen, die damit verbunden sind; diese bestehen in einem ontologischen Chaos, das dann entsteht, wenn es um die Repräsentation komplexerer Zusammenhänge geht. Doch diese bilden genau das, was das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) bzw. die Ontologie der Informatik im Kontext transdisziplinärer Wissensrepräsentation insgesamt fordert.

Ontologie ist voll von Metaphysik, und damit ist auch in dieser Hinsicht offensichtlich, dass McCarthys (1995) "*general world view*" in keiner Weise begründbar ist ohne dabei die Ontologie der Informatik insgesamt auf die Basis einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* zu stellen. Denn kein Weltmodell ist frei von umfassenden metaphysischen Dispositionen. Von dieser Einsicht ist ihre gegenwärtige Ontologiepraxis allerdings zumeist weit entfernt, was entsprechend die Notwendigkeit eines radikalen ontologischen Neuanfangs unter den Gesichtspunkten des dritten und vierten Teils impliziert. Bei dem Streit um das *multiplikative* vs. *reduktionistische* Ontologieverständnis geht es um die zentrale Frage, ob verschiedene Entitäten in der gleichen raumzeitlichen Position eines Raum-Zeit-Systems ko-lokalisiert sein können. Es geht dabei insofern um disparate Entitäten, als diese *inkompatible wesentliche Eigenschaften* aufweisen. Denn objektiv inkompatible Eigenschaften können nicht dasselbe Objekt charakterisieren. Vor diesem Hintergrund ist kritisch festzustellen, dass die Diskussion an den falschen, nämlich zu einfachen Beispielen festmacht, indem diese nur sehr bedingt die Problematik von Emergenz bzw. Komple-

⁴⁵⁸⁸ Vgl. hierzu etwa Forrest (1991).

⁴⁵⁸⁹ Vgl. Gruber (1993: 199).

xität und vor allem auch des Systemgedankens verkörpern.⁴⁵⁹⁰ Dabei ist diese Praxis nicht unproblematisch, weil diese Frage für die Ontologie *Cyber-physischer Systeme* (CPS) bzw. für eine CPSS-adäquate Ontologie insofern überaus entscheidend ist, indem diese Inkompatibilität im Kern den *Materialismus* und *Immaterialismus* von Entitäten betrifft. In einer *reduktionistischen* TLO-Konzeption wird angenommen, dass eine raumzeitliche Position *höchstens* durch *ein Objekt* okkupiert *sein kann* bzw. in KR-Hinsicht okkupiert *sein darf*. Demgegenüber wird mit einer *multiplikativen TLO-Konzeption* diese Beschränkung unter Hinweis auf das System- bzw. Emergenzargument aufgehoben. D.h. hier können *verschiedene Entitäten* in der gleichen raumzeitlichen Position ko-lokalisiert sein.⁴⁵⁹¹ Dies hat wiederum eine größere Zahl fundamentaler Kategorien zur Folge, was unter Effizienzgesichtspunkten einen Nachteil, unter dem Intelligenzgesichtspunkt jedoch ein Vorteil sein kann, indem sehr viel umfassendere Repräsentationen von Welten möglich werden. Tatsächlich lassen sich allein auf Basis der *multiplikativen TLO-Konzeption* sämtliche für ontologische Zwecke notwendigen Entitäten berücksichtigen, was insbesondere für CPS-Kontexte gilt. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass beide Alternativen immer in voller Konsequenz gelten: die *reduktionistische* TLO-Konzeption ist also vollends reduktionistisch, indem sie jenseits der raumzeitlichen Okkupation auch keine Entitäten zulässt. Es gilt das heuristische Sparsamkeitsprinzip, wie es etwa Quines Ziel der Realisierung der *sparsamsten Ontologie* (most economical ontology) entspricht. In dieser Konsequenz müssen letztlich auch alle immateriellen Entitäten entfallen, die nicht räumlich lokalisiert sind, woraus folgt, dass einem Possibilismus enge Grenzen gesetzt sind: es sind im Zeichen der Modalität "*de re*" nur *real-objektive Möglichkeiten* zulässig, keine fiktionalen.⁴⁵⁹²

Der Streit um die *multiplikative vs. reduktionistische* TLO-Konzeption hat es in sich, denn er ist für den *Cyber-Physical-Social-Thinking* (CPST) *Hyperspace* nicht zu klären ohne dass ein weiterer metaphysischer Aspekt Berücksichtigung findet, nämlich die Frage

⁴⁵⁹⁰ Wiederholt angeführt wird das Beispiel einer *Vase* bzw. einer *Statue* einerseits und dem *Ton*, aus dem diese besteht, andererseits, vgl. Masolo/Borgo et al. (2002: 9) sowie M. West (2009: 240 f.); vgl. hierzu auch J.J. Thomson (1998). Oder das Beispiel eines *Flugtickets* und dem *Papier*, aus dem es besteht, vgl. Jureta (2011: 109 f.) bzw. das Beispiel des *Siliziumwafer* eines Computerchips und dem *Silizium*, aus dem er besteht, vgl. Ermolayev et al. (2008: 102). Dies sind Beispiele, die vielleicht aus Sicht einer neo-aristotelischen Ontologie mitsamt ihrer Form-/Materie-Dichotomie bzw. ihrem Hylemorphismus als wegweisend erachtet werden können. Allerdings lässt sich auf ihrer Basis kaum die Ontologie der Informatik universal diskutieren, denn dann muss es vor allem auch um den *Systemzusammenhang* gehen. Entsprechend liefert Oberle (2006: 51) das beste Beispiel mit einer *Applikation* und ihren *Softwarekomponenten*, indem es hier tatsächlich um den Systemzusammenhang und das Emergenzmoment geht. Der *Multiplikativist* setzt dabei voraus, dass es um *unterschiedliche ko-lokalisierte Entitäten* geht, denn die Applikation emergiert *als System* erst durch das Zusammenspiel der Softwarekomponenten. Der *Reduktionist* erkennt hingegen zwar ebenfalls Unterschiede zwischen Applikation und Softwarekomponenten an, sieht sie jedoch als *eine Entität*, die man unter unterschiedlichen Sichtweisen betrachten kann. Allerdings werden in diesem Fall wiederum die Ebenen vermischt, indem die *ontische* und *epistemische* Ebene vermengt werden.

⁴⁵⁹¹ Vgl. hierzu Masolo/Borgo et al. (2002, 2003), Semy et al. (2004), Oberle (2006), Ermolayev et al. (2008), Vieu et al. (2008), M. West (2009), Obrst (2010), Jureta (2011) sowie Ovchinnikova (2012). Es ist darauf hinzuweisen, dass die TLO-Evaluierungen in dieser Sache zumeist unpräzise bzw. unvollständig sind; teils sind die Zuordnungen der TLO-Ansätze gleich mehrfach falsch, etwa bei Obrst (2010).

⁴⁵⁹² Vgl. etwa L. Schneider (2002).

der Voraussetzung einer *Mehrebenenontologie*. Was damit gemeint ist, lässt sich anhand des *CPST-Hyperspace* schnell erklären: Ontologische Ebenen besagen, dass sich die Entitäten jeden Diskursuniversums bzw. des Universums schlechthin bzgl. ihrer Wesensnatur in eine *hierarchische Ordnung* bringen lassen. Sie lassen sich entweder dem "*physical space*", "*thinking space*", "*social spaces*" oder dem "*cyberspace*" zuordnen. Eine solche hierarchische Ordnung lässt sich vor allem entweder metaphysisch-realistisch im Sinne eines Strukturrealismus, epistemologisch oder methodologisch voraussetzen. In der Komplexitätsforschung geschieht dies oftmals auf methodologischem Wege, wobei die *Hierarchie von Systemen* daraus folgt, dass komplexe Systeme *Subsysteme* anderer komplexer Systeme bilden.⁴⁵⁹³ Wie weiter unten ausgeführt zeigt sich indessen, dass diese methodologische Praxis zwar gerade unter Effizienzgesichtspunkten vorteilhaft erscheint, jedoch insgesamt nicht ausreichend ist. Mit anderen Worten muss auch die methodologische Praxis letztlich auf die *revisionäre* Metaphysik zurückgreifen, worin – jenseits Bunge – ein neuer Gedanke in der TLO-Debatte besteht. Moulines (2006: 314) ist zuzustimmen, dass Emergenz und Reduktion zuvorderst *ontologische Kategorien* bilden; gleiches ist für den Komplexitätsaspekt zu konstatieren.⁴⁵⁹⁴ Neben den kategorialen und meta-ontologischen Dispositionen ist dafür gerade der Emergenzaspekt entscheidend, der mit einer richtig verstandenen Mehrebenenontologie notwendig vorauszusetzen ist. Beide sind interdependent, somit gilt auch umgekehrt: »Emergence presupposes a notion of Levels«. ⁴⁵⁹⁵

Mit Blick auf die hierarchische Strukturiertheit der Ebenen gilt, dass sich jede dieser Ebenen durch jeweilige Spezifika auszeichnet. Das wird allein schon dadurch deutlich, dass man diese Ebenen jeweils anderen wissenschaftlichen Disziplinen zuordnen würde, also etwa der Physik und den anderen Naturwissenschaften, der Psychologie, Soziologie bzw. Ökonomik oder schließlich der Informatik. Indessen gehören diese Disziplinen unter dem Gesichtspunkt kosmologischer Erkenntnis wie letztlich auch in Bezug der transdisziplinären Organisation der *Semantic E-Sciences* unlösbar zusammen. Mit dem "*cyberspace*" muss sich der Ontologieaspekt schließlich auch auf Simons (1969) *Sciences of the Artificial* erstrecken; mit anderen Worten ist offensichtlich entscheidend über die traditionellen Erfahrungswissenschaften hinauszugehen, indem erstere primär als *Strukturwissenschaften* zu verstehen sind, die spezifische Ontologieanforderungen stellen. Sie benötigen selbstverständlich als Cyberspace genauso ein Weltmodell. Nur lässt sich dieses Weltmodell nicht mehr mit Mitteln des Hylemorphismus, Materialismus, Naturalismus, Physikalismus bzw. Reduktionismus bestreiten. Insofern können diese Ansätze auch kaum universale Gültigkeit beanspruchen, wenn man auch die *allgemein akzeptierten* Grenzen des Wissensspektrum in Richtung von H.A. Simon (1969) verschiebt – was auch erforderlich ist.

⁴⁵⁹³ Vgl. Gell-Mann (2002: 17), vgl. auch Bertalanffy (1944: 5 f.), H.A. Simon (1962: 468) und Holland (1987: 8); vgl. speziell bei *lebenden Systemen* Yagil (1999).

⁴⁵⁹⁴ Bei Moulines (2002a) wird *Komplexität* auch entsprechend als *ontologische Kategorie* aufgefasst.

⁴⁵⁹⁵ Vgl. Bickhard/Campbell (2000: 326), ohne Hvh. des Orig.

Im Sinne von Zuses (1982) *Computing Universe* muss es dann um Diskursuniversen gehen, deren fundamentale Strukturen im logico-mathematischen Sinne zu deuten sind, indem sie auf dieser Basis überhaupt erst möglich werden. Vor allem aber wird im Kontext *Cyber-physischer Systeme* (CPS) absehbar, dass alle Disziplinen, einschließlich gerade jener H.A. Simons (1969), zunehmend ineinandergreifen. Denn anders lässt sich der CPS-Konnex kaum kosmologisch begreifen bzw. techno-wissenschaftlich erschließen. Ontologisch benötigen alle Disziplinen Weltmodelle, auch wenn sie sich jeweils auf spezifische Domänenbereiche als gesonderte Realitätsausschnitte beziehen. Dann aber steht außer Frage, dass auch ihre Kategorien auf eine universale Basis bzw. eine transdisziplinäre Systematik zu bringen sind. Somit ist jede *Mehrebenenontologie* als *strukturelle Hierarchie* zu begreifen, die in ihren realistischen Varianten das Ergebnis *ratio-empirischer* metaphysischer Revision ist, also der Frage nach den fundamentalen Strukturen aller Welten. So unterstellt etwa der Physiker Whyte (1969a, 1969b, 1973) eine *hierarchische Strukturiertheit des Universums* und verbindet dabei die Aspekte Simons und Hartmanns. Vor diesem Hintergrund findet sich in der folgenden Abb. 58 auch eine Zuordnung artifizierender Disziplinen zu korrespondierenden realen Ontologieebenen:

Welttypus (Popper)	Systemische Ontologieebene (Bunge) ⁴⁵⁹⁶	#	Artificial Sciences (Simon)
Welt 1 (W1) [Natürliche Welt]	Physikalische Prozesse (Natürliche Systeme)	1	Artificial Physics ⁴⁵⁹⁷ / Artificial Universe ⁴⁵⁹⁸
	Chemische Prozesse (Natürliche Systeme)	2	Artificial Chemistry ⁴⁵⁹⁹ / Artificial Biochemistry ⁴⁶⁰⁰
	Biologische Prozesse (Natürliche Systeme)	3	Artificial Life ⁴⁶⁰¹
Welt 2 (W2) [Epistemische Welt]	Psychische / geistige Prozesse [Prozesse (rationaler) Intelligenz] (Intelligente Systeme / Automaten)	4	Artificial Intelligence ⁴⁶⁰²
Welt 3 (W3) [Artifizielle Welt]	Artifizielle / Virtuelle Prozesse (Technologische Systeme) Technologische / Praktische Welt Artefakte	5	Computer Science Robotics Engineering (Technologies)
Welt 4 (W4) [Soziale Welt]	Soziale / Ökonomische Prozesse (Sozioökonomische Systeme / Institutionen) MAS-Strukturen	6	Artificial Economics ⁴⁶⁰³ Artificial Justice ⁴⁶⁰⁴ Artificial Societies ⁴⁶⁰⁵

Abb. 58: Zuordnung von Artificial Sciences zu realen Ontologieebenen

⁴⁵⁹⁶ In Anlehnung an Bunge (1969: 21) und – Bunge (1998a) entsprechend – um *artifizielle Systeme* ergänzt.

⁴⁵⁹⁷ Vgl. etwa Sullins (1997) und Spears/Gordon (1999).

⁴⁵⁹⁸ Vgl. Sommerer/Mignonneau (1998), A.H. Nelson (2000) sowie Rennard (2005).

⁴⁵⁹⁹ Vgl. Hüning (2000) und Groß/McMullin (2003).

⁴⁶⁰⁰ Vgl. Morowitz (1994) und Astor/Adami (2000).

⁴⁶⁰¹ Vgl. hierzu etwa Langton (1986, 1989), Taylor/Jefferson (1995) und Kim/Cho (2006).

⁴⁶⁰² Vgl. als grundlegende Arbeiten etwa Newell/Simon (1965, 1976).

⁴⁶⁰³ Vgl. etwa Palmer et al. (1994) und Batten (2000).

⁴⁶⁰⁴ Vgl. McKenzie Alexander (2000).

⁴⁶⁰⁵ Vgl. Gilbert/Conte (1995), Epstein/Axtell (1996) sowie Lansing (2002).

Ist eine solche *Mehrebenenontologie* für die Ontologie der Informatik nun optional oder ist sie zwingend? Eine sachgerechte Ontologiekonzeption setzt tatsächlich eine solche Mehrebenenontologie voraus, und zwar bereits aus einem einfachen Grunde, nämlich weil eine *universale Ontologie*, die jede echte TLO-Konzeption zu verkörpern hat, eine Ordnung in das Transdisziplinaritätsmoment zu bringen hat. Abdoullaev (2008: 14) erkennt richtig, dass *universale Ontologie* sich am "*Universe of Discourse of Anything*" zu orientieren hat, was für die *Meta-Ontologie im Internet of Everything* offensichtlich auch die einzige Option sein kann. Daraus folgert Abdoullaev (2008: 15) ebenfalls die Notwendigkeit, vier "*levels of reality*" abzugrenzen, was mit CYPO FOX wie mit dem CPST-Hyperspace konform geht. Jede CPSS-adäquate Ontologie hat also von einer solchen Mehrebenenontologie auszugehen.

Allerdings sind dabei fünf zentrale Gesichtspunkte zu beachten: erstens, dass dies streng wissenschaftskonform vollzogen werden muss, indem auch Heisenberg (1989: 35) die Notwendigkeit sieht, die Existenz von "Schichten der Wirklichkeit" ontologisch vorauszusetzen. Allerdings kann dies nicht allein auf Basis einer bloßen wissenschaftlichen Metaphysik geschehen, wie sie die Bungesche *Klasse-3-Metaphysik* repräsentiert. Vielmehr muss sie zweitens auch in dieser Sache genauso zwingend *Digitalmetaphysik* sein, als sich die Problematik der *Ontology of Levels* genauso etwa mit Emmeche et al. (1997, 2000) im Bereich der AL-Forschung stellt. Damit muss die metaphysische Basis offenbar in einer techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* bestehen, die strukturalistische Metaphysik ist und somit das direkte Wechselspiel mit der Komplexitätsforschung eröffnet. Somit gilt schließlich drittens, dass sich die gesamte Problematik der Mehrebenenontologie gewiss nicht auf sprachphilosophischer Basis bzw. der *deskriptiven Metaphysik* als *Klasse-2-Metaphysik* erschließen lässt. Vielmehr kommt die Ontologie der Informatik insgesamt nicht umhin, die ontologischen Wechselwirkungen, die zwischen den "*levels of reality*" gegeben sind, in ihrer Ontologie zu berücksichtigen. Das gilt für ihre konzeptuellen Modelle ohnehin, dem in der Modellierungspraxis in Form der zunehmend gebräuchlich werdenden Modellierung von *Multi-Level Systems* entsprochen wird,⁴⁶⁰⁶ die auch für das U-PLM-Referenzszenario zukunftsweisend ist.⁴⁶⁰⁷ Allerdings muss sich dies in integrierten IT-Systemen dann auch in den semantischen Modellen entsprechend widerspiegeln. Konkret muss sich etwa die hierarchische Ordnung der "*levels of reality*" in den Domänenontologien bzw. ihrer Organisation wiederfinden; ist dies in integrierten Systemen nicht der Fall, geht die konzeptuelle Modellierung an den eigentlichen Erfordernissen vorbei.

Insgesamt zeigt sich, dass die Ontologie der Informatik nur dann die Frage der Emergenz neuer Entitäten sachgerecht erschließen kann, wenn sie selbst das Emergenzmoment in ihrer *universalen Ontologie* inkorporiert. Entsprechend gilt viertens, dass die ganze Ontologie der Informatik auf das Fundament der *Theorie komplexer Systeme* zu stellen ist,

⁴⁶⁰⁶ Vgl. etwa Iordache (2011).

⁴⁶⁰⁷ Vgl. Schönemann et al. (2016).

indem sich das Emergenzmoment allein auf dieser Basis sachgerecht verstehen lässt. Nicht umsonst werden auch die Ebenen bei der Modellierung von *Multi-Level Systems* direkt mit der *Komplexitätsfrage* verbunden,⁴⁶⁰⁸ bzw. stellt sich umgekehrt die Komplexitätsfrage in Bezug auf Ebenen systemischer Emergenz.⁴⁶⁰⁹ Damit gelangen notwendig sämtliche für das Emergenzmoment relevante Aspekte der Komplexitätsforschung ins Spiel der Ontologie; sie avanciert damit zwingend zur *Ontologie komplexer Systeme*: Hierzu gehören ein universaler Evolutions- und Selbstorganisationsgedanke, der Systemismus, Trajektorien, Ordnungsmuster und nicht zuletzt die Komplexitätsentstehung als solche. Dieser Schritt ist nicht nur in Bezug auf die *Knowledge Ontology* unabdingbar, um eine Korrespondenz zwischen realen Strukturen und semantischen bzw. Wissensstrukturen gewährleisten zu können. Vielmehr ist zu beachten, dass die Ontologie der Informatik nicht nur auf die *Knowledge Ontology* und damit nur indirekt auf die metaphysische Ontologie zielt. Letzteres ist auch zunehmend *unmittelbar* der Fall, indem es um Computersimulationen bzw. –experimente geht oder insgesamt H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* den Fokus bilden. Es sollte dabei außer Frage stehen, dass sie alle jenseits von KR-Zwecken ein *Weltmodell* erfordern, das mit seinen meta-ontologischen Dispositionen immer als metaphysisches Weltmodell zu begreifen ist. Dabei wird auch bereits explizit auf TLO-Ansätze zurückgegriffen.⁴⁶¹⁰

Somit schließt sich der Kreis, indem ein fünfter wesentlicher Gesichtspunkt hinzukommt: die ontologische Struktur des Ganzen lässt sich allein *kategorial* erfassen, womit die Wissensontologie wiederum eine *revisionäre metaphysische Ontologie* im Zeichen des *Ratio-Empirismus* notwendig voraussetzt. Denn es gilt: »Levels of reality are characterized by the categories they use, and those categories imply a certain granularity, so that granularity appears as a derived concept.«⁴⁶¹¹ Vor allem aber gilt es dabei zu beachten, dass jede ontologische Ebene vor allem in der Hinsicht sinnvoll abgegrenzt ist, wenn es sich um *unterschiedliche Kategorientypen* handelt. Diese Beziehung zwischen Ebenen und Kategorien stellt auch Poli her: »a level of reality consists of an (adequate) group of categories.«⁴⁶¹² Dann aber ist evident, dass die Ebenen im Zeichen universaler Kategoriensysteme stehen, wie sie in Pkt. 6.1.3 behandelt wurden. Somit lassen sich zumindest die "*levels of reality*" in keiner Weise ohne die Metaphysik bestimmen, wobei mit Abb. 58 auf die notwendige Korrespondenz mit allen Wissenschaften und Technologien hinzuweisen ist. Insofern ist gezeigt, dass die Ebenenbestimmung via techno-wissenschaftlicher Kategorienbestimmung notwendig auf eine *Klasse-4-Metaphysik* weist. Mit Blick auf die kategoriale Divergenz der Ebenen ist insbesondere auf den Unterschied zwischen ontischen und epistemischen Kategorien zu verweisen, während insgesamt ein entscheidender Unterschied

⁴⁶⁰⁸ Vgl. etwa Iordache (2011); vgl. hierzu ferner Nicolescu (2002) sowie Brier (2008, 2010).

⁴⁶⁰⁹ Vgl. etwa Adami (2002: 1086).

⁴⁶¹⁰ Vgl. etwa Warden et al. (2010).

⁴⁶¹¹ Vgl. Iordache (2011: 8).

⁴⁶¹² Vgl. Poli (2001b: 280).

zwischen W1-, W2-, W3- und W4-Kategorien zu konstatieren ist. Als Typen sind sie inkompatibel; kausal aber konstituieren sie gemeinsam das jeweilige Diskursuniversum – und schließlich auch die *Realität des Universums* im Ganzen. Indessen geht es allein im ersten Schritt um philosophische Kategoriensysteme; diese sind in genau diesem Mehrebenenkontext vielmehr in *Top-level Kategorien* der Informatik zu transformieren. Denn erst mit diesen öffnet sich ihre Doppelfunktion, indem sie nicht nur auf CM-Zwecke, sondern genauso auf AI/KR-Zwecke bezogen sind. Die *Top-level Kategorien* besitzen natürlich gerade auch die Funktion, im Zuge der TLO-Referenz das repräsentierte Wissen in transdisziplinärer Weise zu strukturieren.⁴⁶¹³

Mit der emergentistischen Mehrweltenontologie gelangen diverse realistische Ansätze wie der *Schichtengedanke* Hartmanns (1940), die *Drei-Welten-Lehre* Poppers (1967, 1972a), die *"Levels of Reality"* bei Poli (1998, 2002b, 2010a) sowie die *ontologischen Systemebenen* bei Bunge (1969) ins Spiel. Dabei bilden Hartmann, Popper und Poli eine homogene Gruppe, während ihr Verhältnis zur Bungeschen Mehrweltenontologie ein überaus heterogenes ist. Alle Ansätze teilen jedoch im Zeichen der *Neuen Ontologie* den Gedanken des *Ratio-Empirismus* bzw. der revisionären Metaphysik. Demgegenüber gibt es auch Ontologen wie bei Heil (2003: 17 ff.), die ebenso einen *metaphysischen Realismus* voraussetzen und einen sprachphilosophischen Zugang zur Ontologie ablehnen, jedoch dabei explizit eine *"one-level ontology"* vertreten. Mit anderen Worten lehnen sie explizit den Gedanken einer *Mehrweltenontologie* ab. Sind solche Positionen – um Heil (2006) beim Wort zu nehmen – tatsächlich *ontologically serious?* – Das hängt vom Ontologieverständnis ab; vor dem Hintergrund der *techno-wissenschaftlichen* Ontologie Whiteheads, auf deren Basis sich eine einheitliche Ontologie von Philosophie wie aller Fachdisziplinen einschließlich der Informatik eröffnet, gewiss nicht. Tatsächlich hält Heil (2006: 21, Fn. 5) den Emergenzgedanken bzw. die Mehrebenenontologie für völlig unbedenklich, wenn es um *komplexe Systeme* geht. *"Levels of Reality"* sind für Heil also allenfalls *methodologisch* machbar, jedoch nicht nach Maßgabe eines *Strukturenrealismus*. Die Frage, ob Heils (2003) *Ontological Point of View* eine seriöse Position darstellt, relativiert sich zusehends, wenn er glaubt, dass die von ihm angegriffene Idee der *Mehrebenenontologie* auf die von ihm ebenso angegriffene *"linguisticized metaphysics"* zurückginge,⁴⁶¹⁴ mit der letztlich nichts anderes gemeint ist als die auf Strawson (1959) zurückgehende deskriptive Metaphysik. Tatsächlich aber ist die Idee der *Mehrebenenontologie* primär mit dem Emergentismus von S. Alexander, Morgan, Whitehead oder Hartmann verbunden. Wir kommen damit auf *"Alexander's Dictum"* von Pkt. 4.6 zurück,⁴⁶¹⁵ wonach im Zeichen von S. Alex-

⁴⁶¹³ Vgl. hierzu Sowa (1995) sowie Poli (2002a, 2002b, 2003b); vgl. hierzu auch Steimann/Nejdl (1999: 5).

⁴⁶¹⁴ Vgl. dazu Heil (2007: 12): »[T]he idea that the world consists of hierarchically ordered levels of being [...] is at the heart of the multiple realizability craze and the accompanying doctrine of 'non-reductive physicalism'. Both are children of a linguisticized metaphysics according to which significant predicates, or at least those predicates we take seriously as vehicles of unadulterated truths about the world, must 'express' properties«.

⁴⁶¹⁵ Vgl. J. Kim (1992: 134; 1993: 348).

ander (1920) mit den pointierten Worten J. Kims generell gilt: »*To be real is to have causal powers*«;⁴⁶¹⁶ dieses läuft im *Emergentismus* als *nichtreduktivem Physikalismus* schließlich mit J. Kim (1993) auf die Feststellung hinaus: »*to be real, new, and irreducible, therefore, must be to have new, irreducible causal powers*«.⁴⁶¹⁷

Indem Heil selbst eine realistische Position vertritt, müsste er auch die umfassende Auseinandersetzung mit diesen *realistischen* Mehrebenenontologien suchen und könnte sie auch erst dann in Frage stellen. Allerdings geht es darum bei Heil (2003) allenfalls am Rande.⁴⁶¹⁸ Entgegen dieser Metaphysiken vertritt Heil einen *reduktiven Physikalismus*, und damit besteht für ihn allein in der Annahme der Irreduzibilität höherer auf niedere Ebenen das eigentliche Problem. Ungeachtet seiner "*one-level ontology*" weist seine Position damit gewisse Ähnlichkeiten zur Buneschen auf, wobei Heil jedoch im Gegensatz zu Bunge keinen systematischen *Ratio-Empirismus* vertritt. Heil (2003) begnügt sich nicht damit, wie Bunge die bloße Synthese der Fachwissenschaften durch die *allgemeinste Theorie* der Metaphysik zu realisieren, was gewiss schon herausfordernd genug ist. Letztlich ist Heils (2003) metaphysischer Anspruch ein weitaus größerer; er besteht in nicht weniger als in »philosophical emendations to those sciences«.⁴⁶¹⁹ Allerdings dürfte dies schwierig werden, wenn man nicht zuvor das Bunesche Ziel der Metaphysik einlöst; worum es vielmehr gehen muss ist der Gedanke der Zirkularität, den das Whiteheadsche (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« letztlich impliziert. Wie diese Abhandlung zeigt, lassen sich dann auf *dieser* zirkulären Basis Whiteheads solche Emendationen in Bezug auf die Ontologie der Informatik bzw. der Ontologie von Fachdisziplinen in tatsächlich seriöser Form unterbreiten. Somit steht zumindest für die Ontologie der Informatik die Ernsthaftigkeit solcher ontologischen Positionen vollends in Frage.

Entsprechend ist es auch vollends unerheblich, wenn Heils Position implizit in grundsätzlicher Weise mit jener Hartmanns, Poppers oder Polis konfligiert. Vielmehr wird insgesamt mit dem *reduktiven Physikalismus* Heils wie mit dem *materialistischen Emergentismus* Bunes deutlich, dass sich hinter der ganzen Debatte in Wahrheit ein ganz anderes Problem verbirgt. Das eigentliche Problem, das hinter den Positionen Heils und Bunes steht, ist der Widerstreit von *Materialismus vs. Antimaterialismus*, und damit letztlich jener der Philosophien von Aristoteles und Platon. Dieser Widerstreit ist für die Ontologie der Informatik schnell entschieden; sie muss sich nur nicht lediglich formallogisch bzw. informatorisch, sondern allen voran auch *ontologisch* auf ihre Ursprünge zurückbesinnen: auf die *Metaphysica* Leibnizens, die dabei im Zeichen zellulärer Automaten in ihrer modernen organismischen Whiteheadschen Variante für die Informatik zugrunde zu legen ist. Setzt man im Sinne Platons ein *mathematisches Universum* und kein aristotelisches voraus, steht auch ein *Strukturenrealismus* nicht zwingend mit der *methodologischen* Position der

⁴⁶¹⁶ Vgl. J. Kim (1993: 348), Hvh. im Orig.

⁴⁶¹⁷ Vgl. J. Kim (1993: 350), Hvh. im Orig.

⁴⁶¹⁸ Vgl. etwa Heil (2003: 78).

⁴⁶¹⁹ Vgl. Heil (2006: 21).

Komplexitätsforschung im Widerspruch. Denn die Komplexitätsforschung ist in ihrem methodologischen Kern letztlich Mathematik bzw. als Computerwissenschaft formale Logik. Somit verlagert sich diese Sache allein auf die Frage bzgl. der Natur logico-mathematischer Sätze. Indem *Cyber-physische Systeme* (CPS) unter kausalem Gesichtspunkt Bestandteil der Natur sind, wird dabei die Frage formaler Logik im Sinne von Shannons *Schaltalgebra* zu einer materialen. Indem es den Systemgedanken auch bereits bei Aristoteles ([Met.]: 1045a) gibt, implizieren *Cyber-physische Systeme* (CPS) somit schließlich die notwendige Synthese der beiden antiken philosophischen Positionen, wie sie Leibniz und Whitehead entsprechend vornehmen. Somit ist nicht nur evident, dass die philosophische Ontologie letztlich ebenso zwingend *Cyber-physische Systeme* (CPS) vorauszusetzen hat wie die Ontologie der Informatik, sondern dass sie dabei im Zeichen eines universalen Ontologieansatzes gemeinsam auch allein auf einen metaphysischen *Antimaterialismus* hinauslaufen können. Im Gegensatz zum Immaterialismus wird damit die Maßgeblichkeit der Materie keinesfalls geleugnet. Das aber ist bei allen führenden TLO-Ansätzen komplett unverstanden, ansonsten wären sie anders konzipiert.

Mit Leibnizens bzw. Whiteheads Antimaterialismus unmittelbar kompatibel sind die Mehrebenenontologien von Hartmann, Popper und Poli. Mit den obigen Ausführungen ist ihr Emergentismus genauso mit jenem der *Theorie komplexer Systeme* kompatibel, wenn man ihren metaphysischen Realismus, der im Zusammenspiel mit einer Mehrebenenontologie letztlich einen *Strukturenrealismus* impliziert, im platonistischen Sinne versteht, wie es bei Leibniz und Whitehead der Fall ist. Poli (1998) differenziert "*levels of reality*", die von *ontologischer* Natur sind, und "*levels of description*", die für ihn von *epistemologischer* Natur sind. Dabei trennt er zwischen drei ontologischen Schichten (ontological strata), nämlich (i) der *materiellen* Schicht (mit physischer, chemischer und biologischer Ebene), (ii) der *psychologischen* Schicht sowie (iii) der *sozialen* Schicht (mit Ökonomie, Recht, Geschichte, Kunst usw. als Ebenen). An anderer Stelle differenziert Poli (1996) vor diesem Hintergrund fünf ontologische Ebenen mit folgenden Objekten: (i) unbelebte physische (konkrete) Objekte; (ii) belebte physische (konkrete) Objekte (Organismen); (iii) psychologische Objekte des Geistes; (iv) soziale resp. institutionelle Objekte; sowie (v) abstrakte, idealistische oder fiktive Objekte der Wissenschaften und Künste. Wesentlich ist, dass sich die Objekte dabei über mehrere Schichten zu erstrecken vermögen: »Almost all actually existent entities are multi-stratified. Which means that *the levels and strata of reality do not distinguish items. The levels are internal to items but not as their parts!*«.⁴⁶²⁰ In diesem Sinne handelt es sich bei Polis "*Levels of Reality*" um ein multiplikatives Ontologieverständnis, das er jedoch im Unterschied zu nahezu allen anderen Ansätzen in der Ontologiediskussion der Informatik explizit in den Kontext *revisionärer* Ontologie bringt.⁴⁶²¹ Tatsächlich besteht genau darin die Linie Whiteheads, Hartmanns und Poppers,

⁴⁶²⁰ Vgl. Poli (2002b: 646), Hvh. im Orig.

⁴⁶²¹ Vgl. Poli (2002b, 2010a), vgl. insbes. Poli (2010a: 10 ff.).

während die meisten multiplikativen Ansätze im bloßen Zeichen kognitiver bzw. linguistischer Konzepte und damit in jenem der deskriptiven Metaphysik bzw. Sprachphilosophie stehen. Mit möglichen Welten mag das konform gehen, nicht aber mit dem *realen Emergenzprinzip*, das in erster Linie hinter der Notwendigkeit eines multiplikativen Ontologieverständnisses steht. Mit Emmeche et al. (1997, 2000) und anderen wird deutlich, dass die Ontologie der Informatik hier, und nicht an sprachlichen Konstrukten anzusetzen hat.

Wenn es mit Poli (1996) ad (iv) um soziale resp. institutionelle Objekte geht, stellt sich mit Searle (2005: 1) automatisch die Frage: »What is the ontology, the mode of existence, of institutional reality?«. Mit Searle (1995, 2005) wird deutlich, dass es einen separaten, institutionenbasierten W4-Existenzmodus geben muss, dem dabei eine besondere Realitätsbedingung zukommt. Denn es geht um eine soziale Realität, die – indem sie auf der W2-Realität aufbaut – letztlich ebenso konstruktivistische Momente in sich trägt. Diese Realität ist zwar intersubjektiv *objektiviert*, nicht aber objektiv, indem jede W4-Realität keinesfalls zwingend ist. Denn sie wird erst zwingend durch die Institutionen bzw. Regeln, die im Zeichen von W3-Artefakten definiert bzw. durch Koalitionen von Agenten auf der sozialen W4-Ebene zunächst vereinbart und im Zeichen von A.O. Hirschmans (1970) *Exit, Voice, and Loyalty* dann durch die gesamte Agentenklasse mehr oder weniger akzeptiert wird. Im MAS-Sinne gilt dieser soziale Zusammenhang in gleicher Weise für menschliche wie etwa im Zeichen des *Commitment-Based SOA* (CSOA) für maschinelle kognitive Agenten.⁴⁶²² In *vollends autonomen* Systemen ist entgegen der Sichtweise von Huhns/Singh (1998: 87) *nicht* davon auszugehen, »that it is the human designer who determines the agent's beliefs, desires, and intentions in an environment«. Vielmehr muss es die Konsequenz autonomer MAS/SOA-Systeme sein, dass sich diese in komplexen Systemen aus den sozialen Interaktionen maschineller Agenten selbst herausformen. Insofern ist zwar richtig, dass letztlich der Agent selbst »explicit manipulations on those structures to carry out means-ends reasoning or plan recognition« vornimmt,⁴⁶²³ doch ist dies in komplexen IoX-Systemen, bei denen es um *vernetzte* Agenten geht, dann auch im MAS-Sinne im Zeichen einer W4/W2-Verkopplung auf Basis *sozialer Systeme* zu konzipieren. Entsprechend ist im W3/W4-Sinne dabei die in Pkt. 4.6 erörterte *Ontologie der Artefakte* mit einzubeziehen. Dabei wird mit Searle deutlich, dass es eine W4/W1-Relation gibt, indem es sein Ansinnen ist, »to explain how the ontology of institutions fits into the more basic ontology of physics and chemistry«.⁴⁶²⁴ Tatsächlich sind *beide* Ebenen empirisch zugänglich, so dass mit H.A. Simons (1995a) AI-Verständnis als *empirical science* für sie einheitlich gelten kann: »Scientific laws limit the set of possible objects, natural or artificial. No object, artificial or natural, that does not obey these laws – satisfy these constraints – can exist«.⁴⁶²⁵

⁴⁶²² Vgl. dazu etwa M. Singh et al. (2009).

⁴⁶²³ Vgl. Huhns/Singh (1998: 88).

⁴⁶²⁴ Vgl. Searle (2005: 10).

⁴⁶²⁵ Vgl. H.A. Simon (1995a: 99).

Andererseits sind jedoch mit Searle genauso notwendig die gewichtigen Unterschiede beider Ebenen zu beachten:

»[I]t is essential to distinguish between those features of the world that are totally independent of human feelings and attitudes, observer independent features, and those features of the world that exist only relative to human attitudes. [...] It is important to see that one and the same entity can have both observer independent features and observer dependent features, where the observer dependent features depend on the attitudes of the people involved.«⁴⁶²⁶

Somit steht außer Zweifel, dass im Zeichen des *CPST-Hyperspace* eine W1/W4-Differenzierung unumgänglich wird, wie sie mit *CYPO FOX* vorgenommen wird. Das Erfordernis zu dieser Differenzierung zeigt sich genauso bereits bei N. Hartmanns (1940) Schichtengedanken.⁴⁶²⁷ Poli (1998) bzw. Gnoli/Poli (2004) lassen es nicht nur dabei bewenden, sich mit ihrem Mehrebenengedanken unmittelbar auf Hartmann zu beziehen. Vielmehr würdigt Poli (2002b: 661) Hartmann auch als wohl wichtigsten Ontologen des zwanzigsten Jahrhunderts und hebt dabei seine enge inhaltliche Verwandtschaft zu Peirce und Whitehead hervor. Tatsächlich sind die Positionen Hartmanns und Whiteheads letztlich mehr oder minder identisch. Indessen wird mit Poli (2002b, 2010a) deutlich, dass die Informatik nicht um die Auseinandersetzung mit dem im vorausgehenden Pkt. 6.2.6 erwähnten metaphysischen Realismus Poppers (2002b) umhinkommt: Ontologie ohne objektive Realität ist letztlich ein sinnloses Unterfangen, weil sie bei der W2-Ontologie stehenbliebe. Dabei ist es Sache der im nachfolgenden Pkt. 6.2.8 diskutierten Wahrmacher, auf welche Art diese Objektivierung im Einzelnen erfolgt. Gilt es eine objektive Realität vorauszusetzen, ist das, was unter *Realität* verstanden wird, im Sinne der wissenschaftlichen Metaphysik *ratio-empirisch* zu begründen. Es spricht vieles dafür, mit N. Hartmann (1940: 177) die metaphysische Voraussetzung zu treffen, dass *Realität* adäquat im Sinne ontologischer Schichtenmodelle als "*Schichten des Realen*" zu verstehen ist, wobei allen Schichten insofern dieselbe Realität zukommt, als sie nicht außerhalb der realen Welt stehen.⁴⁶²⁸ Feiblemans (1951, 1954b) *axiologischer Realismus* läuft mit seinen integrativen Ebenen in eine identische Richtung. Analoges ist für Poppers (1972a) *Drei-Welten-Lehre* zu konstatieren. Demgegenüber ist zwar Emergenz und eine emergentistische Mehrebenenontologie auch in Bunges (1969, 1998a) emergentistischen Materialismus gegeben, aber in diesem ist letztlich nur das Materielle real, aus dem im Zeichen von Bunges aufgesetztem *Systemismus* dann das – wohlgermerkt *reduktiv* – *Emergente* entsteht. Insofern steht der *irreduzible Emergentismus*, den Whitehead, Hartmann, Popper und Poli im Einklang mit dem Britischen Emergentismus vertreten,⁴⁶²⁹ der *reduziblen Emergenz* im emergentisti-

⁴⁶²⁶ Searle (2005: 3).

⁴⁶²⁷ Mit Hartmann (1943) wird deutlich, dass der *Schichtengedanke* eine lange Tradition besitzt.

⁴⁶²⁸ Vgl. hierzu N. Hartmann (1942: 217).

⁴⁶²⁹ Obschon jeweils spezifisch formuliert, sind dabei letztlich alle Positionen insofern kompatibel, als sie im Zeichen eines *platonistischen Antimaterialismus* stehen, ohne dabei die Maßgeblichkeit der Materie zu leugnen. Das beginnt mit der Position von G.H. Lewes (1875: 413 f.), der feststellt: »The emergent is unlike its components in so far as these are incommensurable, and it cannot be reduced either to their sum or their difference. But on the other hand, it is like its components, or, more strictly speaking, it is these: nothing can be more like the coalescence of the components than the emergent which is their coalescence«. Diese Tradition führt weiter über C.L. Morgan (1933: 39), der konstatiert: »From the point of

schen Materialismus Bunes in diametraler Weise gegenüber, indem mit ersteren ein *nicht-reduktiver Physikalismus* und mit letzterer ein *reduktiver Physikalismus* verbunden ist, was wiederum auf Basis aller relevanten techno-wissenschaftlichen Theorien zu verstehen ist. Entsprechend sollte man bei der Wahl der Mehrebenenkonzeption behutsam vorgehen, wenn etwa der nichtreduktive Physikalismus im Zeichen der *Physik der Evolutionsprozesse* bzw. der *"New Physics"* als Komplexitätsphysik automatisch einen *4D-Ereigniszentrismus* impliziert, während der reduktive Physikalismus die *dritte Revolution der Physik* nicht mitmacht. In der nachfolgenden Abb. 59 finden sich die vier diskutierten, in der Ontologie der Informatik gängigen Mehrebenenkonzepte von Popper, Bunge, Poli und Hartmann gegenübergestellt:

view of emergent evolution [...] it seems that, if one may liken it to a sequence of natural games, there are, at successive stages of advance, new games in play each with new rules of the game which can be learnt only by watching the game in play – that is, by observation and experiment«. Sie reicht weiter über N. Hartmann (1935: 3), der feststellt: »Den Geist aus der Materie erklären, oder die Materie aus dem Geist, das Sein aus dem Bewußtsein verstehen, den Organismus auf Mechanismus reduzieren oder das mechanische Geschehen für verkappte Lebendigkeit ausgeben – das alles und sehr vieles mehr ist heute ein Ding der Unmöglichkeit«. Dabei sei mit N. Hartmann (1940: 182) an anderer Stelle ergänzt: »Von Schicht zu Schicht, über jeden Einschnitt hinweg, finden wir dasselbe Verhältnis des Aufruhens, der Bedingtheit ‚von unten‘ her, und doch zugleich der Selbständigkeit des Aufruhenden in seiner Eigengeformtheit und Eigengesetzlichkeit. Dieses Verhältnis ist die eigentliche Einheit der realen Welt. Die Welt entbehrt bei aller Mannigfaltigkeit und Heterogenität keineswegs der Einheitlichkeit. Sie hat die Einheit eines Systems, aber das System ist ein Schichtensystem. Der Aufbau der realen Welt ist ein Schichtenbau«. Schließlich ergreift auch Popper eine analoge Position, indem er anmerkt: »The usual materialist and physicalist view is that all the possibilities which have realized themselves in the course of time and of evolution must have been, potentially, preformed, or pre-established, from the beginning. This is either a triviality, expressed in a dangerously misleading way, or a mistake. [...] With the emergence of man, the creativity of the universe has, I think, become obvious. For man has created a new objective world, the world of the products of the human mind [...]«, vgl. K.R. Popper in Popper/Eccles (1977: 15).

<i>Popper (CYPO)</i>	<i>Bunge</i>	<i>Poli</i>	<i>Hartmann</i>
Welt 1 (W1) [Natürliche Welt]	Physikalische Prozesse	unbelebte konkrete Objekte ⁴⁶³⁰	anorganisch/materiell (Reich des Physisch- Materiellen) ⁴⁶³¹
	Chemische Prozesse Biologische Prozesse	belebte konkrete Objekte	organisch (Reich des Organischen) ⁴⁶³²
Welt 2 (W2) [Epistemische Welt]	Psychische / geistige Prozesse	psychologische Objekte	seelisch (Reich des Seelischen) ⁴⁶³³
Welt 3 (W3) [Artifizielle Welt] ⁴⁶³⁴	Soziale Prozesse ⁴⁶³⁵ (Technologie)	soziale resp. institutionelle Objekte	geistig (überindividuell) (Reich des geistigen Seins) ⁴⁶³⁶
	Artifizielle Prozesse ⁴⁶³⁷ (Technologie)	abstrakte, idealistische sowie fiktive Objekte	--- ⁴⁶³⁸
Welt 4 (W4) [Soziale Welt]	Soziale Prozesse (Wissenschaft)	soziale resp. institutionelle Objekte	geistig (überindividuell) (Reich des geistigen Seins)

Abb. 59: Zuordnung von Mehrebenenontologien bei CYPO FOX

Wenn jede *Mehrebenenontologie* als *strukturelle Hierarchie* zu begreifen ist, muss es in kategorialer Hinsicht sinnvoll erscheinen, von *vertikalen, horizontalen und lateralen Kategorien* zu sprechen. Die *vertikalen Kategorien* sind jene fundamentalen Kategorien, die für jede Ontologieebene *universal* gelten; es sind die universalen Kategorien der *Top-level Ontologie*, die das "*common formal framework*" bzw. "*ontological backbone*" der *Mehrebenenontologie* stellt und dieses hierarchisch integriert. Auch Obrst/Cassidy (2011: 104) halten den Gedanken, die *Top-level Ontologie* mit den Ontologie- resp. Realitätsebenen etwa Polis (1996) zu verbinden, für zielführend. Während der Stellenwert solcher universalen, d.h. *domänenunabhängigen* TLO-Kategorien in der CM-Sphäre ohnehin außer Frage steht, werden sie auch in der AI/KR-Sphäre explizit gefordert.⁴⁶³⁹ Dabei wird jedoch mit Pkt. 6.2.2 regelmäßig übersehen, dass man allein auf Basis der *revisionären*, nicht aber der deskriptiven Metaphysik zu diesen kommen kann.⁴⁶⁴⁰ Wie oben gesagt, gilt mit Abb. 59 gerade für die transdisziplinären universalen Kategorien der Grundsatz unbedingter techno-

⁴⁶³⁰ Vgl. zur Abgrenzung der Ontologieebenen Poli (1996).

⁴⁶³¹ Vgl. Hartmann (1940: 185); bei Hartmann (1949b: 122) auch *Reich des Anorganischen* resp. *Reich des Materiellen* genannt.

⁴⁶³² Vgl. Hartmann (1940: 183; 1950: 24 ff.).

⁴⁶³³ Vgl. Hartmann (1949b: 124; 1950: 172, 355).

⁴⁶³⁴ Die *artifizielle Welt* ist hier im W3-Sinne im breiten Artefaktverständnis Bunges (1985b) gemeint.

⁴⁶³⁵ Gemäß Bunge (1985b: 222) fallen auch *soziale Prozesse* letztlich unter artifizielle Prozesse, so dass eine W3-Zuordnung erfolgen kann; auch dann, wenn Bunge Poppers Welt 3 gerade *nicht* als eigenständige reale Welt akzeptiert.

⁴⁶³⁶ Vgl. Hartmann (1940: 183).

⁴⁶³⁷ Diese Ebene findet sich bei Bunge (1969: 21) noch nicht, sondern erst etwa bei Bunge (1998a); Polis (1996) dazu korrespondierende Objekte lassen auch erahnen, warum diese Ebene in Bunges materialistischer Ontologie erst nachträglich im Sinne von Simons (1969) *Sciences of the Artificial* eingefügt wurde. Tatsächlich ist sie mit einer materialistischen Ontologie schwer vereinbar.

⁴⁶³⁸ Hartmanns Ontologie ist durch und durch Realontologie.

⁴⁶³⁹ Vgl. Lenat/Guha (1990), Skuce/Monarch (1990), Pirlein/Studer (1995), Sowa (1995) oder Skuce (1997).

⁴⁶⁴⁰ Insofern läuft auch die Idee von Skuce (1997), einen *Konsens* bezüglich der *Top-level Kategorien* bar jeder philosophischen Grundlegung zu realisieren, ins Leere. Denn alle kategorialen und meta-ontologischen Fragen stellen sich dennoch, und diese lassen sich allein auf Basis eines in sich kohärenten Systems in konsistenter Weise beantworten.

wissenschaftlicher Korrespondenz. Denn ohne diesen Grundsatz kann es kein echtes "*ontological backbone*" geben, als das die *Top-level Ontologie* gerade im Kontext der *Mehrebenenontologie* fungieren können muss. Insofern ist es auch konsequent, dass Guarino (1995, 1998) zwar die Idee universaler Kategorien für sich reklamiert,⁴⁶⁴¹ nicht jedoch die Idee von "*levels of reality*", ohne die jedoch eine *Ontology of Levels* wenig sinnvoll ist.

Mit der Frage, wie sich solche *Mehrebenenontologien* bzw. Schichtenmodelle der Realität in die formale Ontologie umsetzen lassen, kommen wir zu den *horizontalen Kategorien*. Dabei handelt es sich um jene Kategorien, die allein für jede spezifische Ebene gelten. Es geht also um W1-, W2-, W3- und W4-Kategorien bzw. mit Verweis auf Abb. 59 gerade innerhalb der Welt 1 um solche Kategorien, sie sich etwa speziell auf chemische oder biologische Prozesse beziehen. Damit wird deutlich, dass die *horizontalen Kategorien* die kategoriale Strukturierung aller Domänenontologien auf der jeweiligen Ebene übernehmen.⁴⁶⁴² Entsprechend werden die universalen *Top-level Kategorien* durch mit ihnen korrespondierende *spezifische* Kategorien ergänzt, die sich auf die bei Poli (1996) speziell auch im KR-Kontext abgegrenzten Ontologie- resp. Realitätsebenen beziehen.⁴⁶⁴³ Dabei gilt: »Each ontological level is characterized by the presence of a group of categories typical of that level. The first task, therefore, is to find the most general categories typical of that level. There will then be groups of categories that mark out particular sub-levels.«⁴⁶⁴⁴ Polis (1996) Ontologie- resp. Realitätsebenen unterscheiden sich dabei gegenüber jenen Hartmanns (1940) insofern maßgeblich, als sie sich gerade nicht bloß auf die realen, für die Philosophie relevanten Zusammenhänge beziehen, sondern vielmehr die *techno-wissenschaftliche* Ontologie in konzeptueller wie semantischer Hinsicht eröffnen. Dieser Schritt, der sich auch in CYPO FOX findet, ist der letztlich entscheidende, um für Philosophie und Informatik eine integrierte Ontologiekonzeption zu realisieren. Gleichzeitig wird die *Mehrebenenontologie* damit zum echten Integrator für alle Domänen- und andere nachgeordneten Ontologiearten. Er ist Voraussetzung dafür, dass sich alle Ontologien *ad hoc* miteinander verschalten lassen. Dazu ist schließlich noch eine dritte Kategorienart entscheidend, nämlich die *lateralen Kategorien*. Dabei handelt es sich um die integrativen Kategorien der *Enterprise Ontology* als Kernontologie. Hier geht es um jene Kategorien, die für die jeweilige Architektur der *Smart Enterprise Integration* (SEI) erforderlich sind und dabei im Zeichen des SOC-Paradigmas stehen. Insofern finden sich alle in Abb. 3 illustrierten Ontologiearten in der Mehrebenenontologie wieder, und beziehen dabei entweder eine vertikale, horizontale oder laterale Position. Somit lassen sich mit solchen Mehrebenenontologien auf Basis einer integrierten Ontologiekonzeption auch die verschiedensten Ontologiezwecke realisieren:

⁴⁶⁴¹ Vgl. hierzu auch Guarino/Guizzardi (2006: 121 ff.).

⁴⁶⁴² Vgl. Poli (2010a: 10).

⁴⁶⁴³ Vgl. Poli (2010a: 10); vgl. hierzu auch Gnoli/Poli (2004).

⁴⁶⁴⁴ Vgl. Poli (2002b: 654).

6. Reflexion der meta-ontologischen Kriterien IoX-adäquater Ontologien

<i>Ontologietypus</i>	<i>Ontologieebene</i>	<i>Ontologiezwecke</i>
W1-Ontologie [Natürliche Welt]	Physikalische Prozesse	Empirische Analyse (Wissenschaft)
	Chemische Prozesse	
	Biologische Prozesse	
W2-Ontologie [Epistemische Welt]	Psychische Prozesse (menschliche Agenten) Logico-mathematische Prozesse (maschinelle Agenten)	Selbstreflexion Agenten (Belief Revision) Entscheiden / Handeln Imagination
W3-Ontologie [Artifizielle Welt]	Soziale Prozesse (Soziotechnologie)	Technologisches Design
	Artifizielle Prozesse (Technologie)	Technologisches Design
W4-Ontologie [Soziale Welt]	Soziale Prozesse	Empirische Analyse (Wissenschaft)
	MAS-Prozesse	MAS-Analyse

Abb. 60: Integration techno-wissenschaftlicher Ontologie bei CYPO FOX

Die oben geäußerte Kritik an den zu einfachen Beispielen, anhand derer man sich einer Entscheidung bei der meta-ontologischen Disposition zu nähern sucht, gilt auch insofern, als sie das kausale Verhältnis der Technologie zur physischen Ebene nicht sachgerecht zu verdeutlichen vermögen. Das ist zumeist auch gar nicht ihr Anspruch, weil es in einer deskriptiven Metaphysik um die sprachliche, nicht um die realistische Ebene geht. Hilfreicher für die meta-ontologische Disposition bzgl. Multiplikationismus vs. Reduktionismus ist etwas anderes, etwa Poppers Hausbeispiel: Jeder Materialist, aber auch Antimaterialisten wie Popper zählen ein physisch existentes Haus zur physischen Welt 1. Nun gibt es einen Bauplan des Hauses, und dieser gehört in der Popper-Systematik in die Welt 3. Dabei ist jedoch zu beachten, wie die kausale Relation in diesem und ähnlichen Fällen aussieht: denn diese weist nicht etwa, was direkt diese Entitäten betrifft, von der Welt 1 in die Welt 3. Vielmehr verweist diese Relation umgekehrt von der Welt 3 in die Welt 1. Es geht also um das Moment der *Downward Causation*, dem mit J. Kim (1993) der *nichtreduktive Physikalismus* verpflichtet ist, worauf wir weiter unten näher zu sprechen kommen. Insofern ist gezeigt, dass es kaum sinnvoll sein kann, in solchen Fällen W3-Entitäten auf W1-Entitäten zu reduzieren. Denn es dürfte schwierig werden, aus den zugehörigen W1-Entitäten die W3-Entitäten zu erschließen. Und dies stellt sich bei jedem komplexem physischem Artefakt in genau der gleichen Weise dar. Dabei wird diese Problematik umso deutlicher, je komplizierter sich das *Engineering* des jeweiligen Artefakts gestaltet.

Es gibt jedoch ein noch besseres Beispiel als das Poppersche Hausbeispiel, indem sich am besten direkt auf Basis *Cyber-physischer Systeme* (CPS) argumentieren lässt. Denn auf Basis solcher dynamischer Technologien ist von vornherein evident, dass gar nichts reduzierbar ist, indem die kausalen Relationen über verschiedene Ebenen wirken, und dabei auch ihre ontologischen Entitäten nicht von niederen Ebenen erschließbar sind. Aufgrund des Emergenzprinzips lassen sich Phänomene höherer Ebenen nicht oder zumindest nicht vollständig durch Gesetzmäßigkeiten tieferer Ebenen erklären. Vielmehr weist jede höhere

ontologische Schicht auch neue, eigene Gesetzmäßigkeiten auf. Im Zeichen der Emergenz würde jede ontologische Reduktion ihre Umkehrung implizieren, sie würde *Submergenz* bedeuten, was den Verlust besonderer Systemeigenschaften bei der Reduktion höherer auf tiefere Ebenen bezeichnet. Dessen ungeachtet existieren offenbar Prinzipien, die allen Schichten im Universum gemeinsam sind, und als universale Prinzipien zwangsläufig unter die metaphysische Kategorie fallen. Sie sind es, die den Ansatzpunkt für die *Einheit der Wissenschaften* bilden. Emergenz und Submergenz haben dabei in der integrierten metaphysischen Wissensontologie einen Doppelcharakter; sie gelten für den metaphysischen Zusammenhang genauso wie für jenen der *Knowledge Ontology*, indem es um die *Emergenz neuer Entitäten*, die Reduktion von Konzepten usf. geht.

Das Emergenzprinzip bildet offenbar den Schlüssel zu der Feststellung, wonach jede reduktionistische TLO-Konzeption nicht CPSS-adäquat ist. Dabei spielen auf einzelne Ebenen bezogene Kategorien eine ebenso wichtige Rolle, wenn Rescher (2000a) feststellt:

»Every realm of being has its own distinctive family of conceptual categories, and none of these can be reduced or translated into the others. We can establish *correspondences* between the states of one realm and that of others [...]. But such correspondences never manage to transpose meanings from one domain to the other. To take the deliberations of one realm as literal reiterations of another is always to commit a category mistake – a conflation or confusion of inherently different sorts of things.«⁴⁶⁴⁵

Neben der kategorialen Notwendigkeit besteht dabei auch eine meta-ontologische insofern, als sich alle in diesem sechsten Teil behandelten meta-ontologischen Dispositionen allein auf Basis eines in sich konsistenten metaphysischen Systems sachgerecht bestimmen lassen. Tatsächlich wird eine solche Mehrebenenontologie durch eine Reihe von TLO-Ansätzen auch explizit in den verschiedensten Varianten gefordert, wobei diese Forderung sowohl im CM- bzw. AI-Zusammenhang steht. Dabei steht diese Forderung etwa mit M. West (2009) bei der BORO-TLO explizit im Zeichen des Widerstreits um die *multiplikative vs. reduktionistische TLO-Konzeption*. Indem sich hier diese Forderung explizit auf *Ebenen der Realität* bezieht, wird deutlich, dass mit ihr im Grunde sämtliche anderen meta-ontologischen Dispositionen verknüpft sind. Denn wenn die Differenzierung von Ebenen ein Heterogenitätsmoment bergen, dann ist auch für jede Ebene einzeln zu klären, inwiefern ein Vierdimensionalismus oder Realismus tatsächlich für sie vorausgesetzt werden kann. Wie die weiteren Ausführungen zeigen, unterscheiden sich die TLO-Ansätze auch in dieser Sache maßgeblich; in der Tat sind auch die meisten Mehrebenenkonzepte, die durch einzelne TLO-Ansätze vorausgesetzt werden, inkommensurabel.

Das beginnt mit der GFO-TLO, die eine emergentistische Mehrebenenontologie mit Herre (2010a) unter direkter Bezugnahme auf den Schichtengedanken N. Hartmanns postuliert. Obrst/Cassidy (2011) fordern analoges im Sinne von Poli, wobei sich dieser jedoch weitgehend, wenngleich nicht vollständig an Hartmann orientiert. Demgegenüber halten es Rosemann/Vessey et al. (2004) im Kontext der von ihnen vertretenen BWW-TLO im Rekurs auf die Systemebenen Bunes. Allerdings ist damit nicht nur zu beachten, dass die

⁴⁶⁴⁵ Rescher (2000a: 26), Hvh. im Orig.

Mehrebenenkonzepte von Hartmann bzw. Poli einerseits, und Bunge andererseits von elementar differenter Natur sind, worauf Bunge selbst explizit hinweist.⁴⁶⁴⁶ Vielmehr besteht die Problematik darin, dass damit wiederum unmittelbar die Frage verbunden ist, was konkret zur existentiellen Realität zu rechnen ist. Denn hinter diesen differenten Mehrebenenkonzepten steht einerseits die materialistische Realitätsauffassung Bunges, die der antimaterialistischen Realitätsauffassung Whiteheads diametral entgegensteht. Dabei wird letztere ebenso durch Hartmann und Popper vertreten, wobei letzterer mit der kausalen Welteninterdependenz in der cyber-physischen Sache gewiss den besten Zugang in der Frage dieser meta-ontologischen Disposition bietet. Die Problematik besteht also darin, dass aus der Voraussetzung einer Mehrebenenontologie nicht zwingend auf ein *multiplikatives* TLO-Verständnis geschlossen werden kann, indem sie in Bunges *emergentistischen Materialismus* genauso wie in Oppenheim/Putnams (1958) *Physikalismus* schließlich einen *Reduktionismus* impliziert. Insofern bleibt auch nichts anderes übrig, als sich mit Bunges Behauptung auseinanderzusetzen, dass der starke Emergentismus *irrational* sei.⁴⁶⁴⁷ Die Antwort darauf ist mit Whiteheads (1929a) *Komplexitätsmetaphysik* gegeben.

Ferner ist zu beachten, dass sich mit dem *CPST-Hyperspace* nach Maßgabe der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* die Frage der Mehrebenenontologie auch in doppelter Hinsicht stellt. Das heißt, dass der Hartmann-Poppersche Schichtengedanke sowohl in *metaphysischer* Hinsicht wie nach *wissensontologischer* Maßgabe gilt. Faktisch gibt es allein eine Mehrebenenkonzeption, die dies in sachgerechter multiplikativer Hinsicht berücksichtigt, und das ist die Poppersche *Drei-Welten-Lehre*, auf der CYPO FOX entsprechend aufbaut. Insofern impliziert jede *multiplikative* Mehrebenenkonzeption auch eine Mehrweltenontologie, indem in der gleichen raumzeitlichen Position ko-lokalisierte Entitäten des *CPST-Hyperspace* nicht nur an sich inkompatibel sind, sondern als solche auch noch an sich auf disparaten Kategorientypen stehen. Denn es steht außer Frage, dass die Agenten in einem Cyber-physischen System (CPS) auf Basis von *epistemischen Ontologien* operieren, während das CPS als solches in die ontische Ontologie mit entsprechend ontischen Kategorien gehört. Es ist hier zu verorten, indem es physisch existiert. Entsprechend hat sich eine *CPST-Hyperspace Mehrebenenkonzeption* einerseits in der Ontologiearchitektur wiederzufinden, was in CYPO FOX in Form der vier spezifischen Welttypen Berücksichtigung findet. Darüber hinaus ist jedoch mit Blick auf die transdisziplinäre Verschaltung von Domänenontologien zu bedenken, dass sich dieser Mehrebenengedanke bzw. das Emergenzverständnis dann auch konsequenterweise in der wissensontologischen Repräsentation wiederfinden muss.

Entsprechend ist die Natur des *Emergenzprinzips* auch für die Ontologie der Informatik relevant, womit seine Entwicklung kurz nachzuvollziehen und das Wesen dieses Prinzips näher zu hinterfragen ist. Der eigentliche Emergenzbegriff geht erst auf Lewes (1875: 412

⁴⁶⁴⁶ Vgl. Bunge/Mahner (2004).

⁴⁶⁴⁷ Vgl. Bunge (1977b: 502 f.).

ff.) zurück und wird hier bereits im Zeichen des Kausalitätsprinzips konzipiert. Das ist insofern erforderlich, als bereits Helmholtz (1869: 191) den »Fortschritt der Naturwissenschaft als Ganzem« daran festmacht, inwieweit »die Kenntniss eines *alle* Naturerscheinungen umfassenden *ursächlichen* Zusammenhanges fortgeschritten ist«. ⁴⁶⁴⁸ Damit wird deutlich, dass es nicht bloß um die Vereinheitlichung der Grundkräfte geht, sondern insbesondere auch um die Frage der Kausalität, mit der jene durch entsprechende physikalische Theorien flankierte nach der Weltauffassung unumgänglich wird. Dass dabei die Theorie der Selbstorganisation wesentlich ist, ⁴⁶⁴⁹ wird bereits mit Kant (1790) offensichtlich. Indessen wird auch das Emergenzphänomen als solches bereits vor Lewes (1875) gedacht, konkret bei Mill (1843):

»The chemical combination of two substances produces, as is well known, a third substance with properties entirely different from those of either of the two substances separately, or both of them taken together.« ⁴⁶⁵⁰

Wenn das Emergenzphänomen bei Mill (1843) auf Substanzbasis dargelegt wird, steht außer Frage, dass es noch nicht in der Weise konzipiert ist, wie sie für Cyber-physische Systeme (CPS) im Sinne eines universalen Strukturalismus notwendig vorauszusetzen ist. Dann nämlich steht die Emergenz nicht mehr auf Basis der Substanz als Träger, sondern vielmehr auf dem Ereignis, wie es die Whitehead-Quineschen Pixeltheorie verdeutlicht. D.h. Emergenz ist zu denken nicht als Kombination von Substanzen, wie es bei Mill (1843) bis Bunge (1977a) geschieht. Vielmehr ist sie universal zu konzipieren im Zeichen von Ereignissen, nämlich im Auftauchen neuer Bits, Signalen oder Pixel. Es geht also um ereigniszentrische Ordnungsmuster, die mit Cyberwelten strukturalistisch zu denken sind, d.h. antimaterialistisch. Wie bereits herausgestellt, darf dieser Antimaterialismus dabei nicht mit einem ontologischen Immaterialismus verwechselt werden. Entscheidend für die Ordnungsmuster ist dabei das Relationale zwischen Entitäten, ihre wechselnden Konstellationen und damit das Komplexe. Zwar erkennt Alexander (1920), dass es bei der Emergenzfrage gerade auf das letztere ankommt, doch stehen seine Überlegungen noch nicht in der Nähe des universalen Strukturalismus:

»The emergence of a new quality from any level of existence means that at that level there comes into being a certain constellation or collocation of the motions belonging to that level, and possessing the quality appropriate to it, and this collocation possesses a new quality distinctive of the higher complex. The quality and the constellation to which it belongs are at once new and expressible without residue in terms of the processes proper to the level from which they emerge; just as mind is a new quality distinct from life, with its own peculiar methods of behaviour [...]. To adopt the ancient distinction of form and matter, the kind of existent from which the new quality emerges is the 'matter' which assumes a certain complexity of configuration and to this pattern or universal corresponds the new emergent quality.« ⁴⁶⁵¹

Der Emergenzbegriff gilt mit der organismischen Weltauffassung universal; auch in der unbelebten Welt lässt sich die Emergenz neuer Eigenschaften feststellen. ⁴⁶⁵² Vielfach wird

⁴⁶⁴⁸ Hvh. des Verf.

⁴⁶⁴⁹ Zu der Frage, wie sich die Selbstorganisation mit den Gesetzen der Physik vereinbaren lässt, vgl. Haken (1981c: 295 f.).

⁴⁶⁵⁰ Mill (1843, I: 374).

⁴⁶⁵¹ Alexander (1920, II: 45, 47).

⁴⁶⁵² Vgl. Mayr (1991: 25); vgl. hierzu auch Keyser (2000) sowie Sornette (2000).

eine emergentische Weltsicht eingefordert,⁴⁶⁵³ aber in Wahrheit muss man darüber hinausgehen und eine organismische Weltauffassung postulieren. Denn Emergenz ist wiederum für sich genommen kein isoliertes Phänomen, sondern sie bildet einen Teil der Trias von Evolution, Selbstorganisation und Emergenz, mit der wiederum die Momente der Bifurkation und Komplexität zusammenhängen. Für die transdisziplinäre Komplexitätsforschung ist daher nicht ein disziplinäres Verständnis der Emergenz wesentlich, sondern ein universales, und das lässt sich wiederum allein im Kontext der Metaphysik sachgerecht herstellen. Hier ist wiederum insbesondere auf die emergentische Prozessmetaphysik Whiteheads zu verweisen. Bei Whitehead geht es um die Emergenz von Ordnung,⁴⁶⁵⁴ um die Emergenz des Neuen,⁴⁶⁵⁵ wie insgesamt um das Moment der emergenten Evolution.⁴⁶⁵⁶ Entsprechend zeigt sich das Whiteheadsche Subjekt-Superjekt wie auch insgesamt die *actual entity* als zentrale Kategorie als emergentische Einheit.⁴⁶⁵⁷ Neben Alexander (1920) und dem Psychologen Morgan (1923), die in Sachen *emergentischer Evolution* in engem Austausch stehen,⁴⁶⁵⁸ wird das Emergenzkonzept bereits bei Bergson (1911) und James (1911: 147 ff.) im Zeichen des Entstehens von Neuem adressiert. Bevor der Emergenzgedanke wesentlich in das Whiteheadsche (1929a) *Systemdenken* eingeht,⁴⁶⁵⁹ findet er im Zuge des *Britischen Emergentismus* in ontologischer wie wissenschaftstheoretischer Hinsicht bereits umfassendere Aufmerksamkeit.^{4660, 4661} Während N. Hartmann (1912) bereits in seinem Frühwerk die unabdingbare Korrelation von Form und Prozess herausstellt, basiert auch Hartmanns (1940) *Schichtdenken* mit seinem *kategorialen Novum* elementar auf dem Gedanken der Emergenz.⁴⁶⁶² In gewisser Weise markiert Hartmann (1940) den vorübergehenden Schlusspunkt dieser Debatte insofern,⁴⁶⁶³ als bei ihm die Emergenz strukturalistisch, und nicht substanzzentrisch bzw. materialistisch gedacht wird. Insofern nämlich markiert die dezidiert auf materielle Dinge fixierte Ontologie Bunges (1977a) einen klaren Rückschritt.

Demgegenüber weist Bunge Systemismus mitsamt seiner Ablehnung von Holismus und Atomismus zwar grundsätzlich in die richtige Richtung, jedoch nur dann, wenn auch der Systemismus nicht nach der Vorstellung Bunges, sondern nach dem Whiteheadschen Original konzipiert wird. Es steht außer Frage, dass die organismische Weltauffassung, die

⁴⁶⁵³ Vgl. etwa Davies (2003a) und Clayton (2006b).

⁴⁶⁵⁴ Vgl. etwa Whitehead (1929a: 40).

⁴⁶⁵⁵ Vgl. etwa Whitehead (1929a: 46, 187).

⁴⁶⁵⁶ Vgl. etwa Whitehead (1929a: 229).

⁴⁶⁵⁷ Vgl. Whitehead (1929a: 45, 88).

⁴⁶⁵⁸ Es lässt sich durchaus sagen, dass der Emergentismus durch den engen Austausch zwischen Alexander und Morgan nachhaltig an Auftrieb erfahren hat; beide berufen sich wiederholt aufeinander, vgl. etwa Alexander (1920, II: 14, 46) sowie Morgan (1923: 9; 1929a: 26).

⁴⁶⁵⁹ Vgl. exemplarisch Whitehead (1929a: 229).

⁴⁶⁶⁰ Vgl. hierzu B.P. McLaughlin (1992) sowie Stephan (1996).

⁴⁶⁶¹ Vgl. etwa Patrick (1922), MacKinnon (1924), A.D. Ritchie (1924), Broad (1925), Morgan (1925, 1929a, 1929b, 1933), Fawcett (1926), Pepper (1926), Reiser (1926), A.H. Lloyd (1927), Lovejoy (1927), Baylis (1929), H.W. Chapman (1929), G.W. Cunningham (1929), Srinivasiengar (1934), Ablowitz (1939), Malisoff (1939, 1941), Stace (1939), Garnett (1942), Gotshalk (1942), Henle (1942), Bergmann (1944), Bahm (1947a, 1947b, 1948), Pap (1952), Berenda (1953), R.W. Sellars (1959) sowie Kekes (1966).

⁴⁶⁶² Vgl. hierzu insbes. Hartmann (1940: 453 ff.).

⁴⁶⁶³ Gewiss ist die Emergenzdebatte nach wie vor aktuell, vgl. Blitz (1990, 1992) oder Stephan (1999, 2006).

ein offenes Universum voraussetzt, unabdingbar im Zeichen des *emergenten Systemismus* steht, wie er auch durch Bunge postuliert wird. Dieser Systemismus ist für die Komplexitätsforschung elementar, weil sich nur auf seiner Grundlage die Defekte des Atomismus und Holismus überwinden lassen; allerdings kann es dabei nicht um die Bunesche Variante gehen. Whyte geht mit Bunge implizit insofern konform, als der Atomismus tatsächlich eine unzulässige Reduktion komplexer Phänomene impliziert: »In the broadest sense, atomism means the reduction of complex phenomena to fixed unit factors.«⁴⁶⁶⁴ Gleiches gilt in der Hinsicht, dass nicht nur dieser, sondern auch der Holismus mit einer dritten methodologischen Position zu überwinden ist:

»The holists are right in thinking that complex systems are important, for the laws describe how such systems change in course of time. And the atomists are right that discrete structure is important, for that alone distinguishes one system from another. But the holists neglect structure, and the atomists the properties of systems.«⁴⁶⁶⁵

Wenn Whyte (1955b: 48) in dieser Sache konstatiert: »The conflict of atomism and holism is overcome in the idea of structure«,⁴⁶⁶⁶ ist der Blick auf die Details zu richten: denn der Bunesche Systemismus entspricht zwar auf dem ersten Blick Whytes Strukturalismus, allerdings nicht in fundamentaler Hinsicht. Denn hier steht der Bunesche Systemismus immer noch auf Basis des Buneschen Materialismus, während Whytes Strukturalismus tatsächlich cyber-physisch gedacht ist, indem der Urstoff des Universums nicht in der Materie, sondern im strukturalistischen Sinne in der *Information* gesehen wird, wie es aufbauend auf Leibniz und Boole mit Whitehead und Russell beginnend über in dieser Tradition stehende Philosophen wie Carnap und Quine einerseits, wie durch Physiker wie Wheeler, Whyte oder C.F. von Weizsäcker andererseits gesehen wird. Entgegen Bunge stehen sie bereits im Zeichen der "*New Physics*" und konzipieren die Physik auf Grundlage ihrer "*third revolution*" bereits strukturalistisch im Sinne der mathematischen Physik. Der Systemismus, den wir im Zeichen komplexer Systeme meinen, ist damit ein strukturalistischer Systemismus, der tatsächlich transdisziplinärer Natur ist.

Der Schichtengedanke ist in Wissenschaft wie Philosophie seit langem akzeptiert; er wird als solcher auch kaum in Frage gestellt. Er sagt an sich insofern auch noch nicht viel aus, weil er anfangs nichts weiter war als eine Heuristik für einen wie immer gearteten Reduktionismus. Verwiesen sei nur auf den ontologischen Reduktionismus Oppenheim/Putnams (1958) oder auf die Feststellung Carnaps (1934a: 101), wonach *sämtliche* Bereiche der Wissenschaft Teil der vereinheitlichten Wissenschaft der Physik seien. Was Bunes Ontologie betrifft, ist es nicht ganz einfach zu bestimmen, ob sie multiplikativer oder reduktionistischer Natur ist. Im Grunde ist sie nämlich auf den ersten Blick beides, weil sie einerseits eine materialistische Ontologie darstellt, andererseits dem emergentistischen Systemismus verpflichtet ist. Dazu konstatiert Bunge (1998b): »[...] systemism is

⁴⁶⁶⁴ Vgl. Whyte (1961a: 12).

⁴⁶⁶⁵ Whyte (1955b: 63).

⁴⁶⁶⁶ Ohne Hvh. des Orig.

not monist but pluralist: [...] it is consistent with a materialist ontology«. ⁴⁶⁶⁷ So sieht Bunge Artefakte wie etwa Kulturen in seinem emergentistischen Materialismus als konkrete soziale Systeme, die in seinem Systemismus wiederum getragen werden durch lebende Menschen, konkret materialisiert durch Gehirnprozesse. ⁴⁶⁶⁸ Wie in Pkt. 3.5 erwähnt, leugnet Bunge (1981: 145 f.) nicht nur die Realität von W3-Objekten, sondern lehnt in seiner materialistischen Denkart Poppers Welt 3 rundweg ab. Denn für Bunge gibt es keine platonischen Ideen; sie müssen vielmehr immer aktiv gedacht werden, sind also ohne W2-Basis gar nicht existent. In diesem Sinne reduziert sich für Bunge die Welt 3 letztlich auf die Welt 2, und diese ist für Bunge wiederum nur auf Grundlage materieller Gehirnprozesse existent, womit auch sie nicht für sich gegeben ist. Vielmehr basiert der emergentistische Systemismus letztlich allein auf der Welt 1 als materieller Welt; nur diese ist in Bunes Materialismus tatsächlich real. Insofern wird deutlich, dass Bunes Ontologie im Gegensatz zu Popper, Hartmann oder Poli nicht multiplikativ, sondern letztlich reduktionistisch ist. Im Kontext der *Neuen Ontologie* von Hartmann, Whitehead und anderen wurde indes schon früh die Gegenposition, nämlich ein multiplikatives Ontologieverständnis vertreten, etwa durch Bertalanffy (1950a), der an dem genauen Gegenteil zum Reduktionismus, nämlich an *Emergenz* und dem *Systemgedanken* festmacht. ⁴⁶⁶⁹

»Reality, in the modern conception, appears as a tremendous hierarchical order of organised entities, leading, in a superposition of many levels, from physical and chemical to biological and sociological systems. Unity of Science i[s] granted, not by a utopian reduction of all sciences to physics and chemistry, but by the structural uniformities of the different levels of reality«. ⁴⁶⁷⁰

Entsprechend gilt schon für Bertalanffy (1969) als ausgemacht:

»The ultimate 'reduction' of the phenomena of life to the molecular properties of DNA and related substances as promised in popular accounts of molecular biology, appears somewhat less than convincing.« ⁴⁶⁷¹

Für die Transdisziplinarität der Ontologie, speziell auch der AI-Ontologie für KR-Zwecke ist dabei mit Bertalanffy (1968) entscheidend, dass sich die Einheit der Wissenschaften, mithin des Wissens, gerade nicht auf reduktionistischem Wege, sondern allein auf dem multiplikativen Wege herstellen lässt:

»Unity of Science is granted, not by a utopian reduction of all sciences to physics and chemistry, but by the structural uniformities of the different levels of reality. Especially the gap between natural and social sciences, or, to use the more expressive German terms, of Natur- und Geisteswissenschaften, is greatly diminished, not in the sense of a reduction of the latter to biological conceptions but in the sense of structural similarities.« ⁴⁶⁷²

Dabei spielen die Ontologieebenen die entscheidende Rolle, die sie nicht nur für die Ontologie insgesamt besitzen, sondern speziell auch im Hinblick auf die Wissensrepräsentation. Denn es sind diese Ontologieebenen, die wissenschaftliches Wissen strukturieren und erst in den transdisziplinären Zusammenhang bringen. Gleichzeitig bestehen die Strukturgleichheiten zwischen den Ebenen, die deutlich machen, dass sie alle unter eine

⁴⁶⁶⁷ Vgl. Bunge (1998b: 275).

⁴⁶⁶⁸ Ibid.

⁴⁶⁶⁹ Vgl. hierzu auch Bertalanffy (1957: 10).

⁴⁶⁷⁰ Bertalanffy (1950a: 164).

⁴⁶⁷¹ Bertalanffy (1969: 58).

⁴⁶⁷² Bertalanffy (1968: 87).

universale Ontologie fallen, wobei in Pkt. 4 mit Born (1956) deutlich wurde, dass es bei diesen Strukturen um *metaphysische* Strukturen geht. Dabei steht mit Bertalanffy (1949b) außer Frage, dass aus der universalen Ontologie auch *universale Begrifflichkeiten* resultieren, was in der transdisziplinären Wissensrepräsentation, insofern sie *systematisch* ist, entsprechend zu berücksichtigen ist:

»Aus der Tatsache, daß für Systeme gewisse allgemeine Prinzipien gelten, gleichgültig, welcher Art die betreffenden Systeme sind, erklärt es sich, daß gleichartige Begriffe auf ganz verschiedenen Gebieten auftreten, daß also Prinzipien [...] ebensowohl in verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereichen auftreten wie im psychologischen und soziologischen.«⁴⁶⁷³

Der richtige Zugang zur *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist dann gegeben, wenn Produktlebenszyklen ontologisch auch als Lebenszyklus verstanden werden, was allein in einem *universalen cyber-physischen Evolutionsparadigma* gelingen kann. Evolution muss aber, worauf Polanyi (1958: 390) insistiert, als Tatbestand der *Emergenz* verstanden werden. Schon Morgans (1923) Konzept der *emergenten Evolution* sieht die Welt als Sequenz von Ereignissen, in der von Zeit zu Zeit genuin Neues auftritt. Damit deutet sich an, dass ein modernes Evolutionsparadigma auf die Komplexitätsforschung hinausläuft; denn alle Ebenen zeichnen sich durch Selbstorganisation aus, wobei ihre Komplexität mit Feibleman (1954b) aufwärts zunimmt. Das ist auch der Weg, der konsequenterweise im Kontext der Ontologieebenen durch Baianu/Poli (2009) eingeschlagen wird. Komplexe Systeme, etwa auch Innovationssysteme, weisen ein nichtlineares Verhalten auf und sind prinzipiell kausal indeterminiert. Der Prozess der *Emergenz* bedeutet *das Entstehen von Neuem* auf systemisch höherer Ebene. Den umgekehrten Prozess bezeichnet die *Submergenz*, womit die besonderen Eigenarten durch Reduktion der höheren auf niedrigere Ebenen *durch Systemzerstörung* wieder verloren gehen. Innovationssysteme gründen in dem durch geistige Reflexion und Diskurs bestimmten Fortschrittsprozess zwar immerzu auf bestehendem Wissen, auf tradierten Ansätzen, Konzepten und Theorien; ihre neu geschaffenen Wissensobjekte (knowledge objects) lassen sich aber natürlich keinesfalls auf diese reduzieren, denn das würde entsprechend *Submergenz* bedeuten.⁴⁶⁷⁴

Mit Popper (1974a: 281) ist der Reduktionismus ein Irrtum, weil Sachverhalte höherer Emergenzstufen sich nicht vollständig auf niedrigere Stufen reduzieren lassen:

»Philosophical reductionism is [...] due to the wish to reduce everything to an ultimate explanation in terms of essences and substances, that is, to an explanation which is neither capable of, nor in need of, any further explanation. [...] Not only is philosophical reductionism a mistake, but the belief that the method of reduction can achieve complete reductions is, it seems, mistaken too. We live, it appears, in a world of emergent evolution; of problems whose solutions, if they are solved, beget new and deeper problems. Thus we live in a universe of emergent novelty; of a novelty which, as a rule, is not completely reducible to any of the preceding stages.«⁴⁶⁷⁵

Tatsächlich stellt sich die Frage, warum man überhaupt die Realitätswahrnehmung nur auf wenige, wenn auch grundlegende Realitätsstrukturen beschränken sollte.⁴⁶⁷⁶ Das erscheint weder in wissenschaftlicher noch in technologischer Hinsicht sinnvoll. Der Emer-

⁴⁶⁷³ Bertalanffy (1949b: 126).

⁴⁶⁷⁴ Vgl. hierzu auch Darden (1978).

⁴⁶⁷⁵ Popper (1974a: 279, 281).

⁴⁶⁷⁶ Vgl. hierzu auch Poli (2001a: 4).

genzgedanke legt vielmehr nahe, dass es eine zeitliche Determinante in der Evolution aller Objekte gibt, die sich nicht umkehren lässt. Die Zukunft ist offen, indeterminiert und lässt gerade im Sinne der Emergenz das Neue zu. Entsprechend ist auch der Emergenzbegriff etwa bei Morgan (1923) auf das Neue bezogen. Wenn der Schichtengedanke für die Transdisziplinarität wissenschaftlicher Ontologien gerade auch für die Informatik zentral ist, folgt daraus, dass sie insgesamt auf eine Ontologiekonzeption zu stellen ist, die das Neue zulässt, und alle Objekte als raumzeitlich bestimmte 4D-Objekte behandelt, die stetigen Werdeprozessen unterliegen. Die philosophische Ontologie, die die *Top-level Ontologie* der Informatik in meta-ontologischer Hinsicht als kohärentes Ganzes fundiert, muss somit im Zeichen der schöpferischen Neuartigkeit und Kreativität des Universums stehen. Dieses Kriterium wird von den Einzelwissenschaften zunehmend eingefordert, besonders dann, wenn es um komplexe Evolutionsprozesse geht.⁴⁶⁷⁷ Es gibt bislang wenige Ontologieansätze, die dieses wesentliche Kriterium erfüllen.⁴⁶⁷⁸ Für die AI-Wissensrepräsentation ist die Anordnung und Bezogenheit der Ontologieebenen im transdisziplinären Zusammenspiel genauso entscheidend wie für die Erfahrungswissenschaften. Daher kann eine allgemeine AI-Ontologie gar nicht auf diese Ontologieebenen verzichten, womit deutlich wird, dass die AI-Ontologie auf die revisionäre Metaphysik rekurrieren muss. Sie kann sich also in transdisziplinärer Hinsicht gar nicht von der deskriptiven Metaphysik leiten lassen.

Insgesamt wird deutlich, dass Realitätsebenen im Sinne Hartmanns (1940) gerade keine Heuristik für einen wie immer gearteten Reduktionismus bilden, sondern vielmehr die Frage nach multiplikativer oder reduktionistischer Natur der Ontologiekonzeption entscheiden. Wie schon Emmeche et al. (1997, 2000), bringt auch Poli (2010a) die Ontologie- resp. Realitätsebenen in die Nähe der Komplexitätsforschung, indem er nicht nur auf Theorien dynamischer Systeme abstellt, sondern auch auf eine prozessontologische Perspektive.⁴⁶⁷⁹ Auf dieser Basis begründet sich für Poli (2010a: 11) die multiplikative Natur der Ontologie, indem er eine Dynamik auf sämtlichen Ebenen ausmacht: »A multiplicity of structurally stable dynamics, at diverse levels of granularity, may articulate a multiplicity of levels«. Höhere Ebenen lassen sich auch deshalb nicht auf niedrigere Ebenen reduzieren, weil mit Polanyi (1968) die Randbedingungen von Selbstorganisationsprozessen irreduzibel sind. Auch in der Physik wird ein solcher Reduktionismus immer weniger als zweckmäßig erachtet; schon für Mach (1918: 194) steht fest, dass in Wirklichkeit jeder psychische so gut wie jeder physische Vorgang seine unverwischbaren Spuren zurücklässt und es somit in beiden Gebieten *nicht umkehrbare Prozesse* gebe. Ein anderer Einwand gegen den Reduktionismus besteht mit Heisenberg (1969: 160), der über das universale Moment der *Perzeption* explizit hinausgehend darauf insistiert, den letztlich auf Leibniz (1714a) zurückgehenden Gedanken der *Apperzeption* mit in das Naturverständnis einzuschließen: »In einer Naturwissenschaft, die auch die lebendigen Organismen mit umfaßt, muß das Be-

⁴⁶⁷⁷ Vgl. etwa P. Allen (1998: 35 ff.).

⁴⁶⁷⁸ Bei Whitehead (1929a) bildet dieses Kriterium die grundlegendste Kategorie der Prozessmetaphysik.

⁴⁶⁷⁹ Vgl. Poli (2010a: 11).

wußtsein [...] einen Platz haben, weil es zur Wirklichkeit gehört«. Insofern kann es auch nicht sinnvoll sein, alles Psychische fortwährend auf Neurobiologie reduzieren zu wollen. Wenn sich die apperzeptive Agentenklasse im Leibniz-Booleschen Sinne erst über den ersten Grundsatz der Cartesischen Metaphysik bzw. über die Cartesische Ratio insgesamt konstituiert,⁴⁶⁸⁰ kann sie in einer agentenbasierten Ontologie auch nicht nivelliert werden. Wenn das geschieht, handelt es sich regelmäßig um materialistische Ontologien wie die Bungesche,⁴⁶⁸¹ die im Unterschied zur Whiteheadschen auch keine agentenbasierten Ansätze repräsentieren.

Eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* muss notwendig darauf hinauslaufen, dass ihre *Mehrebenenkonzepte* faktisch durchgängig miteinander verkoppelt sind, indem es eine Strukturentsprechung gibt. Mit anderen Worten muss das metaphysische Mehrebenenkonzept mit jenem der Wissensontologie korrespondieren. In dieser Sache ist festzustellen, dass es völlig disparate Mehrebenenkonzepte gibt;⁴⁶⁸² dabei besteht bisher wenig Bereitschaft, diese Korrespondenz aktiv zu bewerkstelligen. Mit Blick auf das Verständnis disparater Mehrebenenkonzepte ist vor allem wiederum die Unterscheidung zwischen *revisionärer* und *deskriptiver* Metaphysik notwendig, wenn auch nicht hinreichend. Geht es bei Conger (1925) um den "*metaphysical level*", ist damit im Zeichen von S. Alexander (1912, 1914, 1920) bzw. C.L. Morgan (1923, 1925) eine *realistisch-emergentistische* Metaphysik gemeint, was schließlich auf die *revisionäre* Metaphysik Whiteheads hinausläuft. Indem allerdings mit Strawson (1959) die deskriptive Metaphysik Einzug hält, wird eine genauere Reflexion unumgänglich; denn mit Poli (1998: 199) gilt: »The levels of reality have a strictly ontological valence, while those of description have a strictly epistemological one«. Indem TLO-Ansätze wie DOLCE explizit vom *metaphysischen Realismus* absehen, und DOLCE insgesamt auf *epistemischen* Kategorien aufbaut, kann es bei dieser weder "*levels of reality*" noch einen "*metaphysical level*" an sich geben. In der *ereigniszentrischen* Variante von S. Alexander bzw. C.L. Morgan ohnehin nicht. Vielmehr müssen hier die "*Ontological Levels*", wie sie Masolo (2010, 2011) konzipiert, notwendigerweise im Zeichen der *deskriptiven* Metaphysik stehen. So ist zwar auch hier explizit von einer »*emergence of a new entity*« die Rede,⁴⁶⁸³ wodurch sich die DOLCE-TLO als multiplikativer TLO-Ansatz bestimmt zeigt. Allerdings muss dabei klar sein, worum es geht: »In language and cognition, we refer to this new entity as a genuine different thing: for instance, we say that a vase has a handle, but not that a piece of clay has a handle«. ⁴⁶⁸⁴ Um die Emergenz realer Strukturen geht es bei DOLCE also allenfalls indirekt, nämlich im Zuge kogni-

⁴⁶⁸⁰ Vgl. Descartes (1644a: I, 7): "*ego cogito, ergo sum*"; vgl. analog Descartes (1637: IV, 33).

⁴⁶⁸¹ Darüber hinaus setzt die Frage, wie mit Sandkühler (1991) die allgemein geforderte *Erklärung der Komplementarität von Ontologie und Epistemologie* praktisch zu vollziehen ist, entgegen der Position von Bunge/Mahner (2004) mit Davidson (2004) voraus, dass Psychologie und damit das Rationalitätsmoment nicht naturalistisch reduzierbar ist.

⁴⁶⁸² Vgl. dazu Yao (2009).

⁴⁶⁸³ Vgl. Masolo/Borgo et al. (2003: 14), Hvh. im Orig.

⁴⁶⁸⁴ Vgl. *ibid.*

tiver Prozesse, an denen angesetzt wird. Wenn bei DOLCE von einer emergierenden Struktur die Rede ist, dann bezieht sich diese nicht etwa auf die materialen Prozesse selbst als vielmehr im Kantischen Sinne auf das Ergebnis eines kognitiven Strukturierungsprozesses. Für diesen gilt: »The emerging structure is not necessarily equivalent to the actual structure«. ⁴⁶⁸⁵ Das ist richtig, und damit genau das Problem, dessen Lösung allein über eine objektive Wissenschaftspraxis im Popperschen Sinne realisierbar ist.

Auf dieser Basis bleibt es bei DOLCE zwangsläufig *primär* bei einer alltagssprachlichen Auseinandersetzung, und diese ist einer explizit *neutralen Positionierung* zum Realismus geschuldet, die bei diesem TLO-Ansatz vorausgesetzt wird. ⁴⁶⁸⁶ In Bezug auf alle Ontologiefragen bedeutet eine solche Neutralität jedoch, dass den realen Sachverhalten nicht in systematischer, d.h. techno-wissenschaftlicher Weise nach Maßgabe des Ratio-Empirismus entsprochen wird. Denn das sieht allein die *revisionäre*, nicht aber die deskriptive Metaphysik vor. Insofern ist letztlich zu konstatieren, dass sich die Disposition bzgl. *multiplikativer vs. reduktionistischer TLO-Konzeption* in keiner Weise auf Basis einer deskriptiven Metaphysik bestimmen lässt, indem diese Entscheidung immer vor dem Hintergrund des ontologischen *Reduktionismus vs. Emergentismus* beantwortbar ist und im CPS-Kontext die Wahl zwischen den Alternativen *reduktiver vs. nichtreduktiver Physikalismus* impliziert. Erst in einem zweiten Schritt kann man sich dann den linguistischen bzw. sprachphilosophischen Konsequenzen zuwenden, nicht aber umgekehrt. Somit wird insgesamt deutlich, dass die Disposition meta-ontologischer Kriterien auf Basis linguistischer und kognitiver Aspekte der deskriptiven Metaphysik, wie sie bei Borgo et al. (2002) bzw. Masolo et al. (2003) vollzogen wird, in keiner Weise sachgerecht vollziehbar ist. Die *cyber-physische Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* ist vielmehr allein auf Basis einer *revisionären* Metaphysik bestimmbar. Denn allein auf ihrer Basis ist die durch Prigogine/Stengers (1984), P.M. Simons (2002) wie durch Esfeld (2006b) angeordnete *Durchgängigkeit von Physik und Metaphysik*, ⁴⁶⁸⁷ wie sie die Wahl zwischen dem *reduktiven vs. nichtreduktiven Physikalismus* letztlich auch notwendig macht, zu realisieren. Wenn man diesen Schritt unternimmt, relativieren sich sämtliche Dispositionen von Borgo et al. (2002) bzw. Masolo et al. (2003); sie sind nicht mehr entscheidend. Vielmehr gilt dann mit Esfeld (2006b: 191): »if one takes current fundamental physics seriously, one gets to a metaphysics of events and relations in contrast to substances and intrinsic properties«. Die DOLCE-TLO scheitert mit ihrer deskriptiven Metaphysik also schon daran, dass auf Basis dieses Ansatzes weder eine techno-wissenschaftlich fundierte noch *objektive meta-ontologische Wahl* möglich ist. Diese ist aber mit Pkt. 7.1 für ein systematisches, universales *Requirements Engineering* für die Ontologie der Informatik unabdingbar.

⁴⁶⁸⁵ Vgl. *ibid.*, p. 97.

⁴⁶⁸⁶ Vgl. *ibid.*

⁴⁶⁸⁷ Vgl. dazu Prigogine/Stengers (1984: 303): »Physics and metaphysics are indeed coming together today in a conception of the world in which process, becoming, is taken as a primary constituent of physical existence«.

Ähnliche Einschränkungen ergeben sich für die BFO-TLO, bei der es mit dem immanenten Realismus letztlich um *ontische* Kategorien geht, jedoch explizit kein *metaphysischer*, sondern ein *methodologischer* Realismus vertreten wird.⁴⁶⁸⁸ Folglich könnte es auch hier nicht um einen "*metaphysical level*" gehen; vielmehr wäre eine *Ontology of Levels* dann auch auf diesen *methodologischen* Realismus beschränkt. Dieser müsste zudem wiederum im Zeichen der *deskriptiven* Metaphysik stehen. Indem es sich bei der BFO-TLO im Gegensatz zu DOLCE um einen reduktionistischen TLO-Ansatz handelt, könnte eine solche Mehrebenenontologie letztlich auch nicht mehr hergeben als die oben erwähnten einfachen Beispiele,⁴⁶⁸⁹ die im Zeichen der Form-/Materie-Dichotomie bzw. des Hylemorphismus stehen. Demgegenüber ist weder der *CPST-Hyperspace* noch eine CPSS-adäquate Mehrebenenontologie auf BFO-Basis zu realisieren, indem sie auch *mögliche Welten* ablehnt. Für eine CPSS-adäquate Ontologie können somit weder DOLCE noch die BFO-TLO ausschlaggebend sein. Demgegenüber gibt es bei der BWW-TLO nicht nur faktisch eine solche Mehrebenenontologie, sondern sie steht auch explizit im Zeichen der *revisionären* Metaphysik. Allerdings ist dabei zu bedenken, dass hier zwar der *metaphysische Realismus* gilt, jedoch die Ontologie auf *physische Dinge* fixiert ist und keinen Ereigniszentrismus zulässt. Sie verkörpert einen *emergentistischen Materialismus*, der nur *materiellen Dingen* reale Existenz zubilligen kann. Entsprechend wird bei Bunge auch der *starke Emergentismus* unter ontologischen Gesichtspunkten strikt abgelehnt, der jedoch in techno-wissenschaftlicher Hinsicht, nicht zuletzt auch in Bezug auf Simons (1969) *Sciences of the Artificial*, gerade zu fordern ist. Insofern kann es bei Bunge auch nicht um mehr als um wissenschaftsorientierte komplexe Systemebenen gehen, die jedoch weder auf Agenten noch auf einen Ereigniszentrismus ausgelegt sind. Demnach kann auch nicht jene Emergenz adressiert werden, um die es in der Informatik im Zeichen von *Complex Adaptive Systems* (CAS) gerade gehen muss. Insofern ist gezeigt, dass nicht nur DOLCE und BFO, sondern ebenso die BWW als weitere führende TLO-Konzeption auch unter dem Emergenzgesichtspunkt defekt sind.

Bei der BORO-TLO ist mit M. West (2009) die BWW-Problematik insofern gelöst, als es sich ebenfalls um eine explizit *metaphysische Mehrebenenontologie* handelt, die gegenüber Bunge jedoch nicht auf den Endurantismus, sondern auf den Perdurantismus und damit auf eine ereigniszentrische 4D-Welt von *Event Streams* fixiert ist. Darin besteht an sich die richtige Basis, um das Emergenzphänomen auch in der starken Variante fassen zu können, wie es für die Naturwissenschaften genauso wesentlich ist wie für Simons (1969) *Sciences of the Artificial*. Allerdings weist auch diese dabei zwei elementare Defekte auf: zum ersten bildet sie vom Fokus her zwar eine revisionäre Metaphysik, doch nicht von den Grundlagen: hier ist sie in ihrem Rekurs auf Sider (2001) zwischen den Stühlen, allerdings ist sie dabei grundsätzlich als *deskriptive* Metaphysik zu verorten. Zudem ist zu bemän-

⁴⁶⁸⁸ Vgl. etwa Smith/Ceusters (2010).

⁴⁶⁸⁹ Vgl. Fn. 4590.

geln, dass ihre metaphysische Basis keine Kohärenz aufweist, indem genauso auf M. Heller bzw. Quine aufgebaut wird. Während letztere prinzipiell einen Aktualismus vertreten, ist es bei Sider der Possibilismus. Dabei stellt sich dieses Inkohärenzproblem unmittelbar in Bezug auf den hier interessierenden Widerstreit der *multiplikativen vs. reduktionistischen TLO-Konzeption* dar. Denn die philosophischen Ontologien Quines bzw. M. Hellers bilden *reduktionistische* Ontologien, die strikt an das Physische gebunden sind, während die philosophische Ontologie Siders eine *multiplikative* Ontologie verkörpert, die auf *mögliche Welten* ausgelegt ist. Allerdings ist der Emergenzaspekt, um den es bei der BORO-TLO auch physisch geht, auf der Grundlage Quines bzw. M. Hellers gar nicht einzulösen. Insofern besitzt ihre metaphysische Basis einen grundlegenden Defekt; denn "*levels of reality*", von denen etwa M. West (2009) explizit spricht, und dem Datenmodell der ISO 15926-2 implizit inhärent sind,⁴⁶⁹⁰ kann es mit Quine bzw. M. Heller gar nicht geben. Denn bei ihnen handelt es sich, wie auch bei J. Heil (2003), jeweils um "*one-level ontologies*", und diese scheitern allesamt am irreduziblen Emergenzaspekt. Die Inkohärenzproblematik der BORO-TLO gilt umso mehr, als sie selbst mit der Maßgeblichkeit ihres *Possibilismus* zweifellos als *multiplikative* TLO-Konzeption zu erachten ist. Das gilt zum einen in Bezug auf ihr breites Spektrum zulässiger Konzepte, etwa wenn die BORO-TLO im Zeichen der *TLO-EO-Verkopplung* als EO-Basis fungiert.⁴⁶⁹¹ Zum anderen geht es im Gegensatz zu OCHRE bei BORO nicht bloß um eine Modalität "*de re*", sondern vielmehr darüber hinaus auch um eine Modalität "*de dicto*". Denn in ihren *möglichen Welten* geht es vor allem um *Planwelten* bzw. *Szenarien*, die jenseits des *IoX-Monitoring* im industriellen Kontext *de facto* gerade auch in Bezug auf die strategische Beschreibung *neuer Möglichkeiten* bzw. innovativer Geschäftsmodelle essentiell sind.

Entitäten bzgl. Plänen, die sich auf *mögliche Welten* beziehen, sind jedoch nicht nur mit solchen, die im strengen Aktualismus stehen, inkompatibel. Vielmehr lassen sie sich auch nicht auf einen physischen Träger reduzieren. Vielmehr sind ihre Entitäten nach Maßgabe des Hartmannschen Schichtgedankens irreduzibel, jedoch für Cyber-physische Systeme (CPS) konstituierend. Zwar bauen sie mit *Ereignissen* ihrerseits auf der fundamentalen 4D-Kategorie auf, haben jedoch mit ihren Planwelten spezifische Entitäten zum Gegenstand, die es in der physischen Welt gar nicht gibt. Und doch sind auch diese Entitäten für die Begründung *Cyber-physischer Systeme* (CPS) essentiell und sind entsprechend auch zwingend in einer universalen Ontologie zu berücksichtigen. Insgesamt ist zu konstatieren, dass es bei der BORO-TLO nicht um einen *Possibilismus* Lewisscher Spielart geht, sondern um einen, der sich primär auf *Artefakte* bezieht. Es geht also letztlich um genau jenen spezifischen Modus, der in Pkt. 3.5 als W3P-Ontologietypus abgegrenzt wurde. Die richtige Basis ihres *Emergentismus* und *Realismus* müsste entsprechend eigentlich bei Poppers *Drei-Welten-Lehre* liegen, auf die jedoch nicht rekurriert wird. Vor diesem Hintergrund kann die

⁴⁶⁹⁰ Vgl. M. West (2009: 241).

⁴⁶⁹¹ Vgl. dazu De Cesare/Partridge (2016).

Lösung des Inkohärenzproblems der BORO-TLO letztlich auch in CYPO FOX gesehen werden. Denn hier wird nicht nur mit der emergentistischen *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads auf einer kohärenten Basis techno-wissenschaftlicher Metaphysik aufgebaut, sondern der W1-Modus absorbiert dabei auch den streng physischen 4D-Modus Quines bzw. M. Hellers, womit eine strenge naturwissenschaftliche Basis etwa auch für die Zwecke der chemischen Prozessindustrie garantiert ist. Demgegenüber eröffnet ihr W2- bzw. W3-Modus jene möglichen Planwelten, um die es bei der BORO-TLO im Rekurs auf Sider geht.

Eine ähnlich eklektizistische Basis philosophischer Ontologie wie die BORO-TLO besitzt auch die GFO-TLO. Bei der GFO-neu ist zunächst positiv zu konstatieren, dass sie im Gegensatz zu den aufgesetzten Systemebenen bei Bunge im expliziten Rekurs auf N. Hartmanns *Schichtengedanken* tatsächlich ontische "*levels of reality*" voraussetzt. Insofern ist sie also wieder ganz anders gehalten als die BORO-TLO, auch wenn beide gleichermaßen von "*levels of reality*" sprechen. Dabei wird wiederum deutlich, dass das dezidierte Aufbauen von TLO-Theorieanwärters auf einer spezifischen metaphysischen Basis tatsächlich nur dann in legitimer Weise eingelöst wird, wenn diese auch mit all ihren Konsequenzen strikte Gültigkeit besitzt. Ist ein TLO-Theorieanwärter in dieser Sache inkonsistent, so ist er auch defekt und entsprechend unhaltbar. Damit bleibt letztlich auch für die GFO-neu zu konstatieren, dass sie ebenfalls inkonsistent ist. Denn sie baut einerseits auf dem realen emergentistischen Schichtengedanken Hartmanns auf, was an sich richtig ist. Sie setzt dabei wie die BORO-TLO perdurantistische Prozesse voraus, was in techno-wissenschaftlicher Hinsicht ebenfalls sachgerecht ist. Ihr Fehler liegt indessen im dritten Schritt, indem zwar Emergenz, Prozesse und reale Schichten vorausgesetzt werden, jedoch im Gegensatz zu Whitehead und Hartmann keine realen Objekte. Wie in Pkt. 6.2.6 herausgestellt, hält man diese vielmehr im Zeichen von Kontinuanten als »creations of the mind«, indem man offensichtlich meint, dass es solche Objekte allein im *Common Sense* geben kann. In dieser Sache ist wiederum die BORO-TLO weiter, wenn für sie außer Frage steht, dass selbst "*ordinary physical objects*", wie sie im *Common Sense* bemüht werden, in einem *4D-basierten ontologischen Framework* genauso ihren Platz haben.⁴⁶⁹² Allerdings übersehen die BORO-Protagonisten dabei, dass sich diese Position im techno-wissenschaftlichen Zusammenhang allein im Zeichen von Whiteheads *ereigniszentrischen Objekten* begründen lässt.

Letztlich muss man zu dem Schluss gelangen, dass man die "*levels of reality*", wie sie bei Conger (1925) mit dem "*metaphysical level*" im Zeichen des ereigniszentrischen Emergentismus S. Alexanders bzw. C.L. Morgans gemeint sind, allein auf Basis eines einzigen TLO-Theorieanwärters realisieren kann, und zwar auf Grundlage der Sowa-TLO. Allerdings ist festzustellen, dass zwar nahezu alle TLO-Ansätze in der einen oder anderen Variante dem Mehrebenengedanken folgen, allerdings gerade eine Top-level Ontologie nicht, nämlich die Sowa-TLO. Bei ihr geht es zwar um die verschiedensten Repräsentati-

⁴⁶⁹² Vgl. dazu etwa M. West (2009).

onsebenen, jedoch werden dabei gerade mit den "*levels of reality*" die für den *CPST-Hyperspace* gerade entscheidenden Ebenen vergessen.⁴⁶⁹³ Emergentisten wie S. Alexander, C.L. Morgan, N. Hartmann oder Popper kommen in Sowa's metaphysischen Überlegungen nicht vor, während der Emergentismus der Whiteheadschen Prozessmetaphysik inhärent ist, auf der die Sowa-TLO aufbaut. Insgesamt betrachtet wird insofern auch klar, was die gegenwärtigen TLO-Ansätze zu leisten imstande sind – und was nicht. Denn am *Komplexitätsparadigma* orientierte *Scientific Ontologies* setzen letztlich genau eine ereigniszentrische, emergentistische *Mehrebenenkonzeption* im Zeichen von S. Alexander, C.L. Morgan und schließlich von N. Hartmann voraus, die dabei auf dem Whiteheadschen Gedanken der Reproduktion von Ordnungsmustern basieren.

Zwischen einer multiplikativen vs. reduktionistischen Konzeption der Top-level Ontologie gibt es einen Trade-Off, und dieser besteht vor allem in der Ausdrucksstärke der Ontologie einerseits, und der Ökonomie bzw. Effizienz der gesamten Ontologiesystematik andererseits. Multiplikative Ontologien sind im Hinblick auf ihre Ausdrucksstärke reduktionistischen klar vorzuziehen und heute in vielen Fällen auch unverzichtbar. Dennoch sind die Argumente für den Reduktionismus nicht irrelevant, denn multiplikative Ontologien laufen Gefahr, dass ihre Objektwelt ausufert. Diesem Problem ist aber durch den Reduktionismus nur sehr bedingt beizukommen, weil sich mit Verweis auf die oben dargelegten Zusammenhänge die wenigsten Sachverhalte hinreichend auf niederen Ontologieebenen repräsentieren bzw. tatsächlich reduzieren lassen. Die Verbindung dieser Frage mit der Metaphysik ist bereits aus dem Grunde angezeigt, als zu fragen ist, welche Art von Universum der TLO-Ansatz in seiner philosophischen Fundierung voraussetzt. Ist es das ewige Universum des Aristoteles oder ist es das kreative, schöpferische Universum Whiteheads? Es ist letzteres, in dem die Evolution Neues auf höheren Stufen hervorbringt – und damit auch neue Entitäten. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die meta-ontologischen Diskussionen der Informatik nicht immer in die erforderliche Tiefe gehen. Tatsächlich gibt es im Zuge bestehender TLO-Evaluierungen zahlreiche Fehleinschätzungen, etwa, dass die *revisionäre Metaphysik* generell auf eine *reduktionistische* Top-level Ontologie hinauslaufe.⁴⁶⁹⁴ Richtig ist vielmehr, dass es sowohl reduktionistische (Bunge) als auch multiplikative (Whitehead) revisionäre Metaphysiken gibt. Tatsächlich ist Whiteheads Metaphysik auch nicht mit Blick auf ihren logico-mathematischen Strukturalismus als reduktionistisch zu erachten, indem sie an sich etwa *Engineering Artefakte* auf höheren Ebenen zulässt, wie sie Popper schließlich damit korrespondierend als W3-Artefakte abgrenzt. Im Umkehrschluss folgt daraus, dass eine multiplikative Top-level Ontologie keineswegs notwendig eine deskriptive Metaphysik impliziert.

Insofern die Ontologie der Informatik den Emergenzaspekt gerade auch in direkter metaphysischer Weise erschließen können muss, erfordert seine materielle Voraussetzung

⁴⁶⁹³ Vgl. Sowa (2000: 186 ff.).

⁴⁶⁹⁴ Vgl. etwa Obrst (2010: 41).

eine etwas eingehendere Betrachtung: Zwar wird die Emergenzproblematik bereits beim Chemiker und Philosophen M. Polanyi allgemeiner erforscht,⁴⁶⁹⁵ jedoch nicht in der Weise, wie sie universalontologisch von Belang ist. Bei H.A. Simon (1962: 468) und Bertalanffy (1968: 55) beschränkt sich die systemtheoretische Klärung der Emergenzfrage demgegenüber auf die Feststellung, dass das Ganze mehr sei als die Summe seiner Teile. Damit wird klarer was gemeint ist, wenn H.A. Simon (2000: 13) später feststellt: »Complex systems are not just any old systems«; dennoch ist dies gerade auch in ontologischer Hinsicht zu wenig. Demgegenüber bleibt die Gestaltpsychologie in dieser Sache ähnlich bedeckt.⁴⁶⁹⁶ Ein universaler Zugang zur Emergenzproblematik eröffnet sich erst mit dem Physiknobelpreisträger und Komplexitätsforscher P.W. Anderson (1972), indem sie hier in den Kontext *komplexer Systeme* gestellt wird:

»The ability to reduce everything to simple fundamental laws does not imply the ability to start from those laws and reconstruct the universe. [...] The constructionist hypothesis breaks down when confronted with the twin difficulties of scale and complexity. [...] [A]t each level of complexity entirely new properties appear [...]. Psychology is not applied biology, nor is biology applied chemistry. [...] [W]e can see how the whole becomes not only more than but very different from the sum of its parts.«⁴⁶⁹⁷

Zur selben Zeit findet sich der Emergenzbegriff im Kontext von Prigogines dissipativen Systemen.⁴⁶⁹⁸ In der aktuellen Diskussion spielt der *Emergenzgedanke*, nicht zuletzt in seiner Eigenschaft als *ultimative Kategorie* einer das *neue Wissenschaftsverständnis* repräsentierenden Komplexitätsforschung die zentrale Rolle. Denn der Emergenzgedanke tritt an die Stelle des tradierten Reduktionsgedankens, und damit liegt hier der Streitpunkt zwischen organismischer und mechanistischer Weltauffassung unmittelbar begründet. Entsprechend steht er zum einen im Zentrum einer ausführlichen philosophischen resp. wissenschaftstheoretischen Diskussion,⁴⁶⁹⁹ zum anderen in jenem der modernen Strömungen der Komplexitätsforschung.⁴⁷⁰⁰

⁴⁶⁹⁵ Vgl. Polanyi (1958; 1967: 27 ff.; 1968).

⁴⁶⁹⁶ Die Begründung der *Gestaltpsychologie* resp. psychologischen *Gestalttheorie* geht wesentlich zurück auf Ehrenfels (1890); vgl. zu dieser Strömung Madden (1962), vgl. hierzu kritisch Grelling/Oppenheim (1939), Rescher (1953) sowie Rescher/Oppenheim (1955). Überlegungen zum Strukturbegriff finden sich bereits in den im Kontext der Ganzheits-, Gestalt- resp. Strukturpsychologie stehenden Arbeiten von Dilthey (1927), Spranger (1924) oder Krueger (1924); vgl. etwa konkret Krueger (1924: 13): »Struktur bedeutet gegliederte und in sich geschlossene Ganzheit von Seiendem«. Ähnlich gilt mit Spranger (1924: 10): »Wie in einem physischen Organismus jedes Organ durch die Form des Ganzen bedingt ist und das Ganze nur durch das Zusammenwirken aller Teilleistungen lebt, so ist auch das Seelische ein teleologischer Zusammenhang, in dem jede einzelne Seite allein vom Ganzen her verständlich wird und die Einheit des Ganzen auf den gegliederten Teilleistungen der Einzelfunktionen beruht«. Nach Spranger (1924: 9) ist ein Gebilde der Wirklichkeit dann *Struktur*, »wenn es ein Ganzes ist, in dem jeder Teil und jede Teilfunktion eine für das Ganze *bedeutsame* Leistung vollzieht, und zwar so, daß Bau und Leistung jedes Teiles wieder vom Ganzen her bedingt und folglich nur vom Ganzen her verständlich sind«. Piaget (1959) schließt hieran nur bedingt an, indem bei Piaget (1973) das Strukturdenken nicht allein strukturpsychologisch verankert ist, sondern vielmehr im Zeichen des *Strukturalismus* universalisiert wird. Das gilt ähnlich bereits für N. Hartmann (1912), wenn dieser von seinem ontologischen Standpunkt auf die Notwendigkeit der Systembetrachtung gerade auch in der Psychologie hinweist, und dies bereits strukturalistischer Natur ist.

⁴⁶⁹⁷ P.W. Anderson (1972: 393, 395).

⁴⁶⁹⁸ Vgl. Prigogine/Grecos (1973: 373).

⁴⁶⁹⁹ Vgl. etwa Lowry (1974), Bunge (1977b, 2003a), Popper/Eccles (1977), J.J.C. Smart (1981), Klee (1984), Van Cleve (1990), Stöckler (1991), Bechtel/Richardson (1992, 1993), Blitz (1992), J. Kim (1992, 1999,

Wie oben ausgeführt, wird mit dem Emergenzmoment, das zumindest jeder *realistischen* Mehrebenenontologie inhärent ist, die Fundierung der Ontologie durch die Komplexitätsforschung unumgänglich. Denn die primären *Scientific Ontologies* lassen sich allein auf dem aktuellen Stand der Wissenschaften in adäquater Weise konzipieren. Sucht man ihr *universales* Moment, dann besteht dieses in den Strukturwissenschaften bzw. in der Komplexitätsforschung. Indem die *Scientific Ontologies* für die Ontologie der Informatik primär sind, besteht in dieser Sache Klärungsbedarf. Denn dieser berührt das Inkommensurabilitätsproblem mit Pkt. 1.2 in elementarer Weise, indem oftmals versucht wird, die notwendigen universalen Momente über ein anderes Prinzip als über das *Transdisziplinari-tätsmoment* herzustellen. Allerdings besteht darin ein Trugschluss, womit nochmals insgesamt die Situation der Wissenschaften in Bezug auf die universalen Prinzipien der Emergenz, Evolution, Selbstorganisation sowie der Komplexität zu hinterfragen ist.

Heute legen alle Wissenschaften, allen voran die Physik, eine *organismische Weltauf-fassung* zugrunde. Die Physik von heute ist eine *Physik der Evolutionsprozesse*, eine *Physik des Lebens und Werdens*, ebenso wie etwa die physikalische Chemie oder die Biologie, die im transdisziplinären Einklang mit den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften und mit Verweis auf Pkt. 6.1.1 entsprechend auch eine *Ontologie des Werdens* erfordern. Sie benötigen eine wissenschaftliche Ontologie, die in der Lage ist, die Einheit dieser organismischen Wissenschaften zu begründen, was weder der Physik noch der Biologie als solche gelingen kann. Vielmehr ist dies nur im transdisziplinären Sinne auf Basis einer organismischen Philosophie möglich, wie sie in Pkt. 4.2 umrissen wurde. Was hier entscheidend ist, betrifft das Verhältnis dieser organismischen Wissenschaften, die auf Selbstorganisation, Evolution, Emergenz und Komplexität gründen, zum Reduktionismus. Dazu ist gerade in jener Disziplin, auf der bislang in den meisten Fällen dieser Reduktionismus begründet wurde, eine deutliche Tendenz auszumachen: Tatsächlich findet der Reduktionismus in weiten Teilen der Physik, angefangen vom Astrophysiker Barrow (1990) bis zum Physik-nobelpreisträger Laughlin (2005) seit einigen Jahrzehnten seine Fundamentalkritik.^{4701, 4702}

2001, 2006a, 2006b), Stephan (1992, 1997, 1999, 2001, 2006), Teller (1992), Beckermann (1992), Farre (1994), O'Connor (1994), Wimsatt (1994, 1997), Newman (1996), Humphreys (1996, 1997a, 1997b), Rohrlich (1997), J. Schröder (1998), Silberstein (1998, 2006), D. Davidson (1999), Ch. Liu (1999), Silberstein/McGeever (1999), R.K. Sawyer (1999), Bickhard/Campbell (2000), Rueger (2000a, 2000b), Batterman (2001), Crane (2001), B. Cunningham (2001), Van Gulick (2001), O'Connor/Wong (2005), J. Wilson (2005), Harré (2006), Heard (2006) sowie Soto/Sonnenschein (2006).

⁴⁷⁰⁰ Vgl. etwa Kauffman (1984, 1995a), Cariani (1992), Crutchfield (1994), Darley (1994), Bedau (1997a, 1997b), Faith (1998), J. Goldstein (1999), Holland (1999, 2002), Solow (2000), Standish (2001), Morowitz (2001, 2002), P.A. Corning (2002a, 2002b), Davies (2003a, 2004), Kubík (2003), S. Jones (2003) sowie Bar-Yam et al. (2004).

⁴⁷⁰¹ Vgl. Barrow (1990: 148): »We have seen that a naïve reductionism that would seek to reduce everything to its smallest constituent pieces is misplaced. If we are to arrive at a full understanding of complex systems, especially those that result from the haphazard workings of natural selection, then we shall need more than current candidates for the title 'Theory of Everything' have to offer. We need to discover if there are general principles that govern the development of complexity in general which can be applied to a variety of different situations without becoming embroiled in their peculiarities«. Vgl. daneben Laughlin (2005: 221): »We live not at the end of discovery but at the end of Reductionism, a time in which the false ideology of human mastery of all things through microscopics is being swept away by

Akzeptiert man die *emergente Physik* als *Physics of Downward Causation* und kombiniert diese mit der *Upward Causation* zu einem *bidirektionalen Emergenzverständnis*,⁴⁷⁰³ dann müssen sich diese Sachverhalte und vor allem das emergentistische Hierarchieverhältnis auch in der diesbezüglichen Wissensrepräsentation wiederfinden können, wenn es um *Scientific Ontologies* geht. Denn die "*New Physics*" ist *emergente Physik*, und zwar genau derart, dass sie einen *nichtreduktiven Physikalismus* impliziert, welche mit J. Kim (1993) wiederum dem Moment der *Downward Causation* verpflichtet ist.⁴⁷⁰⁴ Anders gewendet würden die "*New Physics*" bzw. alle nunmehr am *Komplexitätsparadigma* orientierten Wissenschaften letztlich an der Wissensrepräsentation scheitern, womit sie zumindest für die Zwecke der *Semantic E-Sciences* nicht adressierbar wären. Allerdings können diese nur auf Basis des *Komplexitätsparadigmas* als sinnvoll erachtet werden, indem etwa bei Langley/Zytkow et al. (1986) bzw. Langley/Simon et al. (1987) die Idee der *Scientific Discovery* um maschinelle Agenten kreist, die mit Simon (1962) konsequent im Zeichen der *Architecture of Complexity* zu sehen sind. Die Ontologie der Informatik setzt sich mit all diesen Fragen kaum auseinander, indem das ganze Gebiet der *Scientific Ontology* noch mehr oder weniger vollständig unerforscht ist. Zwar stehen sie bei Smithens BFO-TLO im Fokus, jedoch auf Basis der falschen Metaphysik. Denn die richtige Metaphysik ist nicht Smithens deskriptive Variante, sondern eine revisionäre Metaphysik, die

events and reason. This is not to say that microscopic law is wrong or has no purpose, but only that it is rendered irrelevant in many circumstances by [...] the higher organizational laws of the world«. In Bezug auf die *Theory of Everything* ist gewiss noch nicht das letzte Wort gesprochen. Für B.C. Smith (2002: 53) ist sie gar nicht Sache der Physik, sondern im Zeichen des *Computing* (bzw. der Information) jene der *Metaphysik*. Dazu gibt es auch in der Physik eine gewisse Tendenz: G.F.R. Ellis (2004), der mit Hawking die aus der allgemeinen Relativitätstheorie vorhersagbaren schwarzen Löcher erforschte, vgl. Hawking/Ellis (1973), hat nicht nur die Poppersche *Drei-Welten-Lehre* zur *Vier-Welten-Ontologie* ausgebaut. Vielmehr konstatiert G.F.R. Ellis (2006b: 102) im Hinblick auf die emergente Kausalität: »One must now acknowledge that we do not have the concept of a complete account of all causally effective aspects of the physical world«. Wenn die *New Physics* mit G.F.R. Ellis und anderen letztlich auf der Kosmologie Whiteheads aufbaut, dann sollten auch auf ihrer Basis die Grundlagen der *Theory of Everything* gesucht werden. Das läuft insofern auf eine Gegenposition zu Weinberg (1994: Ch. 7) hinaus, als dieser der Philosophie keinen Wert bei der Suche nach der *Theory of Everything* zumisst. Wenn die *New Physics* im Zeichen der Kosmologie Whiteheads steht, dann hat Weinberg (1994) offenbar die falschen philosophischen Ansätze vor Augen; um die Kosmologie Whiteheads geht es jedenfalls nicht. Diese wäre auch unpassend, denn Weinberg (1994: Ch. 3) vertritt einen antiquierten physikalischen Reduktionismus und damit das genaue Gegenteil von G.F.R. Ellis (2006b) und der *New Physics*.

⁴⁷⁰² Dieser Wandel in der Weltauffassung bedeutet indessen nicht, dass Komplexitätstheorien sämtliche reduktionistischen naturwissenschaftlichen Theorien ersetzen sollten. Vielmehr bleibt es bei einer Koexistenz beider Theorievarianten; reduktionistische Theorien bleiben für bestimmte Zwecke unverzichtbar, wie auch das Verständnis von Einfachheit zuweilen eine der Voraussetzungen für das Verständnis des Komplexen bildet, vgl. hierzu Mainzer (1988, 1991); vgl. exemplarisch Morowitz (1997) sowie Tsonis/Tsonis (1997). Ihr Zusammenspiel entspricht auch der Logik *zellulärer Automaten*.

⁴⁷⁰³ Vgl. hierzu Fn. 2740.

⁴⁷⁰⁴ Die *Downward Causation* bzw. *Abwärtskausalität* bezeichnet in einem hierarchisch gegliederten komplexen System einen kausalen Einfluss höherer auf niedere Ebenen, vgl. hierzu Popper/Eccles (1977), J. Kim (1992, 2000), J. Schröder (1998), El-Hani/Emmeche (2000), Emmeche et al. (2000) sowie Davies (2006). Das Konzept der *Downward Causation* geht auf den Psychobiologen und Nobelpreisträger Sperry (1969, 1991) sowie – auch begrifflich – auf den Sozialpsychologen und Wissenschaftstheoretiker Campbell (1974b) zurück; Sperry (1991: 229) weist darauf hin, dass der Begriff selbst von Campbell (1974b) stammt. Alternative Bezeichnungen sind "*top-down-Kausalität*" oder "*Verursachung nach unten*"; entsprechend kann zwischen *Upward Causation* und *Downward Causation* differenziert werden.

als Komplexitätsmetaphysik eine direkte Verbindung zur Komplexitätsforschung zulässt. Diese ist bei Smith nicht gegeben, indem für seine Scientific Ontologies die engen Restriktionen gelten, die mit dem neo-aristotelischen Schema verbunden sind. Als solche stehen sie schon allein Simons (1969) *Sciences of the Artificial* entgegen, die indessen für die Komplexitätsforschung essentiell sind. Insofern sind insgesamt maßgebliche Defizite im gegenwärtigen Ontologieverständnis zu konstatieren, wenn die Hierarchie, die in Bezug auf das Zusammenspiel von wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien gegeben ist, für CPSS-adäquate Ontologien genau von ersten aufzuschließen ist. Darüber hinaus verlangt jedoch nicht nur ein reduktionistisches, sondern auch ein multiplikatives Ontologieverständnis nach einem "common formal framework" bzw. "ontological backbone", woraus schließlich insgesamt wiederum das Erfordernis eines einheitlichen Ontologieverständnisses und einer integrierten Ontologiekonzeption resultiert, die *sämtliche* Entitäten zu inkorporieren versteht.

Demgegenüber bleibt mit der an Darwin angelehnten *Evolutionary Computation* zu klären, inwiefern die biologische Evolutionstheorie im Speziellen sowie der Naturalismus und die Querdisziplinarität (Crossdisciplinarity) tatsächlich für die Ontologie der Informatik konstituierend sein können. Vielmehr ist zu hinterfragen, ob Simons (1969) *Sciences of the Artificial* und andere Ontologiezwecke nicht einen anderen, nämlich dezidiert transdisziplinären Zugang erfordern, der aufbauend auf einer prozessmetaphysischen Verankerung der Klasse-4-Metaphysik im universalen Strukturalismus komplexer Systeme mündet. Diese Diskussion ist aus dem Grunde notwendig zu führen, als die Rolle der Darwinschen Evolutionstheorie nicht nur in der Komplexitätsforschung selbst umstritten ist, sondern auch Popper in genau dieser Sache von dem ansonsten geteilten metaphysischen Schema Whiteheads abweicht, indem er den *Darwinismus* kurzerhand zum *metaphysischen Forschungsprogramm* erklärt. Ob diese Positionen indessen tatsächlich haltbar sind, ist für die Klärung von McCarthys (1995) Frage des "general world view" wesentlich.

Die Darwinsche Evolutionstheorie ist zwar für die *Theorie komplexer Systeme* im naturwissenschaftlichen Bereich gewiss von Relevanz,⁴⁷⁰⁵ und es ist gerade Prigogine, der sie als theoretischen Integrationsansatz der Komplexitätsforschung ins Spiel bringt. Nach ihm sind *Evolutionsprozesse* ontisch im Zeichen des "Trial and Error" auszulegen:⁴⁷⁰⁶ »evolution results from the individual trial and error of different strategies by the entities composing the system«. ^{4707, 4708} Ähnlich positiv konstatiert Haken (1988a: 4):

⁴⁷⁰⁵ Hier sei exemplarisch verwiesen auf Eigens *Theorie der Hyperzyklen*, vgl. Eigen (1971, 1973) sowie Eigen/Schuster (1977, 1978a, 1978b); Eigen (1971: 516) sucht dabei u.a. im Rahmen der Molekularbiologie das Darwinsche Evolutionsprinzip mit der Informationstheorie zu vereinigen. Ferner sei verwiesen auf Hakens *Lehre von der Synergetik*, vgl. etwa Haken/Graham (1971: 195), oder auf die *Physik der Evolutionsprozesse*, vgl. Feistel/Ebeling (1982). Selbst Kauffman/Smith (1986) bauen im Kontext der Automatentheorie auf ihr auf. Sofern man Hayeks *Theorie komplexer Phänomene* mit Blick auf das grundsätzliche Komplexitätsverständnis (allerdings nicht methodologisch) in einer sehr weiten Auslegung mit hinzuzählen könnte, auch auf Hayek (1972: 21 ff.).

⁴⁷⁰⁶ Vgl. Prigogine/Allen (1982), insbes. pp. 32, 34 f., 38.

⁴⁷⁰⁷ Vgl. Prigogine/Allen (1982: 32).

»[T]here are the very many systems in nature which have been produced by nature herself, or in other words, which have been self-organized. Here, quite evidently, the evolutionary vision, i.e. Darwinism, plays an important role in biology, where an attempt is made to understand, why and how more and more complex systems evolve.«

Auch in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften ist die Darwinsche Theorie von großer programmatischer Bedeutung, indem bereits Hayek (1972: 21) den Darwinschen Ansatz als »beste Illustration einer Theorie komplexer Phänomene« erachtet. Bereits zuvor wird diese Sichtweise auch in epistemischer Hinsicht vertreten, nämlich mit der *Evolutionären Erkenntnistheorie*,⁴⁷⁰⁹ wie sie schließlich auch Popper (1973) vertritt. H.A. Simon (1983a) baut als AI- bzw. Komplexitätsforscher auf dieser auf, indem er Lernen als Prozess versteht, der im Darwinschen Sinne zu einer besseren Performance des Systems führt: »Learning denotes changes in the system that are adaptive in the sense that they enable the system to do the same task or tasks drawn from the same population more efficiently and more effectively the next time.«⁴⁷¹⁰ Popper (1979: 243 ff.) fasst diese ontischen und epistemischen Verallgemeinerungen der Darwinschen Theorie zusammen, indem er den *Darwinismus* zum *metaphysischen Forschungsprogramm* erklärt. Allerdings ist ein solches Bestreben aus zwei Gründen gänzlich unhaltbar:⁴⁷¹¹ (i) zum einen wird die Darwinsche Theorie gerade in der jüngeren Komplexitätsforschung inzwischen überaus kritisch bzw. als defekt gesehen;⁴⁷¹² dabei läuft etwa die Kritik von Jantsch (1982) an der Darwinschen Evolutionstheorie als Ausgangspunkt für ein universales Evolutionsverständnis implizit auf die Position Whiteheads hinaus, wenn er konstatiert:

»What is the meaning of *randomness* in the context of a multilevel evolution in which each level brings new ordering principles into play? How random is the fluctuation which is introduced into a system by one of its members or by an outsider if this individual is itself the product of a long evolutionary chain and of its own ontogeny? It seems that we frequently confuse indeterminacy and chance. Indeterminacy is the freedom available at each level which, however, cannot jump over the shadow of its own history. Evolution is the open history of an unfolding complexity, not the history of random processes. What emerges are the contours of a world in which little (if anything) is purely

⁴⁷⁰⁸ Indessen sollten auch für Prigogine/Allen (1982: 38) die Grenzen der Darwinschen Analogie klar sein, wenn außer Frage steht, dass die Wahlhandlungen *indeterministischer* Natur sind: »The evolution characteristic of complex systems, such as we encounter in biology, ecology, or sociology [...] presents real choices and real freedoms. In consequence, we have the responsibility of trying to understand the dynamics of change in order both to formulate realistic objectives and to discover which actions and decisions should be taken in order to move closer to them«.

⁴⁷⁰⁹ Vgl. hierzu etwa D.T. Campbell (1960a, 1960b, 1965, 1970, 1974a).

⁴⁷¹⁰ Vgl. H.A. Simon (1983a: 28), ohne Hvh. des Orig.

⁴⁷¹¹ Ähnlich vermerkt der Evolutionsbiologe und Neodarwinist Mayr (1988: 242) im Kontext der *Darwinschen Revolution*, dass »Darwin zum Begründer einer neuen Philosophie geworden« sei. Das ist nicht nur mit Blick auf die Universalisierung einer einzelwissenschaftlichen Theorie haltlos, sondern auch insofern, als die Evolutionsprozesse in universaler Form bereits durch Leibniz, Kant, Schelling und Hegel wesentlich vorweggenommen wurden. Es sollte auch nicht übersehen werden, dass Darwin den zentralen Populationsgedanken Malthus zu verdanken hat.

⁴⁷¹² Etwa in der *Theorie der Selbstorganisation* durch Jantsch (1979: 168, 173; 1981b: 84), bei B.C. Goodwin (1994a, 1994b, 1995) oder später bei Kauffman (1988a, 1995a). Analoges gilt bereits für Bertalanffy (1970: 140, 144, 181, 187) *Allgemeine Systemtheorie*. Bereits für Bertalanffy (1935: 368) ist evident, dass die »Artbildung [...] nicht durch Darwinismus oder Lamarckismus erklärt werden [kann]«, sondern dass demgegenüber vielmehr »der 'Göbelsche Faktor' eines immanenten Gestaltungstriebes angenommen werden [muß]«. Tatsächlich sei davon auszugehen, dass »[d]ie Reaktionen der Organismen [...] durch eine Auswirkung ihrer schöpferischen Aktivität darstellende 'Bioimpulse' [geleitet] [sind], die Willensakten vergleichbar sind«.

random, but much is indetermined and shaped by a creativity that transcends the systems which are its vehicles.«⁴⁷¹³

Jantsch (1981c: 209 f.) kritisiert den Darwinismus in seiner einseitigen Betonung externer Selektion und seinem Evolutionsverständnis, das nicht mehr ist als »a game in which the only payoff is to stay in the game«. Dieses Evolutionsverständnis kann nach Jantsch für die Komplexitätsforschung nicht wegweisend sein. Mit Jantsch (1981b: 84) gilt: »A dualistic paradigm such as Darwinism is inherently incapable of grasping the total phenomenon of a universal evolution«. Damit ist mit Jantsch (1979) der Darwinismus überwunden:

»Leben schafft sich [...] seine Bedingungen zu einem guten Teil selbst. Mit dieser Erkenntnis ist der Darwinismus, der Leben einseitig als Anpassung an eine vorgegebene Umwelt ohne Rückkopplungswirkung versteht, bereits überwunden.«⁴⁷¹⁴

Vor allem rückt mit Jantsch damit jenes Moment in den Vordergrund, dass die ultimative Kategorie der Whiteheadschen (1929a) Prozessmetaphysik vor dem Hintergrund eines *emergierenden Universums* bildet: »Instead, the creative aspect of evolution moves into the foreground now.«⁴⁷¹⁵ Dass die *Ereigniskategorie* bei Whitehead (1929a) die elementare ist, wird vor diesem Hintergrund verständlicher, wenn auch Prigogine (1997: 5) konstatiert: »We need not only *laws*, but also *events* that bring an element of radical novelty to the description of nature. This novelty leads us to the 'new kind of knowledge' [...]«. Zum anderen ist (ii) festzustellen, dass eine fachspezifische Theorie nicht einfach auf die Ebene der Metaphysik gehoben werden kann, ohne zuvor eine empiristische Universalsynthese vollzogen zu haben. Denn mit Wittgenstein (1953: 39, § 4.1122) hat »[d]ie Darwinsche Theorie [...] mit der Philosophie nicht mehr zu schaffen, als irgend eine andere Hypothese der Naturwissenschaft«. So wird bereits vor dem Hintergrund der *rein zufälligen Mutation* deutlich, dass nicht nur Simons (1983b: 37 ff.) Kritik im Hinblick auf den für Agententheorien äußerst wesentlichen Rationalitätsgesichtspunkt richtig ist, sondern dass die biologische Evolutionstheorie natürlich in keiner Hinsicht universal ist. Damit wird zum einen das Erfordernis einer *echten* Metaphysik umso offensichtlicher, die sich als *Komplexitätsmetaphysik* bewähren kann, und auf deren Basis sich eine tatsächlich universale Evolutionstheorie begründen lässt. Zum anderen steht damit außer Frage, dass die empiristische Universalsynthese mitnichten in der Darwinschen Theorie besteht, sondern dass diese in einer Alternative bestehen muss, die auch tatsächlich universal ist.

In moderner Interpretation der Darwinschen Theorie werden zufällige Schwankungen beziehungsweise Mutationen nach Maßgabe der Randbedingungen entweder verstärkt und avancieren schließlich zum dominanten Ordnungsparameter, oder aber sie klingen ab und degenerieren im Zeitablauf vollends. Allerdings besteht inzwischen Konsens, dass sich koevolutive Prozesse unter Randbedingungen anders vollziehen als in der Darwinschen Theorie konzipiert.⁴⁷¹⁶ Denn Selektion ist nicht als rein *externe* Selektion zu verstehen, son-

⁴⁷¹³ Jantsch (1982: 352).

⁴⁷¹⁴ Jantsch (1979: 173).

⁴⁷¹⁵ Vgl. Jantsch (1981c: 210).

⁴⁷¹⁶ Zu *Randbedingungen* vgl. im Einzelnen B.-O. Küppers (1991: 95).

dern genauso systemimmanent im Zeichen *interner* Selektion durch Bifurkation. Im Konzept der *Autopoiesis* wird die *interne* Selektion als genauso entscheidend erachtet; dabei wird insbesondere auf den Umstand der operationalen Geschlossenheit selbstorganisatorischer Prozesse verwiesen.⁴⁷¹⁷ Selbst wenn von dieser Geschlossenheit abgesehen wird, indem Wuketits (1998: 322) konstatiert: »Evolution is the interplay between external and internal selection«, also ein Wechselspiel der Selektionskräfte unterstellt wird, ist die Darwinsche Theorie nicht mehr haltbar. Denn interne Selektion ist etwas anderes als Mutation. In der *Theorie dissipativer Strukturen* kommt es im Zuge prozessualer Selbstorganisation zur Ausbildung geordneter makroskopischer Strukturen, die aus sich selbst verstärkenden *mikroskopischen Fluktuationen*, also aus Schwankungen, emergieren. In der Nähe makroskopischer Bifurkationspunkte kommt es zur Selektion dieser Fluktuationen gemäß der jeweils vorliegenden Randbedingungen.⁴⁷¹⁸

Für die Frage nach der universalen Autonomie selbstorganisatorischer Prozesse markiert dies einen ganz zentralen Unterschied. Auch sagt die Theorie natürlicher Selektion nichts aus bezüglich der Komplexitätszunahme bei Fortschreiten der Evolution,⁴⁷¹⁹ was jedoch auf Grundlage der internen Adaptionsprozesse erklärbar wird. Wenn es bei der Darwinschen (1859) Theorie zwar um Evolution geht, heißt das indessen nicht, dass sich auf ihrer Grundlage universale Phänomene wie die Selbstorganisation, das Entstehen von Komplexität oder das Moment der Emergenz richtig verstehen lassen.⁴⁷²⁰ Vor allem lässt sich auf ihrer Basis auch nicht die kosmologische Evolution erklären, wozu etwa die Naturphilosophie Schellings (1799) schon weitaus mehr beiträgt. Insofern ist es gewiss völlig vermessen, den Darwinschen Ansatz als einzelner erfahrungswissenschaftlicher Theorie auf die Ebene einer metaphysischen Programmatik heben zu wollen. Das gilt umso mehr, als diese Theorie bereits im einzelwissenschaftlichen Bereich nicht mehr haltbar ist, indem ihre Erklärungen als nicht ausreichend zu erachten sind.

Wenn auch gilt: »Alle Biologie ist Evolutionsbiologie«,⁴⁷²¹ bedeutet das mit Verweis auf Pkt. 4.2 noch lange nicht, dass selbst biologische Evolutionsprozesse auf Basis des Darwinschen Evolutionskonzepts richtig konzipiert sind. Vielmehr deutet bereits die moderne synthetische biologische Evolutionstheorie an, dass dieser Erklärungsansatz zur Herausbildung biologischer Arten zu kurz greift, indem sich diese nicht auf Mutation und Selektion als Evolutionsfaktoren beschränkt.⁴⁷²² Tatsächlich setzt die Fundamentalkritik am Darwinismus, wie sie insbesondere durch Kauffman, Goodwin oder Jantsch vorgebracht wird,

⁴⁷¹⁷ Vgl. Stichweh (1998: 307).

⁴⁷¹⁸ Vgl. Prigogine (1985c: 113).

⁴⁷¹⁹ Vgl. Maynard Smith (1994).

⁴⁷²⁰ Damit ist diese Frage, die für Depew/Weber (1995: 479 ff.) noch nicht schlussendlich geklärt werden kann, beantwortet: die Darwinsche Theorie ist mit der Selbstorganisationstheorie unvereinbar, indem erste von einer *unveränderbaren externen Selektionskraft* wie von einer *zufälligen internen Mutation* ausgeht, während für die Selbstorganisationstheorie das *interne Adaptionsvermögen* elementar ist.

⁴⁷²¹ Vgl. Vollmer (1988: 1), ohne Hvh. des Orig.

⁴⁷²² Vgl. hierzu Vollmer (1988: 4 ff.); als weitere Evolutionsfaktoren nennt Vollmer die Annidation, die Isolation, die Gendrift (Sewall-Wright-Effekt) sowie die Rekombination der Gene.

daran an, dass dieser der Selbstorganisation und Emergenz an sich gerade nicht gerecht werden kann, wie es bereits Bertalanffy (1932) erkennt. Auch Eigen (1997: 22) konstatiert: »Im Detail führt die neue Theorie der Selbstorganisation weit über Darwin hinaus und beantwortet Fragen, die bei ihm offen bleiben mussten oder gar Widersprüche provozierten«. Das erkennt im Grunde bereits Schrödinger (1956: 22), indem er feststellt, »that the behaviour of the individual, the way it makes use of its innate faculties, [...] plays the most relevant part in evolution«, womit die zentrale Rolle der *externen Selektion* im Darwinismus, die hier für den Verlauf des eigentlichen Werdeprozesses als ausschlaggebend erachtet wird, grundsätzlich in Frage steht. Denn an die Stelle der maßgeblichen externen Selektion tritt in den Selbstorganisationstheorien die *interne Koordination im Kontext externer Adaption*, womit sich die biologische Evolution im selbstorganisatorischen Sinne primär durch *interne*, und nicht primär durch externe Faktoren bestimmt zeigt. Das haben bereits der Physiker Whyte (1965) und andere im Einzelnen herausgearbeitet.

Ähnlich Bedenken sind in Bezug auf den Fitnessgedanken anzumelden, der nicht mehr im Zeichen externer Selektion steht, sondern sich vielmehr auf die natürlichen Eigenschaften der Organismen bezieht. Entsprechend gilt mit Lewontin (2003: S7): »Darwin's sense of fit has been completely bypassed«. Auch steht die Regelbasiertheit der Selbstorganisation dem für die moderne biologische Evolutionstheorie gleichermaßen zentralen Gedanken einer *rein zufälligen Mutation* entgegen. Der Variations-Selektions-Mechanismus repräsentiert im Darwinismus indessen den theoretischen Kern des Ansatzes, womit in Frage steht, ob dieser im Ganzen haltbar ist. Mit Ayala (1982: 284) ist an der Darwinschen Theorie zu kritisieren, dass Mikro- und Makroevolution nicht voneinander entkoppelt werden können. Für Kauffman (1988a: 11) gilt entsprechend, »that evolutionary theory, indeed our very view of life must be reformulated. Selection is not the sole source of order in organisms«. Diese Kritik gilt auch in anderer Hinsicht: In Kauffmans NK-Modell, das unter anderem auf Wrights (1932) Fitnesslandschaften aufbaut, laufen aktive Suchprozesse darauf hinaus, dass die externe Umwelt nicht strikt deterministisch ist, sondern die Umwelten als solche in gewissem Maße selbst variabel sind. Das wird mit anderen Disziplinen noch deutlicher: Als metaphysisches Forschungsprogramm wird mit dem Darwinismus selbstverständlich genauso universale Gültigkeit für die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften unterstellt, wie es bei Hayek (1972) auch explizit geschieht. Indessen erweist sich auch hier die Darwinsche Theorie als völlig fehlleitend, indem etwa im ökonomischen Modell Schumpeters (1934) Agenten selbst die Umwelt an ihre Zwecke anzupassen vermögen. Das entspricht bei Jantsch (1975: 66 ff.) dem *inventiven* Typus selbstorganisatorischer Prozesse. Insofern überrascht es nicht, dass das Darwinsche Modell als Analogon auch durch Schumpeter entschieden abgelehnt wird. Tatsächlich gilt auch hier: solange die Randbedingungen Berücksichtigung finden, vollzieht sich die Evolution prinzipiell *allein durch interne Selektion* und damit auf selbstorganisatorische Weise.

Der Fehler der unmittelbaren Universalisierung einzelner erfahrungswissenschaftlicher Theorien mitsamt ihrer Projektion auf disziplinfremde Sachverhalte wiederholt sich mit Laszlo (1998) insofern, als er in Bezug auf die Nichtgleichgewichtsthermodynamik von *Querdisziplinarität (Crossdisciplinarity)* spricht,⁴⁷²³ jedoch analog zu Jantsch (1979) in Wirklichkeit *Transdisziplinarität* meint, indem er ihre Evolutionsprinzipien im Zeichen eines »general concept of evolution« unmittelbar zu universalisieren sucht.⁴⁷²⁴ Indessen ist die Frage, ob zwischen den Disziplinen tatsächlich echte Strukturgleichheiten gegeben sind, nicht nur im Zuge einer umfassenden empiristischen Universalsynthese eingehend zu reflektieren, sondern im Zeichen des Ratio-Empirismus auch durch eine entsprechende metaphysische kategoriale Basis zu untermauern.

Gerade aus diesem Pkt. 6.2.7 lassen sich für die Ontologiedebatte der Informatik eine Reihe wertvoller Erkenntnisse gewinnen. Denn sie zeigt nochmals deutlich die Probleme neo-aristotelischer TLO-Ansätze sowie den Umstand, dass die richtige Wahl auf eine strukturwissenschaftliche Ontologie hinauslaufen muss. Sie offenbart die Notwendigkeit, die Ontologie der Informatik auf der *Theorie komplexer Systeme* aufzubauen. Im Hinblick auf verteilte, webbasierte *Cyber-physische Systeme (CPS)* avanciert jede CPSS/SEA-adäquate Ontologie damit prinzipiell zur *Ontologie komplexer IoX-Systeme*. Als universale Ontologie läuft sie dabei auf die Anforderungen des *Internet of Everything* hinaus. In Bezug auf den Emergenzaspekt und einer universalen Evolutionstheorie wird deutlich, dass die Informatik auch gerade die metaphysische Ontologie als solche benötigt, wobei dies auch einschließlich der *Sciences of the Artificial* gilt. Indem dabei auf techno-wissenschaftlicher Basis "*levels of reality*" vorauszusetzen sind, kann es sich dabei gewiss auch nicht um eine deskriptive Metaphysik handeln. Vielmehr muss es um eine revisionäre Metaphysik gehen, die im CPS-Sinne die Existenz einer *objektiven Realität* voraussetzt. In kategorialer bzw. meta-ontologischer Hinsicht wird mit ihr die Notwendigkeit einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* nachvollziehbar. Gleichzeitig wird damit deutlich, wie ein CPSS-adäquater TLO-Theorieanwärter zu konzipieren ist, nämlich mit dem Emergenzaspekt notwendigerweise in Form einer multiplikativen Ontologiekonzeption.

⁴⁷²³ Vgl. Laszlo (1998: 108): »Contemporary nonequilibrium thermodynamics is perhaps the best source for the formulation of a *cross-disciplinary* theory of evolutionary change with scientific rigor; the basic concepts of this theory can be extended from physical chemistry to the life and even to the social sciences and can give an account of the processes underlying the evolution of all varieties of complex systems«, Hvh. des Verf.

⁴⁷²⁴ Vgl. Laszlo (1998: 107); vgl. hierzu mehr kritisch Laszlo (1994: 237 f.).

6.2.8 Multiple Wahrmacher (Truthmakers) für formale Logik und Ontologie

»Man proposes; the world disposes, but only by holophrastic yes-or-no verdicts on the observation sentences that embody man's predictions.«

— Willard Van Orman Quine (1992a: 36)

Kein seriöser AI-Forscher wird die zentrale Relevanz des Moments der "*belief revision*" für jede Agentenontologie abstreiten, und insofern akzeptieren sie letztlich alle, dass es nicht nur "wahre" Repräsentationen gibt, sondern dass diesen auch verschiedenste Irrtümer bzw. Fehler zugrundeliegen können. Daraus folgt, dass es für jede Ontologie auch einen spezifischen *Wahrmacher (Truthmaker)* geben muss:⁴⁷²⁵ Indem wir in Pkt. 3.5 mit den W1-, W2-, W3- und W4-Typen vier grundsätzliche Welttypen differenziert hatten, und W1-, W2-, W3-, und W4-Ontologien Sachverhalte *dieser* jeweiligen Welten repräsentieren, bedarf es auch Wahrmacher (Truthmaker), die nicht nur die Wahrheit der Aussagen sicherstellen, sondern sich dabei auch konkret auf den jeweiligen Welttypus beziehen. Es sollte entsprechend außer Frage stehen, dass nicht nur in Bezug auf die Ontologie, sondern damit zusammenhängend auch in Bezug auf die Wahrmacher keine "*Entweder-oder-Entscheidung*" sinnvoll erscheinen kann. Vielmehr sollte auch hier Feyerabends (1975) "*anything goes*" in seiner nicht-anarchischen, *systematischen* Neuinterpretation gelten, weil sich die Repräsentation von Welten auf ganz disparate Welttypen bezieht und dabei jedem Welttypen ein adäquater Wahrmacher in systematischer Weise zuzuordnen ist. Anders gewendet gibt es vollkommen unterschiedliche Arten des Wissens, nämlich Wissen, das sich auf die Welt 1, die Welt 2, die Welt 3 oder auf die Welt 4 bezieht. Es gibt mit der Welt 2 *subjektives* Wissen und mit der Welt 1 bzw. Welt 4 *objektives* Wissen, das im empirischen Sinne ein *wissenschaftliches* Wissen markiert. Demgegenüber handelt es sich in der *objektivierten* Welt 3 um *technologisches* Wissen bzw. um solches der Technopraxis. Das auf die *aktuelle Welt* bezogene W1-Wissen handelt von den Entitäten der Natur bzw. der physischen Realität; das auf die Welt 3 bezogene Wissen bezieht sich demgegenüber auf Artefakte resp. artifizielle Objekte und schließt insbesondere *mögliche Welten* mit ein.

Offenbar stellt sich das Problem "wahrer" Repräsentationen insbesondere dann, wenn wir den Blick von den Agentenontologien, die den *Anwendungsontologien* zuzurechnen sind, wegnehmen und den Fokus auf die *Referenzontologien* setzen. Gerade diese können keine falschen Sachverhalte repräsentieren, sondern müssen vielmehr wiederum "wahre" Repräsentationen bilden. Insofern geht es auch bereits bei den Ontologien der Informatik um *Truthmaker*, etwa um Tarskis (1977) *semantische Theorie der Wahrheit*.⁴⁷²⁶ Was aber entscheidet darüber, ob eine jeweilige Repräsentation "wahr" oder "falsch" ist? – Überraschenderweise wird diese Frage in der TLO-Debatte in dieser allgemeinen Form nicht gestellt; vielmehr werden, sofern diesem Aspekt überhaupt Aufmerksamkeit gewidmet wird,

⁴⁷²⁵ Der Begriff *Wahrmacher* geht insofern ursprünglich auf Husserl (1901: 651 ff.) zurück, als hier von *wahrmachender Intention* die Rede ist; demgegenüber ist die *Wahrheitsfrage* selbstverständlich eine alte, in der griechischen Antike insbes. bereits bei Aristoteles ([Met.]) behandelte.

⁴⁷²⁶ Vgl. etwa Wagner (2011).

von vornherein bestimmte Wahrheitstheorien vertreten ohne den ganzen Zusammenhang näher zu reflektieren. Dieser Zusammenhang besteht in der Natur des Wissens, und bevor ein spezifischer Wahrmacher ins Feld geführt wird, muss zunächst dieser Aspekt geklärt sein. Denn die Relation ist einfach: wenn es gänzlich disparate Wissenstypen gibt, dann liegt die These nahe, dass es auch disparate Wahrmacher gibt und geben muss.

Daneben ist festzustellen, dass die Frage der Wahrmacher im Grunde genommen mit allen anderen meta-ontologischen Dispositionen zusammenhängt. Zweifellos macht es einen Unterschied, ob es mit Pkt. 6.2.1 um einfache agentenbasierte Systeme oder um Multiagentensysteme (MAS) geht. So besteht im MAS-Fall ein gängiger Wahrmacher im *Konsens* sozialer Agenten, etwa wenn es darum geht, Pläne bzgl. der Koordination gemeinsamer Aktivitäten in Bezug auf ihre Richtigkeit zu prüfen.⁴⁷²⁷ In anderen Fällen jedoch wird *Konsens* als Wahrmacher kaum ausreichen. Natürlich ist mit Pkt. 6.2.2 entscheidend, ob einer Ontologie die deskriptive oder die revisionäre Metaphysik zugrundliegt. Denn die Wahrmacher sind in der *deskriptiven* Metaphysik andere als in der *revisionären* Metaphysik, indem sich Wahrheit bei erster *auf Sätze* bezieht,⁴⁷²⁸ während sie sich bei letzterer im aktualen Modus primär auf empirisch gegebene bzw. nicht gegebene physische Sachverhalte erstreckt.⁴⁷²⁹ Mit Pkt. 6.2.3 erfordern etwa immanente Universalien andere Wahrmacher als Konzepte. Mit Pkt. 6.2.4 laufen *aktuale Welten* auf andere Wahrmacher hinaus als *mögliche Welten*. Sofern sich mit Pkt. 6.2.5 hinter dem Endurantismus der Gedanke des *Common Sense Knowledge* verbirgt, was zwar *nicht* notwendig (wie bei Bunge), jedoch oftmals der Fall ist, dann erfordert dieser einen anderen Wahrmacher als ein Perdurantismus, der auf wissenschaftlichen Theorien gründet. Am wesentlichsten ist diese Verbindung hingegen mit Pkt. 6.2.6 im Zeichen des Widerstreits von *Realismus vs. Konstruktivismus*. Denn beide bauen traditionell auf völlig anderen Wahrmachern auf.

Somit ist zu klären, welche Alternativen konkret als ontologische Wahrheitstheorien in Betracht kommen. Beginnen wir mit der Feststellung, dass jedem AI-System bereits ein bestimmter Wahrmacher (Truthmaker) inhärent ist. Dieser geht darauf zurück, dass selbst bei den durch Hayes (1979) kritisierten "*toy problems*" Wahrmacher im Sinne mathematischer bzw. logico-mathematischer Wahrheiten im Spiel sind. In der Tat sind für AI-Prozesse *Wahrheitswerte* entscheidend, wobei sich diese Art von Wahrmacher bei AI-Systemen auf die *formale Logik* bezieht. Der Grund, warum die Logik das universale methodologische Fundament aller Wissenschaften und Technologien bildet, ist unmittelbar in ihren eigentlichen Prinzipien zu suchen. Diese konstituieren sich durch (i) das Prinzip der Wahrheit, (ii) durch das Prinzip der Falschheit und schließlich (iii) durch das Prinzip der "Wahr-Falschheit" oder allgemeiner: durch das Prinzip der Wahrscheinlichkeit.⁴⁷³⁰ Dabei hat die Logik keineswegs zu zeigen, was Wahrheit, Falschheit und Wahrscheinlichkeit "an sich"

⁴⁷²⁷ Vgl. etwa Nwana/Lee/Jennings (1996).

⁴⁷²⁸ Vgl. exemplarisch Davidson (1977), Zalta (1983) sowie Dummett (1991).

⁴⁷²⁹ Vgl. hierzu C.B. Martin (1993).

⁴⁷³⁰ Vgl. Geldsetzer (1987: 82).

sind – das bleibt eine *metaphysische* Aufgabe, deren Bewältigung unter anderem mit Hilfe der Ontologie und Epistemologie zu erfolgen hat.⁴⁷³¹ Die Logik stellt vielmehr die Methodologie, nämlich die Verfahren, um diese Prinzipien zu operationalisieren. Im Zeichen der so verstandenen Wahrheitsfrage steht etwa das Hilbertprogramm, das darauf zielt, mit finiten Methoden die Widerspruchsfreiheit der mathematischen Axiomensysteme nachzuweisen. Eine rationale Begründung schlussfolgernder Aussagen ist nur möglich über die Logik, über die sich allein entscheidet, ob eine Aussage wahr oder falsch ist. Und aus diesem Grunde bildet mit Putnam (1999: 16) auch die Wahrheit den Zentralbegriff der Logik. Umgekehrt betrachtet kann sich dieser Zentralbegriff auch nur auf die Logik bzw. Epistemologie sowie die Ontologie bzw. Metaphysik beziehen, indem mit Davidson (1990: 279) gilt: »Nothing in the world, no object or event, would be true or false if there were not thinking creatures«. Und dennoch liegt das, was über die Wahrheit entscheidet, mit Quine (1992a: 36) außerhalb von diesen.

Geht es mit Pisanelli et al. (2002) um *ontologiebasierte* AI-Systeme, reicht dieses Wahrheitsprinzip der formalen Logik jedoch nicht aus, wenn Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* repräsentieren. Denn dann muss es mit Pkt. 3.3.2 um die Aspekte der Intension und Extension gehen, also um Semantik und schließlich um ontologische Wahrheitstheorien. Welche das konkret sind, hängt u.a. mit Pkt. 6.2.2 vom Widerstreit *deskriptive vs. revisionäre Metaphysik*, mit Pkt. 6.2.4 vom Widerstreit *Aktualismus vs. Possibilismus*, sowie mit Pkt. 6.2.6 vom Widerstreit *Realismus vs. Konstruktivismus* zusammen. So besteht etwa bzgl. der Intension dann Spielraum, wenn es sich um abstrakte Welten, etwa um den W3F-Ontologietypus, handelt. Dieser besteht eingeschränkter dann, wenn sich die Ontologie auf spezielle "Realitäten", etwa auf die betriebliche Realität bezieht. Denn diese steht regelmäßig im Kontext von Regelsystemen und spezifischen Konzepten. Unter der Berücksichtigung von Intension und Extension stellt sich somit die Frage, welche *Wahrmacher* (formale) Sätze wahrmachen. Dazu bestehen in Abhängigkeit zu den oben genannten meta-ontologischen Dispositionen insgesamt drei wesentliche – vermeintliche – Alternativen, die in umgekehrter Reihenfolge ihrer jeweiligen Bedeutung wie ihres Alters in (i) der *Konsensstheorie*, (ii) der *Kohärenzstheorie* sowie schließlich (iii) der *Korrespondenzstheorie der Wahrheit* gegeben sind.

Auf diese drei Ansätze kommen wir im Folgenden aus dem Grunde in umgekehrter Reihenfolge zu sprechen, weil schnell gezeigt ist, dass die ersten beiden Wahrheitstheorien für eine *CPSS-adäquate* Ontologiekonzeption faktisch keine wirklichen Alternativen darstellen können. Demgegenüber verlangt die *Korrespondenzstheorie der Wahrheit* aufgrund ihrer zahllosen Varianten eine intensivere Auseinandersetzung. Der Umstand, dass ad (iii) die Varianten der *Korrespondenzstheorie* sehr genau zu differenzieren sind, um jenen Typus zu bestimmen, der als CPSS-adäquat gelten kann, bildet zugleich den Aufschluss zur Erkenntnis, dass die ad (i) bzw. (ii) genannten Varianten keine Alternativen sind. Denn für

⁴⁷³¹ Ibid., S. 82 f.

eine CPSS- bzw. IoX-adäquate Wahrheitstheorie sind nicht weniger als fünf wesentliche Aspekte zu beachten, nämlich: (a) dass *cyber-physische "Reality Machines"* in der Welt sind und dabei als "Teil" der Welt autonom auf Basis von Ontologien, nämlich auf Basis von Agentenwelten (W2) in Verbindung mit Referenzontologien (W1, W3, W4) operieren. Insofern ist eine ontologische Wahrheitskonzeption erforderlich, die auf eine *objektive physische Realität* abstellt. Mit anderen Worten benötigen alle Agenten das gleiche, techno-wissenschaftlich korrekte physikalische Modell. Würde demgegenüber jeder Agent lediglich seine eigene Vorstellung davon besitzen, würde die Einbettung solcher *"Reality Machines"* in die physische Welt zum Problem. (b) Damit stellt sich insgesamt das Problem der *Referenzontologie*. Diese können nur dann tatsächlich diesen Status besitzen, wenn sie über ein spezifisches Paradigma hinausgehende allgemein akzeptiert werden. Ansonsten würde insbesondere wiederum der erste Punkt zum Problem.

(c) Diese Referenzontologien können zwar entweder in Form wissenschaftlicher, technologischer oder aber lediglich als praktische Ontologie gegeben sein. Dennoch darf nicht verkannt werden, dass *Scientific Ontologies* dabei sowohl den entscheidenden, den beiden anderen Ontologietypen hierarchisch übergeordneten Part ausmachen. Mit einer CPSS- bzw. IoX-adäquaten Ontologie ist dies für das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) fundamental zu fordern, wenn es etwa um das *Internet of Chemical Things* (IoCT), das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) oder schließlich das *Internet of Living Things* (IoLT) geht. Ontologisch primär können für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* damit allein die *Scientific Ontologies* sein, wenn im System der Ontologien die unterschiedlichsten Ontologietypen miteinander verschaltet werden. (d) Diese primäre Stellung besitzen die *Scientific Ontologies* auch für die *Semantic E-Sciences*; diese sind jedoch nicht allein auf dem heutigen Stand etwa im Zeichen der TLO-basierten OBO-Foundry zu denken, sondern vielmehr mit Langley/Zytkow et al. (1986) bzw. Langley/Simon et al. (1987) im Zeichen maschineller Agenten, die wiederum auf autonomer Basis den Prozess AI-basierter *Scientific Discovery* übernehmen. Das wird jedoch nur dann möglich sein, wenn auch eine automatisierte Prüfung des Wahrheitsgehalts von *Scientific Ontologies* gewährleistet werden kann. (e) Dabei gilt die primäre Stellung der *Scientific Ontology* auch ganz pragmatisch. Das wird vor dem Hintergrund des *U-PLM-Referenzszenarios* daran deutlich, dass *Scientific Ontologies* mit Merrill (2007) ebenso im Zuge des *Product Engineering* zunehmend zum Einsatz kommen und exakte, naturwissenschaftliche Grundlagen auch in der Produktion, der Wartung oder dem Recycling komplexer CPS-Produkte in typischen PLM-Industrien wie der Luft- und Raumfahrt oder Biotechnologie relevant sind.

Ad (i) besteht in der *Konsensstheorie* der Wahrheit sowohl die jüngste wie auch eine der fragwürdigsten der bekannten Wahrheitstheorien.⁴⁷³² Im Grunde sollte man ihre eigentli-

⁴⁷³² Noch fragwürdiger ist etwa die *pragmatische Wahrheitstheorie*, die mit W. James bzw. J. Dewey als Vertreter des *Amerikanischen Pragmatismus* annimmt, dass wahre Theorien sich durch ihren Erfolg auszeichnen; wahr sei, was nützlich und erfolgreich ist und sei genau deshalb veränderlich bzw. kontextab-

chen Ursprünge – ungewollt – bei Quines (1936) *Truth by Convention* sehen, indem Quine als Nominalist terminologischen Definitionen nicht mehr als den Status analytischer Prinzipien gibt: »what was once regarded as a theory about the world becomes reconstrued as a convention of language«. Allerdings sollte dabei nicht missachtet werden, dass Quine strenger Empirist und letztlich auch Realist ist; insofern ist in Quine auch alles andere als ein Befürworter der *Konsensstheorie* zu sehen. Denn diese gründet letztlich auf der Substitution des Realismus durch den Konstruktivismus, und dann nehmen Quines analytische Prinzipien unvermittelt eine völlig andere Wendung. Die Konsensstheorie geht vor allem auf die Diskurstheorie der Frankfurter Schule (Apel, Habermas et al.) sowie auf den Erlanger bzw. Methodischen Konstruktivismus (Kamlah, Lorenzen, Lorenz et al.) zurück. Gemäß der Konsensstheorie wird der Wahrheitswert repräsentierten Wissens im rationalen Diskurs und dem darauf begründeten Konsens entschieden. Somit wird deutlich, dass eine enge Verbindung zwischen dem in Pkt. 6.2.6 behandelten Gegensatz von *Realismus vs. Konstruktivismus* und den Wahrmachern besteht, bei der der Realismus auf die Korrespondenztheorie und der Konstruktivismus auf die Konsensstheorie hinausläuft. Mit dem rationalen Diskurs wird deutlich, dass die Konsensstheorie der Wahrheit letztlich die nachfolgend behandelte Kohärenztheorie voraussetzt. Denn letztlich ist logische Widerspruchsfreiheit gefordert, wenn mit Habermas (1973) ein *begründeter Konsensus* verständliche und akzeptable Argumente zur Begründung voraussetzt.⁴⁷³³ Die Übereinstimmung kommt also in dem Sinne nicht zufällig zustande, als sie das *diskursive* Ergebnis des Austausches logisch fundierter Argumente ist.

Entscheidend bei der Konsensustheorie der Wahrheit ist jedoch die Frage der Beteiligten wie der Grundlagen der ausgetauschten Argumente; insofern können nämlich völlig unterschiedliche "Wahrheiten" entstehen, und darin besteht auch das große Problem dieser Wahrheitstheorie. Natürlich macht es einen Unterschied, ob an einem solchen Diskurs etwa namhafte Physiker beteiligt sind, und auf Grundlage des aktuellen Wissenstands ein solcher Konsens gefunden wird, oder aber ob es um einen primitiven Wissenschaftsbetrieb geht. Zum Konsens können beide Gruppen kommen. Es wird damit nicht nur ersichtlich, dass das, was als "Wahrheit" akzeptiert wird, nicht nur eine völlig andere Qualität haben kann, sondern dass darüber hinaus dann unterschiedliche, sich womöglich widersprechende "Wahrheiten" koexistieren, wenn sich diese Diskurse auf nur ein Paradigma beschränken. Genau das aber ist mit Kuhn (1962) die Praxis, nämlich, dass sich wissenschaftliche Disziplinen in einzelne Paradigmen unterteilen; mit Kuhn (1962: 150) üben die Befürworter konkurrierender Paradigmata ihre Tätigkeit insgesamt in verschiedenen *Welten* aus, die als *W3-Welten disparater Regimes* zu verstehen sind. Im Zeichen des Kon-

hängig, vgl. dazu Fn. 3988 bzw. Fn. 3989. Insofern ist auch eine partielle Verwandtschaft zur *Konsensstheorie der Wahrheit* erkennbar.

⁴⁷³³ Wenn Habermas seine *Konsensstheorie* ausdrücklich als notwendige Alternative zu der seines Erachtens unhaltbaren realistischen *Korrespondenztheorie* der Wahrheit versteht, vgl. hierzu kritisch Beckermann (1972), teilen wir diese Position nicht. Vielmehr wird die Habermassche *Konsensstheorie* hier allein auf die *Welt 3* beschränkt, von der auch in der Habermasschen Philosophie explizit die Rede ist.

struktivismus sind für die Disparität der W3-Regimes nicht zuletzt auch jene nichtempirischen Voraussetzungen ausschlaggebend, die Befürworter konkurrierender Paradigmata zur Vertretung ihrer jeweiligen Standpunkte benötigen.⁴⁷³⁴ In der Tat ist für den Paradigmengedanken gerade konstituierend, dass sich der Diskurs in den seltensten Fällen tatsächlich "überparadigmatisch" vollzieht. Dass Wahrheit aber offensichtlich nur etwas sein kann, das diesen "überparadigmatischen" Status besitzt, zeigt die deutliche Inkommensurabilitätstendenz, die dem Konstruktivismus zu eigen ist. Denn es geht um den praxiskollaborativen Konsens zwischen Mitgliedern sprachlicher Gemeinschaften,⁴⁷³⁵ der wiederum im direkten Zusammenhang zu dem in Pkt. 1.2 erörterten Problem *semantischer Inkommensurabilität* steht. Und diese ist bei einer CPSS-adäquaten Ontologie nicht nur ein Problem, sondern sie ist vor dem Hintergrund Cyber-physischer Systeme (CPS) schlichtweg inakzeptabel. Denn die Ontologien, die autonome CPS-Agenten voraussetzen, können nicht auf unterschiedlichen Wahrheiten basieren. Sie benötigen das gleiche, gemeinsame physikalische Modell, und jeder Widerspruch, die eine Agentenwelt dazu aufweist, ist somit notwendig einer "*belief revision*" zu unterziehen. Nur kann diese nicht mit den Mitteln der Konsenstheorie selbst gelöst werden. Und insofern ist gezeigt, dass die *Konsenstheorie* an sich keinen *Truthmaker* für eine CPSS-adäquate Ontologie bilden kann.

Dennoch ist auf die Konsenstheorie dann zurückzugreifen, wenn es um *W3-Ontologien* geht, und es lässt sich anfügen: nur dann kann es um sie gehen. So erfordern die Subtypen der W3L-, W3P- bzw. W3F-Ontologien immer auch den Konsens als *zusätzlichen* Wahrmacher, während der jeweils grundlegende Wahrmacher indessen ein anderer ist. Bspw. wird das Konsensprinzip der Wahrheit bei Wysuseks (2006b: 143) "*fairy ontology*" dann gebraucht, wenn diese als W3F-Ontologie in MAS-Kontexten geteilt wird. Dann geht es um den rein konstruktivistischen Konsens bzgl. spezifischer Fiktivwelten. Wiederum anders gestaltet sich der Fall in Bezug auf aktuelle soziale Welten, deren Institutionen bzw. Regeln durch W3-Artefakte erzeugt werden: Insofern geht es bei W3-Ontologien um *soziale Konzepte*, die sich in keiner anderen Form als auf Basis *linguistischer Konventionen* definieren lassen. Das beginnt bereits bei einfachen Diskurswelten, mit Termen und ihrer Relation, die dann wiederum Entitäten in den ER-Modellen entsprechender Informationssysteme bilden. Allerdings ist dies bei spezifischeren Systemen prinzipiell nicht anders, etwa wenn ein spezifisches betriebliches Informationssystem auf Basis spezifischer Konzepte gründet, die allein in *diesem* System existieren. Analoges gilt für einschlägig anerkannte Konzepte, etwa Entitäten einer *Enterprise Ontology* (EO) bis hin zu jenen einer SAP-Referenzontologie. Dabei gestaltet sich dies etwa im Zuge einer speziellen Anwendungsontologie einer spezifischen Firma nicht anders, da es auch in diesem Fall genauso um paradigmatisch definierte Konzepte geht, die bspw. als Spezifika ergänzend zu einer EO-Referenzontologie genutzt werden (EO-FS). Insofern ist die Konsenstheorie bei sol-

⁴⁷³⁴ Vgl. Kuhn (1962: 148).

⁴⁷³⁵ Vgl. hierzu auch Becker/Niehaves/Pfeiffer (2008).

chen Konzepten genauso erforderlich und in diesem *speziellen* Sinne kann auch Grubers (2004: 5) Auffassung gelten: »Every ontology is a treaty – a social agreement – among people with some common motive in sharing«. Tatsächlich geht es speziell in der Welt 3 um institutionelle Regeln und andere Artefakte, die im Sinne Berger/Luckmanns (1967) im direkten Zusammenhang mit sozialen Konstruktionsprozessen stehen. Demgegenüber ist evident, dass dieser Wahrmacher *allein* im Zuge von *W3-Ontologien* vorausgesetzt werden kann, wie es Abb. 61 weiter unten zu entnehmen ist. Demgegenüber kann er für die *empirische* W1- bzw. W4-Welt genauso wenig herangezogen werden wie im Zuge der W2-Ontologie. Letztere kann als *subjektive Ontologie* definitionsgemäß keine soziale Vereinbarung beinhalten, was bereits die Grubersche (2004) Auffassung *ad absurdum* führt. Natürlich repräsentieren auch W1- bzw. W4-Ontologien etwas gänzlich anderes als Grubers soziale Vereinbarungen; vielmehr verlangen sie als streng-empirisch gehaltene Ontologien nach einem anderen Wahrmacher, wie es auch B. Smith in Kritik Grubers konstatiert:

»Information-systems ontologies in the sense of Gruber are, we see, not oriented around the world of objects at all. Rather, they are focused on our concepts or languages or mental models (or, on a less charitable interpretation, the two realms of objects and concepts are simply confused). [...] Ontology now concerns itself not with the question of ontological realism, that is with the question whether its conceptualizations are true of some independently existing reality.«⁴⁷³⁶

Es steht außer Frage, dass solche *Scientific Ontologies*, wie sie auch B. Smith verfolgt, einen Wahrmacher erfordern, der nach wissenschaftstheoretischer Maßgabe auch tatsächlich für die Repräsentation *wissenschaftlichen Wissens* genügt. Ob das tatsächlich auf Smithens Wahrmacher hinauslaufen kann, wird ad (iii) zu untersuchen sein. Unabhängig davon muss jede Realitätsrepräsentation grundsätzlich valide sein, wobei gilt: »Validity (or truthfulness) refers to the degree of accuracy with which the representation fits the reality. It characterizes the precision of the mapping between the reality and the representation.«⁴⁷³⁷ Im Zeichen einer CPSS-adäquaten integrierten Ontologiekonzeption kann durch die *Konsensstheorie* insgesamt entsprechend nicht mehr, aber auch nicht weniger in Anspruch genommen werden.

Ad (ii) wird anhand der mitunter durch Rescher (1973b) vertretenen *Kohärenztheorie* als zweitälteste der großen Wahrheitstheorien genauso deutlich, dass sich ihr Für und Wider in keiner Weise diskutieren lässt, ohne dieses anhand verschiedener Welttypen festzumachen. Dabei reicht noch nicht einmal ein Bezug ihrer generischen Variante, sondern erfordert vielmehr die spezifische Form ihrer Subtypen: Nehmen wir etwa den W2F-Ontologietypus, so passt dieser Wahrmacher perfekt, während sich weder die Konsensstheorie noch die Korrespondenztheorie überhaupt als W2F-Wahrmacher heranziehen lassen. Denn der W2F-Typus ist weder ein realer noch ein sozialer Typus; Wyssuseks (2006b: 143) "*fairy ontology*" existiert hier also lediglich in einer individuellen Agentenwelt; andererseits benötigt auch eine solche W2-"*fairy ontology*" einen Wahrmacher und dieser kann allein in der *Kohärenztheorie* bestehen. Analoges gilt hinsichtlich der Modalontologie *de*

⁴⁷³⁶ B. Smith (2003a: 161 f.).

⁴⁷³⁷ Vgl. Michalski (1986: 11).

dicto; auch in Bezug auf diese ist in der *Kohärenztheorie* ein geeigneter Wahrmacher zu sehen. Dabei geht es um das logische Durchspielen fiktiver bzw. möglicher Welten, und hier lässt sich auf die *Kohärenztheorie* bzgl. der Prüfung logisch-konsistenter Voraussetzungen solcher epistemischer Welten zurückgreifen. Insofern besteht in ihr auch das richtige Wahrheitsprinzip für alle spekulative Metaphysik, solange sich diese etwa als *Klasse-1-Metaphysik* allein auf mögliche Welten erstreckt. Entsprechend handelt es sich auch um einen *epistemischen* Wahrmacher, nicht um einen ontischen Wahrmacher. Jenseits davon gilt, dass bei allen *gedachten Welten*, von denen in Wittgensteins (1921) *Tractatus logico-philosophicus* die Rede ist, eine *logische Widerspruchsfreiheit* der Gedanken bestehen muss. Demgegenüber kann die Kohärenztheorie für eine W3-*"fairy ontology"* wiederum nicht in Frage kommen, da logische Widerspruchsfreiheit allein nicht ausreichend ist, um paradigmatisch "wahr" zu sein. – Unabhängig davon, ob es um aktuelle oder mögliche Welten geht, ist für die Wahrheit aller individuellen Denkwelten demnach die *Kohärenz des Aussagensystems* grundentscheidend. D.h. jede Aussage erfordert die Kohärenz mit allen anderen Aussagen der repräsentierten Welt bzw. des Diskursuniversums. Eine Aussage ist im Modus dieses Wahrmachers dann wahr, wenn sie nicht im Widerspruch des gesamten Aussagensystems steht, also Teil eines in sich kohärenten Systems von Aussagen ist. Ein vollständig kohärentes System setzt dabei die logische Widerspruchsfreiheit aller Aussagen voraus. Insofern solche Aussagensysteme gemeinhin nicht nur im OLP-Modus, sondern auch im ILP-Modus stehen, wird bereits deutlich, dass die *Kohärenztheorie* im Wesentlichen mit dem oben erörterten Wahrheitsprinzip der formalen Logik kongruent ist. Beides ist aber nicht deckungsgleich, indem sich einerseits die *Kohärenztheorie* auf alle Sätze der Mathematik bzw. mathematische Wahrheiten erstreckt, während umgekehrt die mathematische Logik im Zeichen von Quine (1992a: 36) auch als *ontischer* Wahrmacher verstehbar ist.

W2-Welten bilden Denkwelten von *Subjekt-Superjekten*; W2-Ontologien verkörpern entsprechend epistemische Ontologien, die *Agentenwelten* repräsentieren. Ein allgemeingültiges Ontologieverständnis hat dabei jenseits spezifischer Agentenklassen ein generisches bzw. universales Verständnis solcher Agentenwelten vorauszusetzen. Sucht man dieses zu entwickeln, ist am Umstand anzusetzen, dass Wittgensteins (1921) *gedachte Welten* bei ihm als *logischer Raum* konzipiert werden, der über Russell zum *logico-mathematischen Diskursuniversum* (UoD) führt, wie es durch De Morgan (1847) bzw. Boole (1854) begründet wird. Für die Wahrheitsfrage formalwissenschaftlicher Diskursuniversen (UoD) ist die *logische Widerspruchsfreiheit* entscheidend. Jenseits eines Bezugs auf die aktuelle Welt ist für die W2-Sphäre festzustellen, dass die Kohärenztheorie sich selbst genügt.⁴⁷³⁸ Demgegenüber vertritt R.C.S. Walker (1989) die Auffassung, dass die *Kohärenztheorie* der Wahrheit allein nicht hinreichend sei, da sie letztlich die Richtigkeit der *Korrespondenztheorie* präsupponiere. Sind CPS in die physische Welt eingebettet, reichen lo-

⁴⁷³⁸ Vgl. hierzu auch J.O. Young (2001).

gisch wahre Aussagen tatsächlich nicht aus; vielmehr muss es sich um *empirisch wahre* Aussagen handeln. Offensichtlich wird damit auch ein auf die Realität bezogener CPS-Wahrmacher benötigt, für den allein die nächste Alternative passend erscheinen kann.

Ad (iii) die *Korrespondenztheorie* bildet die älteste Wahrheitstheorie, die von Aristoteles ausgehend in diversen, teils höchst unterschiedlichen Varianten weiterentwickelt wurde.⁴⁷³⁹ Allerdings lässt sich als übereinstimmendes Merkmal das Eintreten für eine der Spielarten des *Realismus* bestimmen. Mit Pkt. 6.2.6 korrespondiert also in Bezug auf den Widerstreit von *Realismus vs. Konstruktivismus* einerseits die *Korrespondenztheorie* mit dem *Realismus*,⁴⁷⁴⁰ während analoges für das Verhältnis von *Konsenstheorie* und Konstruktivismus festgestellt werden kann. Bzgl. der Differenzierung der Varianten der *Korrespondenztheorie* ist – in Abhängigkeit der jeweilig vertretenen Variante des *Realismus* – einerseits mit Devitt (2010) zwischen *metaphysischen* und *rein semantischen bzw. linguistischen* Varianten zu separieren, während andererseits mit Künne (2003) zwischen einer *Object-based Correspondence* und einer *Fact-based Correspondence* unterschieden werden muss,⁴⁷⁴¹ je nachdem, ob der entsprechend korrespondierende Teil der Realität sich auf ein *Objekt* oder auf ein *Faktum* bezieht.⁴⁷⁴² Dabei sind die möglichen Kombinationen variabel; so läuft etwa der *immanente Realismus* bei einer streng aktualistisch gehaltenen deskriptiven Metaphysik auf eine semantische, objektorientierte Variante der Korrespondenztheorie hinaus, wie sie B. Smith in seinem Empirismus konsequenterweise vertritt.

Demgegenüber impliziert die revisionäre Metaphysikkonzeption insofern immer eine metaphysische Variante, als sie – im Gegensatz zu B. Smith – einen metaphysischen Realismus voraussetzt. Mit diesem ist dann wiederum notwendig zwischen dem naiven und dem kritischen Realismus zu unterscheiden, indem der *naive Realismus* die Korrespondenztheorie auf eine absolute Wahrheit bezieht, während der *kritische Realismus* gerade auch in dieser Sache sehr viel differenzierter ist und gegenüber ersterem allein als wissenschaftskonform erachtet werden kann. Damit wird für die *Korrespondenztheorie* eine weitere Differenzierung notwendig, nämlich zunächst jene zwischen epistemologischen und methodologischen Varianten, die dann wiederum noch eine Differenzierung dieser methodologischen Varianten erfordert. Denn im schlechtesten Fall gelangt die *Korrespondenztheorie* gar nicht auf die methodologische Ebene, sondern bleibt letztlich der epistemologischen vorbehalten. Das ist bei B. Smithens Variante der Fall, die auf die *Veridikalität* setzt, worin allgemein ein *kognitionswissenschaftliches* Prinzip besteht, das im Fall Smithens als phänomenologisches Prinzip im Zeichen Husserls zu verstehen ist. Referenzontologien, auf die Smith gerade zielt, erfordern jedoch gerade die Ablösung des subjektiven bzw. intersubjektiven Wissens in Form eines *objektiven Wissens*, dass sich im Zuge einer allge-

⁴⁷³⁹ Die durch Tarski (1977) angemeldeten Zweifel, ob sich bei Aristoteles bereits eine vollblütige *Korrespondenztheorie* finde, lassen sich mit Verweis auf Aristoteles ([Met.]: 1027b, 1051b) ausräumen.

⁴⁷⁴⁰ Vgl. Devitt (1991b); vgl. auch Merricks (2007: 176).

⁴⁷⁴¹ Vgl. Künne (2003: 93 ff.).

⁴⁷⁴² Vgl. bzgl. der *Fact-based Correspondence* Faye (2000).

mein akzeptierten methodologischen Raffination realisieren lässt. Die beiden Alternativen bestehen hier in der Verifikation vs. Falsifikation, wobei es mit Blick auf die disparaten Zwecksetzungen der Informatik zu empfehlen ist, beide Methodologien zu kombinieren.

Tatsächlich kann die Verifikationsmethode in Bezug auf *Existenzaussagen* vielfach als ausreichend gewertet werden; in simplen Fällen direkter Umweltinteraktion ist sie gar das Mittel der Wahl.⁴⁷⁴³ Zwar zielt die Ontologie in Philosophie wie Informatik primär auf die Frage, *was existiert*,⁴⁷⁴⁴ allerdings wäre es in Bezug auf Smithens *Scientific Ontologies* verfehlt, diese Existenzfrage allein an einfachen *Existenzaussagen* festmachen zu wollen. Vielmehr ist die *Scientific Ontology* qua *Wissensontologie* gerade auch auf *Allaussagen* zu beziehen, da sie ansonsten kaum den Ansprüchen der *Semantic E-Sciences* genügen würde. Darüber hinaus geht es gerade auch in technologischen Fällen um ontologisch repräsentierte *Gesetzmäßigkeiten* im empirischen Erfahrungsraum. Zur Repräsentation etwa der physikalischen Sachverhalte, die im CPS- bzw. IoT-Kontext unabdingbar sind, kommt es gerade auf solche empirischen Gesetzmäßigkeiten bzw. *Allaussagen* und damit auf *objektives Wissen* an. Und dann gilt auch für Smith et al. der methodologische Grundsatz, dass *Allaussagen* niemals empirisch verifiziert werden können.⁴⁷⁴⁵ Man kann allein im Popper-schen (1963) Sinne versuchen, sie zu falsifizieren. Folglich gilt: geht es um *Scientific Ontologies*, sind die Verifikationsmethode und die Falsifikationsmethode als Gegenstücke zu kombinieren, da es je nach Sachverhalt sowohl der Möglichkeit der Bewahrheitung einer Hypothese wie auch der Möglichkeit der Widerlegung derselben bedarf.

Indem die *integrierte metaphysische Wissensontologie* bzw. das IMKO OCF auf der Kombination der Whiteheadschen revisionären Metaphysik mit Reschers Epistemologie und Poppers Methodologie hinausläuft, muss es auch um jene Variante der Korrespondenztheorie gehen, die im Zeichen des *kritischen Realismus* steht, den alle drei genannten Prozessmetaphysiker vertreten. Über den kritischen Realismus der Epistemologie gelangt man zu Poppers *Kritischen Rationalismus* in der Methodologie, und dieser setzt entsprechend auch die *Korrespondenztheorie* der Wahrheit voraus.⁴⁷⁴⁶ Deren Wahrheitsverständnis beruht im kritischen Sinne auf der Korrespondenz gedanklicher Vorstellungen mit der Wirklichkeit bzw. Realität. Für die Poppersche Variante der *Korrespondenztheorie* ist in der Tat neben der metaphysischen Voraussetzung einer objektiven Realität vor allem auch deren epistemologische Voraussetzung entscheidend indem der *kritische Realismus* entgegen dem naiven Realismus unmittelbar auf eine *absolute Wahrheit* zielt. Vielmehr zielt der kritische Realismus im Verein mit dem Kritischen Rationalismus auf eine *relative Wahrheit*, was für Poppers Methodologie entscheidend ist.

⁴⁷⁴³ Bspw. durch empirische Beobachtung: es gibt *mindestens* einen *schwarzen Schwan*.

⁴⁷⁴⁴ Vgl. etwa Quine (1948) sowie G. Bergmann (1964) bzw. Mealy (1967) sowie McCarthy (1980).

⁴⁷⁴⁵ Hypothesen wie: es gibt *nur weiße Schwäne*, lassen sich nicht verifizieren, sondern nur falsifizieren.

⁴⁷⁴⁶ Vgl. hierzu Mulligan/Simons/Smith (1984), B. Smith (1999b, 2002b), B. Smith/Brogaard (2000) sowie Sowa (2005); vgl. hierzu kritisch Merricks (2007).

Zwar ist im Zeichen des metaphysischen Realismus dem Kosmos bzw. dem Automatenuniversum eine *absolute Wahrheit* inhärent, nur ist sie menschlichen wie maschinellen Erkenntnissubjekten nicht unmittelbar zugänglich. Mit Kant sehen diese nie die "Dinge an sich", sondern immer nur Erscheinungen derselben; sie nehmen also eine interne Perspektive zu dieser externen Welt ein. Dabei streitet Kant genauso wenig wie Popper ab, dass es diese externe Welt gibt. Vor diesem Hintergrund ist Poppers bereits in Pkt. 6.2.6 bemühte *regulative Idee der Wahrheit* zu sehen. Diese setzt voraus, dass jeder grammatikalisch korrekte Aussagesatz, der eine Hypothese über die Wirklichkeit zum Gegenstand hat, entweder wahr oder falsch bezüglich der Wirklichkeit sein muss. Insofern gibt es für kritische Realisten auch eine objektive Wahrheit, die im hypothetischen Sinne eine objektive Realität markiert. Allerdings kann dies nicht mit einem naiven Realismus gleichgesetzt werden, um den es weder bei Whitehead oder Rescher noch bei Popper geht. Vielmehr ist für die Korrespondenztheorie in der Popperschen Variante etwas anderes entscheidend, und zwar Poppers Konzept der *Wahrheitsnähe* bzw. *Wahrheitsähnlichkeit* (truthlikeness). In ihm besteht ein komparativer Wahrheitsmaßstab des *Kritischen Rationalismus* um zu bestimmen, welche von zwei wahren Theorien die präzisere ist resp. welche von zwei falschen Theorien eine bessere Annäherung an die Wahrheit darstellt.

Für das *U-PLM-Referenzszenario* sind diese Ausführungen wiederum von unmittelbarer Relevanz, indem sie die Richtigkeit der Position, die El Kadiri/Kiritsis (2015) vor dem explizitem Hintergrund der Evaluierung der Grundfragen zur *PLM-Ontologie* grundsätzlich in Frage stellen. Auch sie sehen die Ontologie nicht im philosophischen Sinne, sondern im Zeichen Grubers lediglich als *konzeptuelles Modell*. Vor diesem Hintergrund solle an die Stelle der *absoluten Wahrheit*, wie sie die Philosophie postuliere, eine *relative Wahrheit* treten:

»[O]ntology in information science deals with alternative conceptualisations; conceptualisations which are defined with respect to the information system requirements. Therefore, entities represented by a specific conceptualization are only recognised by the system in question and they possess only properties which the system can recognise. This leads us to conclude that the goal of ontology for information scientists is no more the 'absolute truth' in philosophical contexts, but rather the goal is the 'relative truth'; relative to a conceptualisation.«⁴⁷⁴⁷

Dazu sind drei entscheidende Anmerkungen zu machen: Zunächst ist festzustellen, dass mit "relative truth" bei El Kadiri/Kiritsis (2015) nicht die relative Wahrheit Poppers gemeint ist, sondern eine Wahrheit, die im Zeichen einer konstruktivistischen Position steht. Indessen fehlt Beiträgen wie jenem von El Kadiri/Kiritsis (2015) die philosophische Tiefe, indem sie es einfach bei dieser Feststellung belassen und sich nicht mit Fragen wie Wahr-machern usf. auseinandersetzen. Indessen sind derartige Fragen überaus wesentlich, wenn es um fundamentale Aspekte wie bei El Kadiri/Kiritsis (2015) geht. Denn wie ad (i) gezeigt, ist eine solch relative Wahrheit im Zeichen des Konstruktivismus gerade für U-PLM-Systeme im Zeichen ihrer CPS-Basis schlichtweg unhaltbar. Das gilt zum einen mit Blick auf PLM-relevante Industrien wie der chemischen Prozessindustrie, der Automobil-

⁴⁷⁴⁷ El Kadiri/Kiritsis (2015: 5659).

industrie oder der Luft- und Raumfahrtindustrie, bei denen kaum auf einen echten wissenschaftsadäquaten Wahrmacher verzichtet werden kann. Zum anderen gilt dies in Bezug auf das gemeinsame Physikmodell von Agenten, das an einer objektiven Realität festmacht, indem es auch hier nicht um eine *relative Wahrheit* im konstruktivistischen Sinne gehen kann. Darüber hinaus ist zu konstatieren, dass die Auffassung von El Kadiri/Kiritsis (2015) falsch ist, wonach die ganze Philosophie an einer absoluten Wahrheit festmache. Vielmehr ist umgekehrt festzustellen, dass spätestens seit Kant der überwiegende Teil der Philosophie, einschließlich der Metaphysik, eine völlig andere Position vertritt. Einen *naiven Realismus* vertritt seit langem kaum ein Philosoph; vielmehr ist die Disziplin heute durch das genaue Gegenteil geprägt, nämlich durch den Relativismus und Interpretativismus. Das hat zur Konsequenz, dass der objektive Standpunkt zu kurz kommt, während sich beide im Sinne einer integrierten Ontologiekonzeption im Sinne des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* auch gar nicht ausschließen, sondern umgekehrt ergänzen. Drittens schließlich widersprechen sich El Kadiri/Kiritsis (2015) insofern, als sie die Probleme beliebiger Repräsentationen erkennen, deren Lösungsalternative sie in den universalen Kategorien der *Top-level Ontologie* ausmachen, die indes gerade die *philosophische Ontologie* voraussetzt:

»[T]here are difficulties regarding the adoption of a single and normalised ontology. One approach to this challenge is the definition of an upper ontology (top-level ontology) dedicated to the specification of highly general and domain-independent categories. The upper ontology would then be designed to serve as common neutral backbone, which would be supplemented by the work of ontologists working in more specialised domains, through modularisation principles, bridging thus several domains related to product lifecycle.«⁴⁷⁴⁸

Dennoch ist El Kadiri/Kiritsis (2015) insofern zuzustimmen, dass im Zuge der PLM-Ontologie gewiss auch Konzepte erforderlich sind, genauso wie ein konstruktivistischer Modus, der im ersten Schritt die Ontologie als konzeptuelles Modell zulässt, was im zweiten Schritt in eine Wissensontologie transformiert wird. Dieses Zusammenspiel wurde bereits in Pkt. 1.2 mit Blick auf die Interdependenz von konzeptuellem und semantischem Modell dargelegt. Insofern werden in Bezug auf die Konsenstheorie jene Teilaspekte benötigt, die ad (i) bereits als ihre Anwendungsdomänen identifiziert wurden. Insgesamt zeigt sich damit einmal mehr das Erfordernis einer integrierten Ontologiekonzeption, die auch an einem ausdifferenzierten System von Wahrmachern festmacht. Allerdings muss dabei die *Top-level Ontologie* primär den Erfordernissen der *realistischen* W1-Sphäre gerecht werden,⁴⁷⁴⁹ womit es hier um das relative Wahrheitsprinzip Poppers gehen muss. Dann relativiert sich die Position von P.M. Simons (1999), wonach die Korrespondenztheorie dann auf Probleme stoße, wenn es in der natürlich-physikalischen Sphäre um *vage Objekte* geht, also um solche Objekte, deren Existenz gemeinhin angenommen wird, deren Identitätsbedingungen aber nicht bestimmbar sind.⁴⁷⁵⁰ Zum einen relativiert sich dies in Bezug auf eine faktenbezogene Korrespondenztheorie, zum anderen in der Hinsicht, dass es mit Poppers *Kritischen Rationalismus* ohnehin immer nur um Hypothesen geht und an sich keine ab-

⁴⁷⁴⁸ El Kadiri/Kiritsis (2015: 5665).

⁴⁷⁴⁹ Vgl. hierzu auch L. Schneider (2003b).

⁴⁷⁵⁰ Vgl. P.M. Simons (1999), insbes. p. 90.

solute Wahrheit postuliert wird. Problematisch erscheint vielmehr ein ganz anderer Punkt, nämlich die Korrespondenztheorie – wie bei Smith – auf einen immanenten Realismus, wie bei Quine auf einen Naturalismus, oder wie bei Bunge strikt auf den Materialismus zu beziehen. Dies sei an einem einfachen Beispiel illustriert:⁴⁷⁵¹ Der Satz "Sherlock Holmes wohnte im Haus Baker Street 121" erhält in Bezug auf die Welt 1 keinen Wahrheitswert, weil kein entsprechendes physisches W1-Objekt existiert. Bezieht man den Satz jedoch auf die Welt 3, ist er wahr. Insofern ist evident: Nicht nur für die Frage der Wahrmacher an sich, sondern auch für die Korrespondenztheorie als solche ist die Differenzierung disparater Welttypen, wie sie mit CYPO FOX auf Grundlage der antimaterialistischen *Klasse-4-Metaphysik* vorgenommen wird, entscheidend.

Insgesamt betrachtet wird mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* deutlich, dass nicht nur eine integrierte Ontologiekonzeption, sondern damit zusammenhängend auch eine *kombinierte* Anwendung der drei genannten grundsätzlichen Typen von Wahrmachern notwendig wird. Diese kombinierte Anwendung macht eine gewisse Hierarchisierung der Wahrmacher erforderlich, die darin besteht, dass Wahrmacher objektiver Welten jene subjektiver Welten dominieren und dass Wahrmacher wissenschaftlichen Wissens jenen des Alltagswissens vorzuziehen sind. Insofern resultiert als Reihenfolge der jeweils überlegenen Wahrmacher in einem integrierten Ontologiekonzept: (i) W1, W4, (ii) W3, (iii) W2, oder anders gewendet: Ontologien auf Basis der Korrespondenztheorie schlagen in Fällen von Widersprüchlichkeiten jene auf Basis der *diskursiven* Konsenstheorie resp. Diskurstheorie der Wahrheit, während letztere jenen auf Basis der Kohärenztheorie vorzuziehen sind. Konkret bedeutet dies: *Scientific Ontologies* (W1, W4) besitzen in Fällen von Widersprüchlichkeiten Priorität gegenüber *Common Sense-Ontologien* bzw. solchen der Technopraxis (W3), während diesen Priorität gegenüber epistemischen Ontologien (W2) einzuräumen ist. Somit gelangen wir zu der in Abb. 61 dargestellten Zuordnung von Wahrmachern zu Ontologie- bzw. Wissenstypen:

⁴⁷⁵¹ Dieses Beispiel entstammt Neumaier (1982: 85).

<i>Ontologietypus</i>	<i>Ontologieebene</i>	#	<i>Wahrmacher (Truthmaker)</i>
W1-Ontologie [Natürliche Welt]	Physikalische Prozesse (Natürliche Systeme)	1	Korrespondenztheorie (empirisch)
	Chemische Prozesse (Natürliche Systeme)	2	
	Biologische Prozesse (Natürliche Systeme)	3	
W2-Ontologie [Epistemische Welt]	Psychische / geistige Prozesse [Prozesse (rationaler) Intelligenz] (Intelligente Systeme / Automaten)	4	W2A: Korrespondenztheorie kognitiv: Veridikalität W2P (de re) + W2F (de dicto): Kohärenztheorie
W3-Ontologie Technopraxis [Technologische Welt]	Artifizielle / Virtuelle Prozesse (Technologische Systeme)	5	W3A: (1) Korrespondenztheorie (2) Konsenstheorie (nur: soziale Konventionen) W3P (de re) + W3F (de dicto): (1) Kohärenztheorie (2) Konsenstheorie W3L: (1) Korrespondenztheorie (2) Konsenstheorie (objektiver Idealismus)
W4-Ontologie [Soziale Welt]	Soziale Prozesse (Sozioökonomische Systeme / Institutionen)	6	Korrespondenztheorie (empirisch)

Abb. 61: Wahrmacher (Truthmaker) von CYPO FOX

6.2.9 Formale Logik, Repräsentationssprachen und Quasi-Standards

»Da [...] KI-Sprachen am Konzept des Algorithmus und logischer Kalküle orientiert sind, gehören sie weiterhin zum Entwicklungstrend der neuzeitlichen mathesis universalis.«

— Klaus Mainzer (1994b: 102 f.)

Ein TLO-Ansatz kann nur dann als universale Ontologie fungieren, wenn er auch de facto universal auf sämtliche ontologischen Kontexte beziehbar ist. Er muss also eine gewisse *formalsprachliche Flexibilität* besitzen. Ist diese nicht gegeben, kann das Inkommensurabilitätsproblem auch in ganz praktischer Hinsicht bestehen, nämlich insofern, dass die TLO-referenzierenden Ontologien im Zuge ihrer *formalsprachlichen* Umsetzung nicht ineinander übersetzbar sind. Das Inkommensurabilitätsproblem kann also auch in der Inkompatibilität der Repräsentationssprachen begründet sein kann.⁴⁷⁵² Dabei ist mit dem Ziel der Realisierung vollumfänglicher semantischer Interoperabilität bei komplexen IoX-Systemen zu beachten, dass diese semantisch ad hoc miteinander verschaltet werden können. Bezogen auf das Referenzszenario semantischer *Closed-loop U-PLM-Systeme* ist festzustellen, dass ihre *Smart Enterprise Integration* (SEI) schon mit Blick auf ihre Natur als *Extended Enterprise Applications* (EEA) nicht an den Organisationsgrenzen haltmachen

⁴⁷⁵² Vgl. hierzu Uschold (2001).

kann. Vielmehr ist diese nicht nur auf die gesamte *Supply Chain* und ähnliche organisationsübergreifende Relationen zu beziehen, sondern es ist auch zu berücksichtigen, dass auf SOA-Basis einzelne *Services* von Drittanbietern in Anspruch genommen werden. Diese gilt es ebenso ontologisch zu integrieren wie cyber-physische PEID-Produkte auf Basis von IoT-Strukturen. Grundsätzlich ist zu konstatieren, dass eine Integration auf *formalsprachlicher* Ebene sich umso schwieriger gestaltet je weniger gängig die formale Repräsentationssprache ist. Insofern impliziert das Ziel vollumfänglicher semantische Interoperabilität eine breite Diffusion der jeweiligen Standards bzw. Quasi-Standards.

Vor diesem Hintergrund sollte jedes TLO-Engineering bereits im Entwicklungsstadium klären, auf welche formale Repräsentationssprache die spätere Umsetzung hinauslaufen soll. Bei dieser Wahl gibt es einen Trade-Off zwischen der Mächtigkeit der Logikkalküle bzw. ihrer Ausdrucksstärke einerseits und der Diffusion der jeweiligen Repräsentationssprache andererseits. Dabei sollte bzgl. der Diffusion eine kritische Masse erreicht sein. Wie im Zuge der in Pkt. 7.2 behandelten Frage des *Requirements Engineering* deutlich wird, hängen mit diesem Trade-Off zwei Entscheidungen bzgl. der praktischen Umsetzung zusammen, die indirekt auch meta-ontologische Dispositionen betreffen. Konkret sind damit im Zuge der Spezifikation IoX-adäquater TLO-Theorieanwärter zwei Entscheidungen bzgl. der Mächtigkeit der Logikkalküle einerseits und der Frage der Quasi-Standards formaler Repräsentationssprachen andererseits zu treffen:

- (i) *Offene Standards* (ggf. *Open Source*) vs. *Proprietarität* sowohl bzgl. der *Top-level Ontologie* als auch bzgl. ihrer formalen Repräsentationssprache
- (ii) Auswahl formaler *Repräsentationssprachen* in Abhängigkeit der jeweiligen Mächtigkeit der Logikkalküle unter dem Gesichtspunkt der Diffusion bzw. ihrer Stellung als Quasi-Standard

Bevor diese beiden Ausgangsfragen abgehandelt werden, sei diese Problematik zuvor an einem Beispiel illustriert: die in Pkt. 2.6 behandelte *Manufacturing Core Concepts Ontology* (MCCO) referenziert auf die *Highfleet Upper Level Ontology* (ULO), womit bei einer durchgängigen SEA/SEI-Architektur das gesamte ontologische Integrationszenario auf diesen TLO-Ansatz referenzieren müsste, indem das TLO-Inkommensurabilitätsproblem gegeben ist. Allerdings sind aufgrund der Lizenzrechte somit spezielle Nutzungskosten impliziert, die wiederum der Diffusion dieses TLO-Ansatzes maßgeblich entgegenstehen. Ad (i) wird also nicht der Strategie *offener Standards* (ggf. *Open Source*) gefolgt; vielmehr handelt es sich um einen proprietären TLO-Theorieanwärter. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich dieser in der jeweiligen Industrie bzw. in der jeweiligen Domäne insgesamt durchsetzen wird, als gering einzustufen. Ungeachtet dessen kann in offenen ED-SOA-Architekturen die mangelnde TLO-Diffusion bzw. die damit verbundene TLO-Inkommensurabilität zu einem fundamentalen Problem avancieren. Damit nicht genug; während sie in ihrer Vorgängerversion noch auf der gängigen Repräsentationssprache OWL basiert, hat man bei der MCCO einen Wechsel zur auf *Common Logic* (CL) basie-

renden *Knowledge Frame Language* (KFL) von Highfleet vorgenommen. Dieser Schritt ist der Mächtigkeit des Logikkalküls geschuldet, indem die CL-basierende KFL als expressiver bzw. explikativer erachtet werden kann als die auf der *Description Logic* (DL) basierende OWL. Ad (ii) hat dies allerdings umgekehrt zur Konsequenz, dass mit OWL nicht nur ein Quasi-Standard aufgegeben wird, sondern auch ein offener W3C-Standard, der gegen das proprietäre KFL eingelöst wird. Geht es bei der *Smart Factory* um eine in sich geschlossene Insellösung, kann dieser Wechsel vorteilhaft erscheinen. Sieht man das Ganze vom Standpunkt der SEA/SEI-Architektur bzw. damit verbundenen U-PLM-Systemen als PPR-bezogene Integrationsplattform, werden in einem offenen Szenario dabei jedoch insgesamt die Nachteile überwiegen. Diese gehen dann unmittelbar auf das Inkommensurabilitätsproblem zurück.

Ad (i) ist zu konstatieren, dass die Ontologiediskussion in der Informatik seit jeher im Spannungsfeld zwischen *offenen Standards* (ggf. *Open Source*) und *proprietären Lösungen* steht. Während die Web-Technologie weitestgehend im Zeichen offener Standards steht, relativiert sich dies in IoX-Strukturen, wie der Highfleet-Fall zeigt. Dabei ist mit Verweis auf Pkt. 1.5 zu bedenken, dass es bei *U-PLM-Systemen* letztlich um die Realisation von Wettbewerbsvorteilen geht, was jenseits dieses Referenzszenarios in anderen IoX-Fällen ähnlich gelagert sein kann. Es mögen dann offene Web-Technologien zum Einsatz kommen, wohl auch offene Top-level Ontologien, jedoch hört der Gedanke der Offenheit spätestens bei den firmenspezifischen Ontologien in inhaltlicher Hinsicht auf. Das kann dann schon etwa Anpassungen an der *Enterprise Ontology* (EO) als Kernontologie bzw. an der PLM-CO betreffen. Dass eine gewisse Proprietarität ontologischer Lösungen in praxi gewünscht sein kann, wird also wiederum am *U-PLM-Referenzszenario* unmittelbar ersichtlich. Dass dabei die Grenze zwischen offenen bzw. öffentlichen Ontologien und proprietären bzw. privaten Ontologien graduell verläuft, lässt sich gut am *Product Engineering* illustrieren. Dann wird bei komplexen Produkten etwa in der Luft- und Raumfahrtindustrie, der Biotechnologie oder der Medizintechnik ggf. auf offene *Scientific Ontologies* im Bereich der Vorentwicklung zurückgegriffen, während alle produktbezogenen Ontologien im Allgemeinen nicht auf offenen Austausch angelegt sind. Steht also etwa die OBO-Foundry im Zeichen des OS-Gedankens, ist die spezifische Produktontologie durch private Verfügungs- bzw. Eigentumsrechte gekennzeichnet. Wie in Pkt. 1.5 ausgeführt, zielt die Inkorporation des Wissensaspekts bzw. von PLM-Ontologien gerade auf die Realisierung solcher Wettbewerbsvorteile, für die mit Pkt. 2.5 die drei PPR-Dimensionen gleichermaßen von Relevanz sind.

Offensichtlich ist diese Diskussion allein vor dem Hintergrund der in Pkt. 3.3.1 erörterten Ontologieklassifikation zu führen. Denn hier ist zum ersten zwischen Anwendungs- und Referenzontologien zu differenzieren und zum zweiten bei den Referenzontologien zwischen den speziellen Ontologiearten. Für die Realisation von Wettbewerbsvorteilen kommt insbesondere das Ziel der Verschmelzung von Ontologien als Prozesswissen mit

überlegenen operativen Prozessen in Frage, was auf Basis adaptierter Domänen-, Methoden- oder Aufgabenontologien im Zuge operativer Workflows umsetzbar ist. Das betrifft neben der IS/KS-Integration insgesamt die Orchestrierung der *Smart Factory* (CPPS) im Sinne der *Smart Enterprise Architecture* (SEA), womit dies ähnlich für die adaptierte *Enterprise Ontology* gilt. Man kann gar sagen, dass im *Smart Enterprise* nicht zuletzt hier die realisierbaren Wettbewerbsvorteile zu heben sind, indem aus der Verschmelzung von Ontologien und Prozessen überlegene *Produkt-Service-Systeme* (PSS) resultieren. Damit wird deutlich, dass nicht etwa die Technologie das proprietäre Moment bildet, als vielmehr Prozesslogiken und Wissensstrukturen, und somit die Inhalte etwa von Domänen-, Methoden-, Aufgaben- und Funktionsontologien. Ontologien, die in industriellen Kontexten eingesetzt werden, sind üblicherweise proprietär bzw. privat.⁴⁷⁵³ Umgekehrt gibt es jedoch für bestimmte Problemlösungen branchenspezifische Standards, wie sie durch Industriekonsortien bzw. Branchenverbände forciert werden.⁴⁷⁵⁴ Analoges gilt für IoX-bezogene Institutionen.⁴⁷⁵⁵ Es ist also insgesamt zwischen *wissenschaftlich-öffentlichen Ontologien*, d.h. *offenen* Referenzontologien (OS-Referenzontologien) und *praktisch-privaten* Ontologien zu differenzieren.

Demgegenüber stellt sich die Diskussion in Bezug auf die *Top-level Ontologie* grundsätzlich anders dar, während bereits für die *Enterprise Ontology* (EO) prinzipiell beide oben genannten Aspekte kennzeichnend sind. Mit Blick auf die *TLO-EO-Verkopplung* ist somit die gesamte Architektur modular zu gestalten, womit es einen offenen Kern geben kann, der sich ggf. um praktisch-private Module ergänzen lässt. Solange es um die fundamentale Koordination und allgemeine Integrationsfragen geht, muss eine offen gehaltene *TLO-EO-Verkopplung* ratsam erscheinen, während für die *Top-level Ontologie* als solche ohnehin keine Argumente für eine proprietäre Auslegung derselben sprechen. Vielmehr ist festzustellen, dass nur jene TLO-Ansätze Aussicht auf einen Quasi-Standard haben, die auf einer frei verfügbaren OS-Lizenz basieren. Es gilt somit:

»Since foundational ontologies are [...] new tools for industrial needs, the development of an ontology as an open or proprietary standard depends on industrial considerations. However, if we want to take advantage of web technology and the new approaches toward virtual enterprises and integrated supply chains [...], we see that these general ontologies will have major impact and will provide the biggest advantages if they are publicly shared and widely adopted [...].«⁴⁷⁵⁶

Ein damit zusammenhängender weiterer Gesichtspunkt besteht dabei in der Frage der institutionellen Ausgestaltung des TLO-Änderungsmanagements bzw. der Sicherstellung der Weiterentwicklung des jeweiligen TLO-Ansatzes. Beim Aufbau komplexer Ontologiebibliotheken können auch solche Aspekte mit Blick auf die Investitionssicherheit nicht vernachlässigt werden. Vor diesem Hintergrund überrascht es nicht, dass alle führenden

⁴⁷⁵³ Vgl. auch Leitão (2009a: 988).

⁴⁷⁵⁴ Vgl. hierzu auch Borgo/Lesmo (2008: 6).

⁴⁷⁵⁵ Hierzu gehört die vom BMBF initiierte und von den Verbänden Bitkom, VDMA und ZVEI getragene Plattform *Industrie 4.0* genauso wie etwa die *Smart Manufacturing Leadership Coalition* (SMLC) oder das *Industrial Internet Consortium* (IIC) in den USA.

⁴⁷⁵⁶ Borgo/Lesmo (2008: 6).

TLO-Ansätze *de facto* OS-Varianten bilden. Allerdings gilt dies nicht für alle weniger gängigen Varianten und auch nur eingeschränkt für die bekannte Cyc-Ontologie; für diese ist obige Aussage wie folgt zu relativieren: Cyc stellt an sich ein kommerzielles Produkt dar, von dem es mit OpenCyc eine eingeschränkte OS-Variante gibt. Entsprechend kann die OS-Verfügbarkeit der Cyc UCO nur bedingt gelten, indem der Cyc-Content in erster Linie proprietär ist. Das gilt vor allem insofern, als die Cyc UCO jenseits der Cyc-Ontologie keine Funktion besitzt, indem sie ganz ihrem spezifischen Common Sense-Gedanken verpflichtet ist. Ferner handelt es sich bei der BORO-TLO in Form der ISO 15926 nicht um eine OS-Variante, was bei B. Smith (2006b) entsprechende Kritik findet. Bei der bereits erwähnten Highfleet *Upper Level Ontology* (ULO) handelt es sich insgesamt um einen proprietären TLO-Ansatz, was mit Blick auf offene Systemintegrationen vor dem Hintergrund des Gedankens der Einheits-TLO als problematisch zu werten ist.

Entsprechend sollte die TLO-Philosophie eine andere sein; eine sachgerecht entwickelte Top-level Ontologie ist tatsächlich *universale Ontologie*, wie sie im IoX-Hyperspace auch erforderlich wird. Als solche sollte sie auch universal anwendbar sein und insgesamt das Ziel verfolgen, zum Gold Standard zu diffundieren. Allein an diesem Ziel kann und sollte sich jede TLO-Entwicklung orientieren. Dabei sollte die Herausbildung zum Gold Standard nicht bloß auf positive Netzwerkexternalitäten zurückgehen als vielmehr auf eine diese begleitende aktive Evaluierung und Selektion der konkurrierenden TLO-Theorieanwörter. Bereits die heutige Situation zeigt, dass die TLO-Ansätze mit der größten Diffusion nicht nur nicht die besten sind, sondern vielmehr jene Ansätze darstellen, die gerade die grundlegendsten Defizite und Defekte aufweisen. Wenn die TLO-Kategorien in der Weise zu konzipieren sind, in der sie sich im Grunde in sämtlichen Integrations- und Anwendungsszenarien bewähren können, dann ist dazu insbesondere das Kriterium der CPSS- bzw. IoX-Adäquanz als zentral zu werten. Ferner sollte ein TLO-Ansatz mit Verweis auf Abb. 3 so beschaffen sein, dass sowohl *wissenschaftlich-öffentliche Ontologien* als auch *praktisch-private Ontologien* auf diesen referenzieren können. Denn in einer *integrierten Ontologiekonzeption* werden bei Anwendung in praxi immer Teile des Systems von Ontologien öffentlich, andere hingegen privat sein. Damit sind die meta-ontologischen Dispositionen insofern verbunden, als es nicht zuletzt auch um den Widerstreit zwischen *Scientific Ontologies* und *ODIS-Ontologien* geht, mit denen unterschiedliche Dispositionen zusammenhängen. Diese lassen sich allein auf Grundlage einer integrierten Ontologiearchitektur wie CYPO FOX absorbieren.

Ad (ii) erfordert die praktische Umsetzung einer umfassend reflektierten TLO-Konzeption im ersten Schritt ihre Repräsentation in einer formalen Logik; darauf aufsetzend die Wahl einer dazu kompatiblen Repräsentationssprache. Indem erst letztere maschinenlesbar ist, kommt auch ihr im Rahmen der praktischen Implementierungsfragen eine ebenso wesentliche Bedeutung bei der Überwindung des Inkommensurabilitätsproblems zu. Daraus folgt, dass die Diffusion aller Referenzontologien, allen voran der *Top-level Ontologie*,

wesentlich von der Frage ihrer Verfügbarkeit in einer gängigen Repräsentationssprache abhängt. Insofern kann auch jede noch so überzeugende CPSS-adäquate TLO-Konzeption erst dann zum Quasi-Standard avancieren, wenn auch bzgl. der Implementierungsebene dazu die richtigen Entscheidungen getroffen werden. Das schließt ggf. ein Mapping zu kompatiblen Standards resp. den Rückgriff auf adäquate Austauschformate wie KIF bzw. zu lexikalischen Ontologien wie WordNet mit ein. Die formale Logik sowie die adäquate ontologische Repräsentationssprache spielen insofern bereits bei den meta-ontologischen Dispositionen eine Rolle, als es bei einem adäquaten Ontologieverständnis um eine *Heavy-weight-Ontologie* geht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Repräsentationssprachen eine unterschiedliche Mächtigkeit besitzen, die auf die ihnen zugrundeliegenden formalen Logiken (DL, FOL etc.) zurückweist. Insofern lassen sich Repräsentationssprachen danach klassifizieren, auf welchem Logiktypus sie basieren, also etwa – wie OWL – auf der Beschreibungslogik (DL) oder etwa auf einer Modallogik (ML). Darüber hinaus sind in Bezug auf die formale Logik die Logikkalküle (z.B. EC, SC) zu spezifizieren, deren Adäquanz bzgl. der primären Kategorien im Kategoriensystem zu prüfen ist.

Es gibt zahlreiche Varianten der formalen Logik. Die *Aussagenlogik* [*Propositional Logic*] (PL) stellt den elementarsten Teil der mathematischen bzw. formalen oder symbolischen Logik dar.⁴⁷⁵⁷ Sie reicht allerdings lediglich aus, um Aussagen und Verknüpfungen im Sinne einer molekularen Struktur von Aussagen zu untersuchen, nicht aber die innere Struktur von Aussagesätzen.⁴⁷⁵⁸ Dafür ist vielmehr erst die höherwertige *Prädikatenlogik* prädestiniert, indem jede elementare Aussage nach klassischem Schema aus einem Subjekt und Prädikat besteht.⁴⁷⁵⁹ Der Kern jeder Logik stellt sich in Form ihres *Kalküls*, des *Logikkalküls*,⁴⁷⁶⁰ mit diesem wird sie einer mathematischen Behandlung zugänglich.⁴⁷⁶¹ Insofern kann unter der *mathematischen Logik* im Grunde dasselbe verstanden werden wie unter einem Logikkalkül.⁴⁷⁶² Vor diesem Hintergrund lässt sich auch die Einstufung von Repräsentationssprachen im Zeichen ihres *Logizismus* am sinnvollsten anhand der *Logikkalküle* vornehmen. Nach der relativen Mächtigkeit der Logikkalküle bzw. ihrer Ausdrucksstärke lassen sich in aufsteigender Folge folgende Logiktypen unterscheiden: (i) *Aussagenlogik* [*Propositional Logic*] (PL);⁴⁷⁶³ (ii) *Beschreibungslogik* [*Description Logic*] (DL);⁴⁷⁶⁴ (iii) *Prädikatenlogik erster Stufe* [*First-Order Logic*] (FOL);⁴⁷⁶⁵ (iv) *Rahmenlogik* [*Frame Logic*] (FL);⁴⁷⁶⁶ sowie (v) *Prädikatenlogik zweiter Stufe* resp. *höherwertige Logiken* [*Higher-*

⁴⁷⁵⁷ Vgl. hierzu etwa Kneebone (1963: 26 ff.) sowie Caferra (2011: 39 ff.).

⁴⁷⁵⁸ Vgl. hierzu etwa Kneebone (1963: 58 ff.).

⁴⁷⁵⁹ Vgl. hierzu Caferra (2011: 131 ff.).

⁴⁷⁶⁰ Vgl. zur Definition und Bestimmung des *Logikkalküls* Whitehead (1898: 3 ff.) sowie Scholz/Hasenjaeger (1961: 26 f.).

⁴⁷⁶¹ Vgl. auch Hermes/Scholz (1952: 1,11).

⁴⁷⁶² Vgl. Hermes/Scholz (1952: 1,12).

⁴⁷⁶³ Vgl. dazu etwa Schöning (1989).

⁴⁷⁶⁴ Vgl. hierzu Baader et al. (2009).

⁴⁷⁶⁵ B. Smith (2008e) etwa votiert für eine *realistische* FOL.

⁴⁷⁶⁶ Vgl. hierzu Angele et al. (2009).

Order Logic] (HOL). – Wie zuvor DAML+OIL,⁴⁷⁶⁷ verkörpert OWL DL im Wesentlichen eine *Beschreibungslogik* [*Description Logic*] (DL),⁴⁷⁶⁸ die sich wiederum als ein Fragment der Prädikatenlogik erster Stufe auffassen lässt.⁴⁷⁶⁹ SBVR verkörpert demgegenüber eine *First-Order Logic* (FOL),⁴⁷⁷⁰ lässt aber auch höherwertige Logiken (Henkin Semantik) zu.⁴⁷⁷¹ Solomakhin et al. (2011) suchen SBVR durch eine multimodale *First-Order Deontic-Alethic Logic* (FODAL) zu ergänzen. OWL verkörpert demgegenüber eine Beschreibungslogik (DL). SBVR ist auf die *Common Logic* (CL) ausgerichtet (ISO/IEC 24707:2007);⁴⁷⁷² die OMG (2013b: 128 ff.) vergleicht entsprechend die Termini von SBVR und ISO CL und stellt sie den OWL Termini gegenüber. Mit den Repräsentationssprachen geht es insgesamt mit Sachverhalten bzw. Fakten (facts) einerseits und Inferenzregeln (rules) andererseits um zwei unterschiedliche Wissenstypen: »While facts express extensional knowledge, rules express intensional knowledge«.⁴⁷⁷³

Gegenwärtig stellt die *Web Ontology Language* (OWL) bzw. OWL 2 im KS-Bereich den Quasi-Standard dar, den dieser als W3C Spezifikation insbesondere auch für Berners-Lees (1999) *Semantic Web* (SW) besitzt, und auch durch die meisten KR-Systeme verstanden wird.⁴⁷⁷⁴ OWL wird dabei nicht nur im *U-PLM-Referenzszenario* eingesetzt,⁴⁷⁷⁵ sondern in den meisten KS-Szenarien und entsprechend sind alle gängigen TLO-Implementationen auch in OWL verfügbar. Demnach stellt die OWL-Verfügbarkeit den gegenwärtigen Status quo, wobei der erwähnte MCCO-Fall bereits die Grenzen dieser Repräsentationssprache erkennen lässt. Während OWL schon auf komplexere Ontologien zielt, stellt sich das *Resource Description Framework* (RDF) mitsamt RDF Schema (RDFS) als Alternative dar, wenn es um webbasierte Metadaten bzw. einfache Ontologien im Zeichen einer maschinenverarbeitbaren Repräsentationssprache geht.^{4776, 4777} Mit Blick auf Regeln ist daneben auf die *Semantic Web Rule Language* (SWRL) als Regel-Erweiterung von OWL DL zu verweisen.^{4778, 4779} Vor diesem Hintergrund ist auch das *Rule Interchange Format* (RIF) von Relevanz.

Mit der in Pkt. 1.5 behandelten *BPM-PLM Kombination* des Referenzszenarios gelangt indessen noch eine anders geartete Repräsentationssprache ins Spiel, wenn es im IS-Kontext um *regelbasierte* BPM- bzw. Workflowsysteme (WfMS) geht. Dabei handelt es sich um die *Semantics of Business Vocabulary and Business Rules* (SBVR), die als Schwester-

⁴⁷⁶⁷ Vgl. hierzu Horrocks/Patel-Schneider (2001).

⁴⁷⁶⁸ Vgl. hierzu Horrocks/Patel-Schneider (2004) sowie Hitzler/Krötzsch/Rudolph (2009).

⁴⁷⁶⁹ Vgl. auch Hitzler et al. (2008: 163).

⁴⁷⁷⁰ Vgl. OMG (2013b).

⁴⁷⁷¹ Vgl. OMG (2013b: 116 f.).

⁴⁷⁷² OMG (2013b: 127 ff.).

⁴⁷⁷³ Vgl. Herre/Wagner (1997: 165).

⁴⁷⁷⁴ Vgl. etwa Antoniou/Van Harmelen (2009).

⁴⁷⁷⁵ Vgl. zu OWL-basierten PLM-Ontologien etwa Y. Zhang et al. (2015).

⁴⁷⁷⁶ Vgl. hierzu Alexaki et al. (2000), Pan (2009) sowie Allemang/Hendler (2011).

⁴⁷⁷⁷ Vgl. zum Einsatz von RDF und RDFS in PLMS etwa Jun et al. (2007a) oder Y. Zhang et al. (2015).

⁴⁷⁷⁸ Vgl. hierzu Hitzler/Parsia (2009).

⁴⁷⁷⁹ Vgl. zum Einsatz von SWRL im Zuge von PLM-Ontologien etwa Y. Zhang et al. (2015).

standard der BPMN ebenfalls von der OMG spezifiziert wurde.⁴⁷⁸⁰ SBVR lässt es genauso wie OWL zu, einen spezifischen *Top-level* im Sinne einer TLO-Referenz zu definieren. Beide Repräsentationssprachen besitzen jenseits ihrer Grammatik keinen eigenen *Top-level*; insbesondere die eigentlich objektzentrische OWL ist dabei in ihrem *Top-level* in einen CPSS-adäquaten Ansatz zu transformieren. Dabei gilt auch hier, dass im Zeichen der *TLO-EO-Verkopplung* neben der TLO-Referenz auch unmittelbar eine EO-Referenz gegeben sein kann. Im Unterschied zu OWL ist SBVR dabei konkret für EO-Belange konzipiert; sie bietet entsprechend ein spezielles EO-Vokabular, das dieser Integration förderlich ist. SBVR besitzt dabei anders akzentuierte logische Grundlagen als OWL, indem SBVR auf der spezifischen *deontisch-alethischen Prädikatenlogik* FODAL basiert. SBVR ist als *Prädikatenlogik erster Stufe* (FOL) hinreichend ausdrucksstark; sie ist XML-basiert und damit allgemein maschinenverständlich. OWL verwendet zwar auch FOL-Terminologie, und stellt dabei eine Implementierung der *Beschreibungslogik* (DL) dar. Auch insofern zeichnet sich bereits ab, dass SBVR gewiss nicht generell eine Alternative zu OWL bildet, indem letztere den *generellen KR-Zwecken*, nicht zuletzt auch die Repräsentation einfacher *Scientific Ontologies* im Sinne B. Smithens eröffnet. SBVR ist vielmehr als UML-, BPMN- sowie BMM-Schwesterstandard im BPM-PLM-Konnex von Relevanz und bildet darüber hinaus einen integralen Bestandteil der *Model Driven Architecture* (MDA) der OMG,⁴⁷⁸¹ auf letzterer bauen wiederum U-PLM-Systeme als integrierte Prozess- und Wissenssysteme wie auch speziell die *Smart Factory* auf.⁴⁷⁸² SBVR adressiert die MDA/CIM-Ebene und ist dabei SOA-kompatibel. Insofern der SBVR-Standard damit in den Fokus von SEA/SEI-Fragen rückt, ist dieser jüngere Ansatz im Zeichen der TLO/EO-Verkopplung ebenso einer näheren Betrachtung zu unterziehen. Das gilt auch mit Blick auf die Identifikation etwaiger Probleme.

SBVR unterstützt die Repräsentation verschiedenster Wissenstypen; hierzu gehören (i) *EO-relevantes Vokabular*; (ii) *Taxonomien*; (iii) *Ontologien*; (iv) *Definitionen*; und (v) *Regeln*.⁴⁷⁸³ In diesem Sinne kann es mittels SBVR gelingen, *implizites Wissen* (*tacit knowledge*) im ontologischen Anwendungs- und Integrationsszenario zu heben, wie es der elementare Wissensaspekt von U-PLM-Systemen verlangt. Bei den Regeln handelt es sich um *sachlogische Prozessregeln*, konkret um *Business Rules* (BR).⁴⁷⁸⁴ Diese sind für U-PLM-Workflows resp. die *Smart Enterprise Integration* von großer Relevanz. Bspw. kommen diese in Form einer SBVR-basierten Modellierung prozessbezogener Zugriffsrechte,⁴⁷⁸⁵ bei der Modellierung von Vertragsregeln,⁴⁷⁸⁶ oder der Modellierung von Regulie-

⁴⁷⁸⁰ Vgl. OMG (2013b).

⁴⁷⁸¹ Vgl. hierzu Hendryx (2005); vgl. hierzu auch J. Lee/Chae et al. (2009).

⁴⁷⁸² Vgl. Uschold (2008) sowie Cadavid et al. (2015).

⁴⁷⁸³ Vgl. Fayoumi/Yang (2012).

⁴⁷⁸⁴ Vgl. hierzu Ross (2008), G.C. Witt (2012) sowie Feuto et al. (2013).

⁴⁷⁸⁵ Vgl. Goedertier et al. (2007).

⁴⁷⁸⁶ Vgl. Kamada et al. (2010).

rungen zum Einsatz⁴⁷⁸⁷ Diese *Business Rules* (BR) erfordern darüber hinaus ein *Business Rules Management* (BRM) auf der Grundlage von *Business Rules Management Systems* (BRMS). Im Bereich der BPM-Systeme besitzen OMG-Standards die höchste Verbreitung; entsprechend setzen moderne BRMS mitunter auf SBVR als OMG-Standard auf.⁴⁷⁸⁸ Für U-PLM-Systeme als PPR-bezogene Integrationsplattform sind entsprechend offene Standards insofern von exorbitantem Stellenwert,⁴⁷⁸⁹ als eine Integration in offenen Systemen nicht ohne sie bewerkstelligbar ist. Insofern stellen BPMN und SBVR für die *BPM-PLM Koppelung* überaus relevante Standards dar: Wie in Pkt. 2.3 dargelegt, gibt es zwei dominante Ansätze im BPM, nämlich den prozeduralen "*graph-based approach*" wie den deklarativen "*rule-based approach*", die als komplementär aufzufassen sind. Diese Komplementarität hier nochmals insofern untermauert, als es bei ersterem nicht zuletzt um die BPMN-Notation geht, während SBVR unter letzteren fällt. Beiden sind sowohl logische wie ontologische Grundlagen inhärent; BPMN ist letztlich als ereigniszentrisch zu erachten, während ihre logischen Grundlagen im Zeichen ihrer Tradition zu Petri-Netzen in Form der jeweiligen Prozesslogik gegeben sind. Letztere resultiert aus den logischen Konnektoren, die solchen kontrollflussorientierten Notationen zu eigen sind; so stammen ihre Konjunktion wie die inklusive bzw. exklusive Disjunktion unmittelbar aus der mathematischen Logik.⁴⁷⁹⁰

SBVR lässt sich als *Semantic Hub* auffassen wenn es gilt, heterogene Systeme zu integrieren,⁴⁷⁹¹ der Interoperabilitätsaspekt ist also gerade für SBVR essentiell.⁴⁷⁹² Zu möglichen SBVR-Mappings bzw. Transformationen gehören: BPMN,⁴⁷⁹³ UML,⁴⁷⁹⁴ OCL (UML),⁴⁷⁹⁵ OWL,⁴⁷⁹⁶ OWL 2,⁴⁷⁹⁷ oder R2ML (Rules).⁴⁷⁹⁸ SBVR bildet dabei partiell, d.h. für die hier erläuterten spezifischen Zwecke, auch eine Alternative zu anderen Standards wie OCL,⁴⁷⁹⁹ teilweise auch zu UML. Reynares et al. (2014) bescheinigen SBVR in qualitativer Hinsicht mindestens denselben Reifegrad wie UML als etablierter Sprache und heben die Ausdruckstärke von SBVR in Bezug auf komplexe Notationen hervor. SBVR lässt sich umfassend mit weiteren OMG-Standards kombinieren,⁴⁸⁰⁰ *prozesslogisch* allen voran mit

⁴⁷⁸⁷ Vgl. Abi-Lahoud et al. (2013).

⁴⁷⁸⁸ Vgl. Berstel-Da Silva (2014).

⁴⁷⁸⁹ Vgl. hierzu Rachuri et al. (2008).

⁴⁷⁹⁰ Vgl. hierzu etwa Church (1956: 31 ff.), der dabei wiederum explizit auf Whitehead/Russells (1910-13) *Principia Mathematica* aufbaut.

⁴⁷⁹¹ Vgl. Shi et al. (2013).

⁴⁷⁹² Vgl. hierzu etwa Huber et al. (2011).

⁴⁷⁹³ Vgl. Vanthienen/Goedertier (2007), Skersys/Tutkute et al. (2012a, 2012b), Malik/Bajwa (2013) sowie Miceviciute/Butleris (2013); vgl. hierzu auch Koehler (2011).

⁴⁷⁹⁴ Vgl. Raj/Prabhakar/Hendryx (2008) bzw. Raj/Agrawal/Prabhakar (2013).

⁴⁷⁹⁵ Vgl. Cabot et al. (2010).

⁴⁷⁹⁶ Vgl. etwa Demuth/Liebau (2007).

⁴⁷⁹⁷ Vgl. Karpovic/Nemuraite (2011) und Bernotaityte et al. (2013); vgl. hierzu auch Reynares et al. (2014).

⁴⁷⁹⁸ Vgl. Demuth/Liebau (2007) sowie Nicolae/Wagner (2008).

⁴⁷⁹⁹ Vgl. etwa Bajwa et al. (2011).

⁴⁸⁰⁰ Die Rede von *Standards* (OMG, W3C, OASIS etc.) beschränkt sich in dieser Abhandlung nicht auf explizit verabschiedete Standards, sondern erstreckt sich im Sinne *geplanter, in der Evaluierung oder in Freigabeprozessen befindlicher* Standards vielmehr auch auf die *Recommendation, Submission* etc. und

BPMN, BMM, oder DMN.⁴⁸⁰¹ Wie erwähnt, kann SBVR in speziellen EO-Belangen auch eine Alternative zu OWL darstellen.⁴⁸⁰² Vielmehr geht es jedoch um die erwähnten Mappings mit OWL bzw. OWL 2 (z.B. SBVR2OWL Mappings) oder um Transformationen in die RDF-Abfragesprache SPARQL.⁴⁸⁰³ SBVR lässt sich auf Basis solcher Mappings als *Semantic Web Technologie* nutzen; insofern kann es auf SBVR-Basis auch zu einer Verschmelzung der BR- und SW-Welt kommen.⁴⁸⁰⁴ Im Zeichen eines solchen *semantischen Hub* garantiert der SBVR-Standard mit dieser Offenheit zugleich Investitionssicherheit.

Mit der Repräsentation verschiedenster Wissenstypen steht außer Zweifel: »SBVR is about meaning and standardizing meaning«.⁴⁸⁰⁵ Allerdings ist im Zeichen des in Pkt. 6.2.2 behandelten Widerstreits von *deskriptiver* vs. *revisionärer* Metaphysik zu hinterfragen, wie sich diese Bedeutungszuordnung konkret darstellt. SBVR ist auf den ersten Blick als linguistischer Ansatz konzipiert, indem SBVR *Structured English* nutzt,⁴⁸⁰⁶ und dabei insgesamt auf der *Controlled Natural Language* (CNL) basiert. Somit gewährleistet SBVR analog BPMN den Vorteil der Verständlichkeit durch Endnutzer und weist somit auch eine *ad hoc* Modifizierbarkeit auf. Allerdings verkörpert SBVR insofern nicht primär einen deskriptiven Ansatzpunkt, als ihre Semantik nicht auf der Analyse der Sprache beruht, sondern umgekehrt eine FOL-basierte formale Sprache für faktenbasierte Repräsentationen nutzt. Da sich diese faktenbasierten Repräsentationen – genauso wie faktenbasierte konzeptuelle Modelle – zwar *universal* auf das jeweilige Diskursuniversum (UoD) im logico-mathematischen Sinne beziehen, kann letztlich keine materialistische Ontologie ihren obersten Referenzpunkt bilden. Dennoch muss es sich aus dem Grunde um eine prinzipiell *realistische* Top-level Ontologie handeln, weil es in den meisten Fällen um realistische Sachverhalte geht, die im transdisziplinären Sinne mit anderen realistischen Sachverhalten eine Einheit bilden. Entsprechend sind auch faktenbasierte konzeptuelle Modelle mit faktenbasierten semantischen Modellen (SBVR) umfassend zu orchestrieren,⁴⁸⁰⁷ was schließlich auch eine gemeinsame Referenz auf eine *einheitliche* Top-level Ontologie impliziert. Dabei wird SBVR im SEA-Kontext bereits zur Definition faktenbasierter Ontologien ins Spiel gebracht.⁴⁸⁰⁸ SBVR versöhnt damit die *linguistische* und *realistische* Ontologie, wobei der revisionären Metaphysik indessen insofern Priorität einzuräumen ist, als SBVR im Kontext einer *integrierten Ontologiekonzeption* auf eine *realistische* Top-level Ontologie referenzieren sollte.

in diesem sehr weiten Sinne selbst auf den *Request for Proposal* (RFP). Dies liegt darin begründet, dass ihre Grenzen fließend sind und solche Standards der ständigen Weiterentwicklung unterliegen.

⁴⁸⁰¹ Vgl. hierzu Linehan/de Sainte Marie (2011).

⁴⁸⁰² Vgl. hierzu etwa D. Kang et al. (2010a, 2010b), Zdravkovic et al. (2011) sowie Gailly (2013).

⁴⁸⁰³ Vgl. Sukys et al. (2011, 2012a, 2012b).

⁴⁸⁰⁴ Vgl. Demuth/Liebau (2007); vgl. hierzu auch Spreeuwenberg/Gerrits (2005).

⁴⁸⁰⁵ Vgl. Spreeuwenberg (2008: 2).

⁴⁸⁰⁶ Vgl. OMG (2013b); vgl. auch Vanthienen (2008).

⁴⁸⁰⁷ Vgl. Bollen (2008, 2009).

⁴⁸⁰⁸ Vgl. etwa D. Kang et al. (2010a).

6.3 Zur Spezifikation von *Superintelligenz* der dritten AI-Generation

»Every ontology comes equipped with a number of philosophical commitments [...].«

— Simon K. Milton/Ed Kazmierczak (2006: 87)

Indem sich Computer als *Reality Machines* mit McCarthy (1963a: 66) so intelligent wie möglich verhalten müssen, avanciert die AI-Disziplin nicht nur zum Kern der Informatik, sondern diese läuft mit ihrem AI-Kern im Zeichen von Good (1965) insgesamt auf *Superintelligenz* hinaus. In dieser besteht der zentrale Ansatzpunkt wenn es gilt, überlegende Informations- und Wissenssysteme zu konzipieren. Der Wettstreit um die besseren Systeme ist somit vor allem ein Wettstreit in Künstlicher Intelligenz. Entsprechend ist es wesentlich, alle Grundsatzfragen vor dem Hintergrund der intendierten Superintelligenz zu verstehen. Insbesondere auch alle Agenten- und Ontologiefragen lassen sich fundamental nicht diskutieren, wenn sie nicht auf diese intendierte Superintelligenz bezogen werden. Denn ansonsten gehen sie an den gegenwärtigen und insbesondere künftigen Erfordernissen der Disziplin vorbei. Bevor zu klären ist, was Superintelligenz und insbesondere solche der dritten AI-Generation ist, bleibt nochmals zu reflektieren, was Intelligenz bzw. Künstliche Intelligenz als solche bedeutet. Zum letzten Aspekt ist zunächst mit Verweis auf Pkt. 2 festzustellen, dass es nicht die eine Konzeption von AI-Intelligenz gibt, sondern dass im Allgemeinen zwischen drei gängigen Stufen von AI-Intelligenz differenziert wird, nämlich: (i) *Artificial Narrow Intelligence* (ANI), (ii) *Artificial General Intelligence* (AGI), sowie (iii) *Artificial Superintelligence* (ASI). Indem gleichzeitig außer Frage steht, dass alle AI-Konzeptionen immer metaphysisch präsupponiert sind, bietet es sich an, diese drei Stufen auf die in Pkt. 1 behandelten drei AI-Generationen zu beziehen. Dann wird deutlich, dass sich die erste AI-Generation primär auf ANI-Intelligenz bezieht, während das letztliche Ziel in AGI-Intelligenz besteht. Es geht in der ersten AI-Generation also darum, langfristig ein Intelligenzvermögen zu erreichen, das jenem menschlicher Subjekte entspricht. Anders gewendet ist die erste AI-Generation mit ihren Methoden und Techniken gar *nicht* darauf ausgerichtet, auf *Superintelligenz* zu zielen. Hayes/Ford (1993b) stellen entsprechend fest: »Our (ultimate) dream, to create an artificial human-level thinker, is more modest«. Zur gleichen Zeit sind der Physiknobelpreisträger P.W. Anderson (1995) wie andere bzgl. ihrer tatsächlichen Realisierbarkeit skeptisch:⁴⁸⁰⁹ »Anyone who expects any human-like intelligence from a machine in the next 50 years is doomed to disappointment. But by that time we will at least have given up the meaningless ‘Turing Test’ as the criterion of success«. ⁴⁸¹⁰ Entsprechend ist es auch völlig ausreichend, alle Ontologiefragen im Sinne von Hayes (1985a, 2004) auf *Common Sense* bzw. die grammatikalische Struktur der Alltagssprache *menschlicher* Agenten auszulegen und sie gerade nicht als gesonderte Ontologiefrage für *maschinelle* Agenten zu stellen.

⁴⁸⁰⁹ Ungeachtet dessen liegt er mit Crockett (1994) bzw. Sloman (1996) in Bezug auf die Relevanz des *Turing Test* richtig; vgl. dazu auch die Kritik bei Hayes/Ford (1995) bzw. Ford/Hayes (1998).

⁴⁸¹⁰ Vgl. P.W. Anderson (1995: 1617).

Demgegenüber ist der Fokus der zweiten AI-Generation bereits gänzlich anders gelagert, indem diese mit ihrer Metaphysik auf komplexe bzw. evolvierende Umwelten zielt. Indem der ganze AI-Ansatz der zweiten AI-Generation insbesondere auf Basis neuronaler Netze auf eine technologische Entsprechung der Anforderungen komplexer Systeme zielt, kann sich das AI-Verständnis auch nicht an den kognitiven Restriktionen menschlicher Agenten orientieren. Das AI-Vermögen muss also über diese insofern in jenem Maße hinausgehen, wie es komplexe Systeme wie etwa Verkehrsleitsysteme usf. in Echtzeit erfordern. Die zweite AI-Generation geht also über die Ziele von Hayes/Ford (1993b) sehr deutlich hinaus, wenn sie mit V.C. Müller/Bostrom (2016) dezidiert auf *Superintelligenz* (ASI) zielt. Bostrom (2006: 11) definiert ASI-Intelligenz dabei als »an intellect that is much smarter than the best human brains in practically every field, including scientific creativity, general wisdom and social skills«. Diese wird bei Bostrom (2014: 63 ff.) bzw. ähnlich bei Mainzer (2016b) auf drei elementare Typen von Superintelligenz bezogen, nämlich auf (i) *Speed Superintelligence*, (ii) *Collective Superintelligence* sowie (iii) *Quality Superintelligence*. Für den Aspekt der höchsten, der *reflexiven Intelligenz* ist dabei die letzte die eigentlich entscheidende. Damit kommen wir auf Pkt. 3 zurück; dort wurde bereits festgestellt, dass es nicht nur *eine* Art der Intelligenz gibt, sondern vielmehr mehrere: Es gilt grundsätzlich das, was in der *Theorie der multiplen Intelligenzen* bei Thurstone (1938) bzw. H. Gardner (1983) behandelt wird. Allerdings ist diese in der AI-Forschung in genau der Weise zu entwickeln, wie sie maschinellen Agenten bzw. Leibnizens Automaten tatsächlich gerecht wird. Sie ist also universal zu fundieren und für jede Automatenklasse im Sinne eines komparativen Vergleichs der Agentenarchitekturen bei Sloman/Scheutz (2002) gesondert zu entwickeln. In dieser universalen Fundierung im Leibnizschen Sinne lässt sich *Intelligenz* mit Mainzer (2016c: 240) verstehen als *Problemlösungskompetenz*, die für jede Automatenklasse bzw. jeden Agenten messbar ist. Solange es eine solche im Einzelnen ausgearbeitete *AI-Theorie der multiplen Intelligenzen* nicht gibt, erscheint eine enge ASI-Definition wie bei Bostrom (2014) eher hinderlich. Vielmehr ist dann eine allgemein gehaltenen Definition wie bei D.J. Chalmers (2010) ausreichend, womit gilt: »AI++ (or superintelligence) is AI of far greater than human level (say, at least as far beyond the most intelligent human as the most intelligent human is beyond a mouse)«. ⁴⁸¹¹

Die ASI-Definition bei D.J. Chalmers (2010) kann umso mehr als ausreichend erscheinen, als es hier gar weniger um die Superintelligenz als solche geht als vielmehr um die im siebten Teil vorzunehmende Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwärter sowie um die damit zusammenhängende Elementarfrage nach der Metaphysik der Informatik. Relevant ist entsprechend die Frage, ob beides an der zweiten AI-Generation, speziell an der "Heideggerian AI" bei H.L. Dreyfus (2007) festmachen kann, oder ob die ganze AI-Disziplin wie die Informatik als solche vielmehr auf die Grundlage einer anderen Meta-

⁴⁸¹¹ Vgl. D.J. Chalmers (2010: 11). Entsprechend geht *Superintelligenz* über die *Artificial General Intelligence* (AGI) zwangsläufig hinaus, indem letztere auf das Niveau menschlicher Intelligenz zielt.

physik zu stellen ist, von deren Basis die Frage nach der obersten Ontologieebene der Informatik zu klären ist. Diese Sichtweise ist umso mehr von Relevanz, als im fünften Teil gezeigt wurde, dass diese "Heideggerian AI" insofern nicht haltbar ist, als es bei ihr weder um eine Digitalmetaphysik als solche noch speziell um eine Cyber-Physik geht, die eine transdisziplinäre Durchlässigkeit zu den Struktur- und Erfahrungswissenschaften eröffnet. Zudem ist ein zweites, nicht minder elementares Argument anzuführen, das darin besteht, dass die zweite AI-Generation mit Bostrom (2006: 11) Superintelligenz zwar auch explizit im Bereich der "scientific creativity" sowie "general wisdom" zu adressieren sucht, jedoch die damit unmittelbar zusammenhängenden Fragen wie die *Einheit der Erkenntnis*, die *Einheit der Wissenschaften* sowie die *Einheit allen Wissens* gar nicht thematisiert wird. Daneben sind dazu natürlich alle sonstigen epistemologischen und methodologischen Aspekte von Relevanz; in Bezug auf letztere insbesondere jene von Induktion und Deduktion und damit die Frage, ob Superintelligenz tatsächlich allein als *lokale Intelligenz* richtig verstanden ist, oder ob diese insbesondere bei der maschinellen Automatenklasse nicht vielmehr zuvorderst auch als *regionale* sowie insbesondere als *globale Intelligenz* zu verstehen ist. Offenbar ist also zunächst die Metaphysikdebatte zu eröffnen, bevor die Fragen der *Superintelligenz* in tatsächlich sachgerechter Weise angegangen werden können. Vor dem Hintergrund aller vorausgehenden Teile besteht in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik der Schlüssel zur richtigen, d.h. universalen Eröffnung dieser Debatte. Insofern wird ersichtlich, dass weder die erste AI-Generation Orientierung bei allen fundamentalen AI-Fragen geben kann noch die zweite AI-Generation. Vielmehr sind beide dazu zunächst auf eine Synthese zu stellen, und diese besteht in der Superintelligenz der dritten AI-Generation.

Die Metaphysikdebatte muss auch insofern vor jener nach Superintelligenz kommen, als gerade auch die Realitätsfrage als solche erneut von Relevanz ist. Denn Superintelligenz kann ex definitione keine *Common Sense Reality* voraussetzen, sondern sie muss sagen können, was synthetische Realität im Sinne der Cyber-Physik ist. Genauso muss sie eine soziale Realität als Grundlage voraussetzen, die in der Weise konzipiert ist, dass sie den MAS/CAS-Belangen tatsächlich auch gerecht wird. Von allen diesen Anforderungen ist in der Debatte der zweiten AI-Generation keine Rede, und das liegt daran, dass entweder die Metaphysikfrage insgesamt zu kurz kommt oder aber, dass sie im Sinne der "Heideggerian AI" bei H.L. Dreyfus (2007) auf die Basis einer mit Pkt. 5.6 letztlich gänzlich ungeeigneten Metaphysik gestellt wird. Vor allem aber kann die höchste Form von Intelligenz, nämlich die reflexive Intelligenz als Form der kognitiven Intelligenz nur dann richtiggehend behandelt werden, wenn jenes Wissen in den Vordergrund gerückt wird, um das es in der ersten AI-Generation wie damit zusammenhängend in der TLO-Debatte der Informatik geht. Mit der Realitätsfrage einerseits und der Wissensfrage andererseits wird deutlich, dass alle Superintelligenz in jenem Sinne zu reflektieren ist, die in Leibniz-Whiteheadscher Perspektive auf das IMKO *OCF* bzw. im CPST-Sinne auf *CYPO FOX* verweist.

Gerade auch in der Superintelligenzdebatte kommt das Wechselspiel von Induktion und Deduktion, von lokaler bzw. regionaler und globaler Intelligenz regelmäßig zu kurz, was wiederum der falschen bzw. fehlenden metaphysischen Basis geschuldet ist. Richtig konzipiert ist die Frage der Superintelligenz vielmehr im Zeichen des CPST- bzw. IoX-Hyperspace; erst vor diesem Hintergrund wird deutlich, inwiefern und warum maschinelle Agenten jenen menschlicher Provenienz überlegen sind. Denn dafür entscheidend ist nicht so sehr der bisherige isolierte Vergleich *Mensch vs. Maschine* im Sinne *maschineller* eingebetteter Agent vs. *menschlicher* eingebetteter Agent; sondern insbesondere die Möglichkeiten, die sich im Wechselspiel mit der globalen Intelligenz und damit im Zuge von Ontologien ergeben. Mit den obigen Ausführungen ist evident, dass die Intelligenz als *Problemlösungskompetenz* im Zeichen der *Theorie der multiplen Intelligenzen* auf alle disparaten Intelligenzarten zu beziehen ist. Diese lassen sich im Ontologiesinne praktischen, technologischen sowie wissenschaftlichen Zwecken zuordnen. Intelligenz ist zwar grundsätzlich etwas anderes als Wissen, doch insbesondere bei der technologischen sowie wissenschaftlichen *Problemlösungskompetenz* zeigt sich schließlich, dass letzteres in seiner Verfügbarkeit wie insbesondere in seinem Verständnis entscheidende Voraussetzung ist, um techno-wissenschaftliche Probleme lösen zu können. Die Exploration wie Exploitation techno-wissenschaftlichen Wissens ist jedoch sowohl bei menschlichen wie bei maschinellen Agenten etwa im Sinne lokaler Falsifikationsversuche nie Sache einzelner Subjekte. Demnach spricht alles dafür die ASI-Frage nicht an einzelnen Computern bzw. Menschen festzumachen, sondern die jeweiligen Möglichkeiten der Vernetzung und Automatisierung in elementarer Weise mit einzubeziehen. Es geht dann um Aspekte wie verteilte Messpunkte als Multisensorsystem; um hybride Agentenarchitekturen, die implizites wie explizites Wissen parallel behandeln können und synchronisieren, sowie um eine integrierte Ontologiearchitektur, die neben der TLO-Referenz als integrierte Ontologiekonzeption auf ein transdisziplinäres System von Ontologien verweist.

Mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist eine *Superintelligenz* insofern intendiert als das *Web 4.0* bzw. *Smart Web* als »an Ultra-Intelligent Electronic Agent, symbiotic web and Ubiquitous web« zu erachten ist.⁴⁸¹² Indem diese Intelligenz nicht nur auf lokaler Agentenebene, sondern vor allem erst im RTE-Zeichen global auf MAS-Ebene ihre Relevanz erfährt, muss sich die meta-ontologische Spezifikation somit insgesamt an einer intendierten *Superintelligenz* der dritten AI-Generation orientieren. Auch vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass das sachgerechte Ontologieverständnis ein integriertes und universales ist, das der Informatik in gleicher Weise wie der philosophischen Kosmologie zugrundegelegt werden kann. Allerdings ist die Informatik dabei immer mit den Restriktionen der direkten praktischen Anwendung bzw. Anwendbarkeit konfrontiert, was die Philosophie nicht ist. Fehler in der Ontologiekonzeption sind für die Philosophie ohne schwerwiegende Konsequenz; für die Informatik mit Computern als "*Reality Machines*"

⁴⁸¹² Vgl. K. Patel (2013: 416) sowie Kujur/Chhetri (2015: 137).

und dem hochkomplexen Aufbau von ontologiebasierten Systemen hingegen zumeist schon. Das verhält sich bei Änderungen am Ontologieverständnis in analoger Weise: für die Philosophie sind solche Änderungen relativ problemlos, quasi *ad hoc* vollziehbar, wie es etwa mit Verweis auf Pkt. 6.1.3 anhand der verschiedenen Varianten des metaphysischen Kategoriensystems bei E.J. Lowe deutlich wird. Bei der *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik verhält sich dies jedoch völlig anders, insbesondere dann, wenn ein spezifischer TLO-Ansatz bereits in praxi angewendet wird: Dann bildet dieser in AI-Hinsicht die Referenzebene für alle Ontologien, während er in CM-Hinsicht als Artefakt mit zahlreichen anderen Artefakten verwoben ist, etwa in Bezug auf die Konzeption der *Enterprise Architecture* (EA) oder der Spezifikation von Modellierungsnotationen. Das impliziert bereits im theoretischen Zusammenhang ggf. folgenschwere Änderungsbedarfe; vor allem aber stellen grundlegendere Änderungen an der TLO-Konzeption sich in praxi zumeist als überaus problematisch dar. Darin besteht jedoch kein Argument gegen sondern vielmehr gerade für die *Top-level Ontologie*, was allerdings ihre eingehende Reflexion vor ihrem umfassenden praktischen Einsatz voraussetzt: Tatsächlich kommt keine Ontologie an den fundamentalen Ontologiefragen vorbei, und mit Blick auf etwaige Änderungsbedarfe ist entsprechende Klarheit zu schaffen, indem alle fundamentalen Sachverhalte nicht bloß *implizit* in den praktisch verwendeten Ontologien versteckt sein sollten, sondern *explizit* zu machen sind. Dazu aber sind alle elementaren Fragen der Top-level Ontologie zunächst eingehend in der erforderlichen Tiefe zu explizieren. Das gilt umso mehr, als im Hinblick auf zeitliche wie finanzielle Investitionen hier mit Pkt. 1.1 ein wesentliches *Lock-in-Problem* besteht.

Stellt bereits der Wechsel von Notationen in der Prozessmodellierung die Praxis vor große Probleme, sind diese unvergleichbar geringer zu jenen, die aus grundlegenden Änderungen *fundamentaler* ontologischer Aspekte resultieren. Denn diese betreffen vor dem Hintergrund der gesamten TLO-basierten *Smart Enterprise Architecture* (SEA) alle ontologiebasierten Systeme und Modelle. Daraus folgt, dass sich über das sachgerechte Ontologieverständnis und den richtigen Zuschnitt der Ontologiekonzeption mitsamt der Entscheidung hinsichtlich sämtlicher meta-ontologischer Kriterien nur dann qualifiziert sprechen lässt, wenn dabei die Frage der Zukunftsoffenheit hinreichend beachtet wird. Geht es um die meta-ontologische Spezifikation der Ontologie komplexer IoX-Systeme, ist evident, dass damit die *Superintelligenz* in Bezug auf CPSS/SEA-Systeme mindestens insofern intendiert ist, als ihre Realisierung nicht durch die unsachgerechte Disposition meta-ontologischer Kriterien von vornherein verbaut werden darf. Mit anderen Worten sind ihre Anforderungen zwingend zu reflektieren, womit die *Smart Enterprise Integration* (SEI) als strategischer Gesamtentwurf zu diskutieren ist, der durch Zukunftsoffenheit besticht.

Good (1965) eröffnet die Debatte um Superintelligenz lediglich in dem Sinne, dass er sich mit der Zeitspanne, in der ultra- bzw. superintelligente AI-Systeme verfügbar sind auseinandersetzt, jedoch nicht hinreichend mit der Frage, was solche Systeme überhaupt

konkret ausmacht. Zwar erweisen sich auch die AI-orientierten Intelligenzdefinitionen als heterogen, doch lassen sich zwei wesentliche Definitionsstränge unterscheiden. Zum einen steht etwa bei Legg/Hutter (2007) und weiteren Ansätzen die *Zielerreichung* im Vordergrund: »Intelligence measures an agent's ability to achieve goals in a wide range of environments«. ⁴⁸¹³ Zum anderen lässt sich Intelligenz an Newell/Simons (1963) *General Problem Solver* (GPS) festmachen, was insofern als sinnvoll zu erachten ist, als dieser menschliches Denken – und damit das Intelligenzvermögen – simuliert. Dann lässt sich *Intelligenz* mit Mainzer (2016c: 240) verstehen und messen anhand der *Problemlösungskompetenz*, womit sie sich mit Minsky (1986) als "*ability to solve hard problems*" verstehen lässt. AI-Systeme sind entsprechend als *Problemlösungssysteme* zu definieren. ⁴⁸¹⁴ Zwar werden beide Definitionsstränge sowohl in der AI-Disziplin als auch in der Philosophie miteinander verbunden; bei letzterer etwa, wenn die Funktion des zweckrationalen Handlungstyps, der allein *technischen Regeln* folgt, für Habermas (1968: 64) in der "Problemlösung" besteht. Denn darunter versteht Habermas eine in Zweck-Mittel-Relationen definierte Zielerreichung. Allerdings wird sich die Intelligenzmessung im Sinne von Minskys (1986) "*ability to solve hard problems*" auf dieser Basis unnötig kompliziert gestalten. Es bietet sich vielmehr an, die Zweck-Mittel-Relation so zu verstehen, dass sich der Intelligenzquotient auf die Anzahl der benötigten Schritte oder die erforderliche Zeitdauer bezieht, die zur *Problemlösung* erforderlich sind. In anderer Hinsicht erscheint die Symbiose beider Definitionsstränge schon sinnvoller, nämlich im Sinne zielstrukturierter Problemlösung, bei der die Problemlösungsschritte in den Kontext von Zielhierarchien gestellt werden. ⁴⁸¹⁵

An der Problemlösung und damit an der Entscheidungsfindung anzusetzen ist insofern aufschlussreicher bzw. aussagekräftiger, als Intelligenz nur dann etwas mit Zielerreichung zu tun hat, wenn dazu im Sinne Minskys (1986) hinreichend *schwierige Probleme* zu lösen sind. Also besteht darin der Kern der Sache, und nicht umgekehrt. Schwierige Probleme und damit die Intelligenzfrage können sich sowohl in Form *komplizierter Systeme* wie darüber hinausgehend gerade auch in Form *komplexer Systeme* darstellen, ⁴⁸¹⁶ indem zusätzlich zu ersteren noch die Eigendynamik mit einer hohen Vielfalt an Verhaltensmöglichkeiten bei dynamischen Beziehungen und unklaren Ursache-Wirkungszusammenhängen hinzukommt. ⁴⁸¹⁷ Auch der Umstand, dass Intelligenz und Lernen zusammenhängt, spricht für den Aspekt der Problemlösung, indem lernende Agenten primär ihre Problemlösungsfähigkeiten verbessern. Demgegenüber nähern wir uns mit dem damit zusammenhängenden Entscheidungsaspekt dem Umstand, dass *Superintelligenz* erst dann richtig verstanden ist, wenn sie in den ontologischen Kontext gestellt wird. Damit kommen wir erneut zu Newell/Simon zurück. Denn richtig begreifbar wird diese These erst dann, wenn

⁴⁸¹³ Vgl. Legg/Hutter (2007: 402), ohne Hvh. des Orig.

⁴⁸¹⁴ Vgl. etwa Thornton/Du Boulay (1998).

⁴⁸¹⁵ Vgl. hierzu etwa Rosenbloom/Newell (1986).

⁴⁸¹⁶ Vgl. dazu auch Le Moigne (1985).

⁴⁸¹⁷ Das gilt insbesondere für MAS- bzw. CAS-Systeme, deren Elemente wiederum *Agenten* sind.

mit Pkt. 3.5 die Trias von Problemlösung, Entscheidung und Rationalität beachtet wird. Dabei ist letztere mit H.A. Simon in das Spannungsverhältnis von *substantieller Rationalität* vs. *prozeduraler Rationalität* zu bringen, während wir darüber die Verbindung zu Newells (1982) *Knowledge Level* suchen. Denn dann ist evident, dass sich das Rationalitätskriterium unmittelbar mit dem *Stand des verfügbaren Wissens* verkoppelt zeigt.

Offensichtlich kommt in der ganzen Debatte um Superintelligenz eines der überaus wesentlichen Momente regelmäßig zu kurz, nämlich die zentrale Frage, wie sich die *adäquate* Wissensrepräsentation (KR) darstellt. Zweifellos hat Intelligenz nicht unmittelbar mit Wissen und damit auch nicht mit Ontologien zu tun; andererseits lässt sich jedoch nicht bestreiten, dass verfügbares Wissen die Problemlösungskompetenz auf eine ganz andere, höhere Ebene hebt. Wie unter Pkt. 1 und Pkt. 1.1 ausgeführt, hat sich die symbolische AI im Kontext von Ontologien in elementarer Weise weiterentwickelt, indem sie in der Verkopplung mit der Sensorik zum einen selbst auf eine perzeptive bzw. kognitive Basis gehoben worden ist, zum anderen SAW- bzw. CAW-Ontologien dezidiert Situationen und Kontexte berücksichtigt. Ohne Zweifel sind solche Systeme im Heideggerschen Sinne genauso *physisch* "in der Welt" bzw. "Teil" der Welt wie es ansonsten für *Embodied AI* (EAI) bzw. das emergentistische AI-Paradigma reklamiert wird. Mit anderen Worten gilt Brooks' (1991b: 139) "*real sensing and real action*" nunmehr in elementarer Weise auch für das alte Paradigma, wobei es einzig die Ontologien sind, die für alle fünf IoX-Subsysteme als tatsächlicher Kern zu erachten sind. Entsprechend muss es um die in Pkt. 1 umrissene dritte AI-Generation gehen, die jenseits V.C. Müller (2007) nicht mehr zwischen "old AI" oder "new AI" differenziert, sondern vielmehr von einer digital- bzw. prozessmetaphysisch verankerten AI-Disziplin ausgeht, die sämtliche AI-Szenarien grundzulegen versteht. Diese dritte AI-Generation baut mit Pkt. 4.2 auf dem Whiteheadschen *Subjekt-Superjekt* auf, das *perzeptiv* und in Abhängigkeit von der Agentenklasse darüber hinaus *kognitiv* ist, während jeder Agent mit CYPO FOX zugleich eine *interne Repräsentation* (W2) besitzt und mit Pkt. 3.5 in eine umfassende Ontologiearchitektur (W1, W3, W4) eingebunden ist. Es ist Whiteheads (1929a) Digitalmetaphysik, die mit ihrer hybriden Agentenarchitektur die allumfassende metaphysische Grundlegung der AI-Disziplin ermöglicht.

Mit der dritten AI-Generation wird ein Umdenken in Sachen der *Superintelligenz* erforderlich, indem ihr Selbstverständnis primär auf der Perspektive der zweiten AI-Generation, also der kognitiven AI-Tradition basiert. Um *Superintelligenz* auf der dritten AI-Generation zu begründen, ist es auf Basis ihrer hybriden Agentenarchitektur sinnvoll, in Bezug auf die Umwelt zwischen zwei Modi zu differenzieren, in denen die jeweiligen Situationen, Kontexte, Ereignisse und insgesamt die Adaption, die Systemsteuerung oder das Problemlösungsvermögen stehen. Hier bietet sich eine Differenzierung an, auf die in verschiedenen Disziplinen zurückgegriffen wird, nicht zuletzt bei *Evolutionären Algorithmen*.⁴⁸¹⁸ Venturini (1994) bezieht diese beiden Modi schließlich unmittelbar auf autonome

⁴⁸¹⁸ Vgl. etwa Crepinsek et al. (2013).

Roboter und die Adaption bei dynamischen Umwelten. Die beiden unterschiedlichen Modi besitzen ihre Relevanz etwa in Bezug auf die Problemlösung, Steuerungsmethoden oder Suchstrategien. Es handelt sich dabei um die Modi von *Exploitation* vs. *Exploration*, die sich im ersten Fall auf eine bekannte Umwelt, im zweiten auf eine unbekannte Umwelt bzw. auf externen Wandel beziehen. Wenn Intelligenz als Problemlösungskompetenz zu verstehen ist, dann ist in Bezug auf die externe Welt von einem ganzen Spektrum an Problemfällen und von unterschiedlichen Problemklassen auszugehen; es gibt Minskys (1986) "*hard problems*" und es gibt "*soft problems*", wobei der situative Kontext der externen Welt sich einmal auf eine bekannte Umwelt (*Exploitation*), und einmal auf eine unbekannte Umwelt (*Exploration*) bezieht. Im Fall der *Exploitation* ist von situativen Problemen auszugehen, für die Problemlösungsmuster nicht nur *ex ante* bestimmbar sind, sondern ein solches Procedere auch das einzig sinnvolle ist: Ereignisse bzw. Situationen einerseits und Regeln bzw. Prozeduren andererseits sind *ex ante* genau definierbar.

Diese Fälle können oftmals gar nicht im Sinne der "new AI" einstudiert werden; vielmehr gilt es, in Echtzeit auf bestimmte Situationen bzw. Ereigniskonstellationen zu reagieren. Zur Entsprechung von "*soft problems*" ist dann der ECA-Ansatz ausreichend, etwa wenn auf Basis eines einfachen Sensors unterschiedliche Prozesse bzw. Services automatisch gestartet werden. Demgegenüber sind "*hard problems*" hier etwa solche, in denen erst auf Basis unterschiedlichster Ereignisse bzw. Sensorinformationen auf eine Problemlage geschlossen werden kann; hier kommt dann insbesondere die CEP-Technologie als BDA-Ansatz zum Einsatz, und auch hier sind die Regeln *ex ante* definierbar. Im CEP-Sinne lassen sich in jeweils spezifischen Situationen somit eine ganze Kette von Prozessen auslösen. Solche AI-Szenarien, die sich genauso im Kontext komplexer Ereignisströme bewegen, bauen entsprechend gerade in der aktuellen Forschung nach wie vor auf der symbolischen AI, auf der formalen Logik, Regeln und insbesondere auf Ontologien auf.⁴⁸¹⁹ Im Fall der *Exploration* verhält es sich hingegen anders: Probleme bzw. Situationen der sich ewig wandelnden externen Welt sind nicht im Vorhinein bekannt, und das sind jene Fälle, in denen *Embodied AI* bzw. das emergentistische AI-Paradigma eine elementare Rolle spielt.

Vor dem Hintergrund von *Exploitation* vs. *Exploration* wird nochmals die Komplementarität von "Symbolic" und "Embodied" AI deutlich. Indem es ein einzelner Agent mit unterschiedlichen Arten von Umwelten zu tun hat, ist somit ihre Symbiose in Form der dritten AI-Generation im Sinne der weiter unten erörterten hybriden Agentenarchitekturen zu fordern. Wie in Pkt. 1.1 betont, ist sie in der Whiteheadschen organismischen Digitalmetaphysik auch angelegt. Somit ist offenbar auch Superintelligenz maßgeblich mit dem verfügbaren Wissen und der Fähigkeit zur Kombination verschiedenster Wissensressourcen zu assoziieren. Dass dem tatsächlich so ist, lässt sich mit einfachsten Mitteln, nämlich mit dem *Turing Test*, aufzeigen.⁴⁸²⁰ Das gilt auch dann, wenn *Ontologien* bei Turing (1950)

⁴⁸¹⁹ Vgl. etwa Cugola/Margara (2010).

⁴⁸²⁰ Vgl. hierzu R.M. French (1996), Whitby (1996) sowie ergänzend D.S. Robertson (1999).

noch keine Rolle spielen, indem sie erst siebzehn Jahre später mit Mealy (1967) in die Informatik eingeführt werden. Entgegen dem oben dargelegten AI-Intelligenzverständnis macht Turing (1950) dieses noch am einfachen *Antwortverhalten von Computern* fest. Mit Anwendungen etwa in *Semantic Search Engines* (SSE) steht außer Frage, dass sich die Qualität des Antwortverhaltens auf Basis semantischer Netze und insbesondere auf Basis von Ontologien in exorbitanter Weise steigern lässt. Gerade deshalb, also um das Antwortverhalten zu verbessern, werden sie in solchen Systemen eingesetzt. Daraus folgt, dass auf Basis von Turings AI-Intelligenzverständnis festzustellen ist, dass Ontologien die AI-Intelligenz als solche zwar nicht allein ausmachen, doch sie ganz wesentlich erhöhen.

Wenn Pisanelli et al. (2002: 125) postulieren: »no computerized systems in this century will ever be designed without an ontological approach«, und sich dies unmittelbar auf die *Smart Enterprise Integration* und damit auch auf die *Smart Factory* bezieht, ist diese These ebenfalls zutreffend. Denn wenn wir fragen, worin die "Intelligenz" des *Smart Enterprise* bzw. der *Smart Factory* eigentlich besteht, dann endet die Suche letztlich immer in den Ontologien, und im Sinne der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im IoT-produktzentrischen Integrationsparadigma des U-PLM-Referenzszenarios. Zwar wird mit Pisanelli et al. (2002) kaum jemand mehr den zentralen Stellenwert von Ontologien in der Informatik bestreiten; doch ist ihre ontologische Revolution damit noch lange nicht verstanden. Das lässt sich unmittelbar am landläufig in der Informatik gemutmaßten Stellenwert der *Top-level Ontologie* ablesen, deren Funktion als oberster Ontologieebene der Disziplin ohnehin kaum begriffen ist. Denn es geht mit Castel (2002) um nicht weniger als um eine neue Form von *Computing*, die gerade in der Agentenbasiertheit eines CPS- wie MAS/CAS-adäquaten Ontologieverständnisses "beyond the human one" ist. Es ist das *Ontological Computing*, das die *Superintelligenz* erst tatsächlich eröffnet: "[t]his will revolutionize [...] computer science".⁴⁸²¹ Wie eingangs des ersten Teils gesagt, führt dabei die ontologische Revolution der Informatik allein über die *Top-level Ontologie*, ohne die ein *Ontological Computing* bei Computern als *Reality Machines* im Sinne von McCarthys (1995) "general world view" unmöglich ist.

In der AI-Disziplin steht Brachmans (1979) *Epistemological Level* genauso außer Frage wie Newells (1982) *Knowledge Level*; dass Guarinos (1994) *Ontological Level* noch hinzukommt, welcher mit Guarino (1998) auf die *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene referenziert, ist hingegen keinesfalls ausgemacht. Tatsächlich werden *Ontologien* im Kontext der *Superintelligenz* bisher kaum berücksichtigt,^{4822, 4823} worin ein grundlegender Defekt besteht. Das lässt sich sehr einfach begründen, wenn näher hinterfragt wird, was Minsky (1986) überhaupt mit hinreichend *schwierigen Problemen* meint. Das sind in Wirklichkeit relativ triviale Probleme, wenn man sie mit der menschlichen Problemlö-

⁴⁸²¹ Vgl. Castel (2002: 30), Hvh. des Verf.

⁴⁸²² Vgl. exemplarisch Waltz (1988), Warwick (1997), Legg (2008), Bostrom (2014) sowie Sowa (2014).

⁴⁸²³ Das gilt auch dann, wenn es Ausnahmen gibt, die etwa mit Soares/Fallenstein (2014) bzw. Soares (2015a, 2015b) den zentralen *Stellenwert von Ontologien bei Superintelligenz* zumindest thematisieren.

sungskompetenz bei schlechtstrukturierten Problemen vergleicht, indem es bei Minsky um Prozesse wie »building towers or playing chess« geht.⁴⁸²⁴ Denn darin bestehen "*hard problems*", die zwar etwas mit *praktischer* Problemlösung zu tun haben, nicht jedoch mit jener auf *technologischer* bzw. *wissenschaftlicher* Ebene. Auf dieser praktischen Ebene ist *AI-Superintelligenz* im Grunde bereits heute gegeben, indem maschinelle Agenten – mit digitaler Optik bzw. Sensorik ausgestattet – etwa bei der Mustererkennung und allen damit zusammenhängenden analytischen Prozessen in komplexen Kontexten bereits eine exorbitante Überlegenheit gegenüber natürlichen Agenten besitzen. Diese wesentliche Differenzierung der Problembereiche bzw. -ebenen wird in der Debatte um Superintelligenz kaum beachtet, ist jedoch im Sinne des Superintelligenzverständnisses bei D.J. Chalmers (2010) zentral. Wenn also davon die Rede ist, dass Computer *Superintelligenz* aufweisen, müssen sie auf allen drei Ebenen der natürlichen Intelligenz überlegen sein. Im Folgenden wird deutlich werden, dass dies zwar auf praktischer Ebene mit anderen KR-Methodiken als Ontologien möglich ist, jedoch nicht auf der eigentlich entscheidenden technologischen bzw. wissenschaftlichen Ebene. Geht es um Superintelligenz auf technologischer bzw. wissenschaftlicher Basis, kommt die AI-Disziplin in keiner Weise an *Ontologien* vorbei.

Es ist das *externe Wissen* in Kombination mit dem ontologisch repräsentierten *internen Wissen* wie die *fundamentalen Weltmodelle*, insbesondere jenem der Realität, die menschlicher Intelligenz den großen Vorteil gegenüber Künstlicher Intelligenz sichern. Solange AI-basierte Systeme nicht diesen direkten Zugriff auf das *externe, objektive technologische bzw. wissenschaftliche Wissen* besitzen, können sie auch in Problemlösungshinsicht menschliche Intelligenz nicht übertreffen. Es sei an dieser Stelle zum einen nochmals auf den Gedanken der *Scientific Ontologies* bei H.A. Simon (1995a) verwiesen. Zum anderen mit Langley/Simon et al. (1987) auf den Gedanken der AI-basierten *Scientific Discovery*; denn das ist genau das worauf es ankommt, wenn sie Poppers (1959) *Logic of Scientific Discovery* auf die AI-Basis stellen. Die Resultate bestehen dann in einer *Semantic E-Science*, die auf *Scientific Ontologies* wie – exemplarisch – jenen der erwähnten OBO-Foundry basiert. Mit *Scientific Discovery* ist dann mehr gemeint als dass Agenten auf SWT-Basis solche *Scientific Ontologies* nutzen; vielmehr werden sie diese in kooperativen MAS-Strukturen selbst aufbauen, rigoros analytisch hinterfragen und systematisch weiterentwickeln. Erst wenn das Problemlösungsvermögen maschineller Agenten auch auf dieser *technologischen* bzw. *wissenschaftlichen* Ebene im Sinne Chalmers' (2010) jenes der menschlichen Pendanten wesentlich übersteigt, wird man die Existenz von AI-Superintelligenz akzeptieren müssen. Allerdings steht dann vor allem die explizite Wissensrepräsentation bzw. symbolische Systeme im Fokus, indem es um den Zugang wie die Frage sofortiger *Exploitation allen Weltwissens* geht. Das *Learning from Scratch* (LfS) wie die diversen Lernstrategien spielen dann allein in der Verknüpfung von expliziter und impliziter Reprä-

⁴⁸²⁴ Vgl. Minsky (1986: 76).

sensation eine Rolle. Damit ist Superintelligenz allein Sache integrierter intelligenter Systeme bei kooperativer MAS-Intelligenz, nicht Sache einzelner Roboter.

Damit wird die Debatte um Superintelligenz erst auf Grundlage genau jener Aspekte entscheidbar, die Langley/Zytkow et al. (1986) bzw. Langley/Simon et al. (1987) gar nicht thematisieren, nämlich auf Basis des gesamten, in Pkt. 3.3.1 behandelten *Systems von Ontologien*, der *Transdisziplinarität* und damit der *Top-level Ontologie* als "*common formal framework*". Es kommt nicht allein auf Lernalgorithmen an, sondern genauso auf den Zugriff, die direkte Verarbeitbarkeit und umfängliche Kombinierbarkeit externer Wissensbasen. Damit wird deutlich, dass das eigentliche Potential für Superintelligenz in der *Top-level Ontologie* gegeben ist. Das liegt zum einen daran, dass sich allein über diese McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" von AI-Systemen entscheiden lässt. Zum anderen eröffnet eine universale *Top-level Ontologie* das Transdisziplinaritätsmoment, womit es für AI-Systeme möglich wird, die externen Wissensbasen beliebig zu kombinieren und auszuwerten. Es steht außer Frage, dass genau hier die Crux der Sache liegt, wenn es um techno-wissenschaftliche Problemlösungsprozesse geht. Auf den Punkt gebracht impliziert *Superintelligenz* die *Top-level Ontologie*, während umgekehrt gilt, dass diese nur dann als *zukunfts offen* zu werten ist, wenn sie *Superintelligenz* auf allen drei genannten Problemebenen eröffnet und sie nicht systematisch verbaut. Mit Mainzer (2016b) ist die Diskussion um Superintelligenz differenzierter zu führen; auf Basis leistungsfähiger Rechner, Ubiquitous Computing, und CPS, die in der Sensorik etwa auf Hochleistungsoptik und dergleichen mehr beruht, gilt Mainzers erste These von der "schnellen Superintelligenz". Bereits bei holonischen IoX-Systemen können *Supervisor Holons* (SH) um ein vielfaches schneller globale Optimierungen von CPPS durchführen als Menschen. Mit Computern als *Reality Machines* in CPS-Kontexten gilt dies nicht nur für die reine Rechenleistung, sondern für globale cyber-physische Optimierungen, die Daten physischer Multisensorsysteme miteinbeziehen. Mit solchen Architekturen Holonischer Multiagentensysteme (HMAS) ist Mainzers erste These im Sinne der weiter unten erwähnten kombinativen Verschaltung von Agenten mit seiner zweiten These der "kollektiven Superintelligenz" zu verkoppeln. Maschinelle Agenten als Teilsysteme können nämlich bereits mehr leisten als Menschen, was unmittelbar mit Castels (2002) *Ontological Computing* zu tun hat, wenn man dies im transdisziplinären TLO-Sinne CPS-basierter *Reality Machines* versteht. Hochsensible Sensorik, intelligente Aktorik und vernetzte MAS-Strukturen komplexer IoX-Systemen werden auf dieser ontologischen Grundlage im Wechselspiel mit der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) und AI-basierten Computerexperimenten alle Voraussetzungen erfüllen, um schließlich auch Mainzers (2016b: 208) dritte These der "neuen Superintelligenz" eintreten zu lassen. Demnach weisen AI-Systeme neue intellektuelle Fähigkeiten auf, die Menschen nicht im Ansatz besitzen.

Ontologien werden im Grunde in allen Domänen von Wissenschaft, Technologie und Praxis eingesetzt; dabei lassen sich diese Domänen nicht mehr isoliert verstehen, sondern

stehen mit der Relationalität der verschiedensten komplexen Systeme in einem grundsätzlichen Zusammenhang. Natürlich besteht in der Differenzierung von Diskursuniversen ein künstlicher Schritt; tatsächlich ist es *ein* Universum, *ein* Automaten-, Regel- oder *prozessuales Strukturuniversum*. Insofern verweisen auch die vier Welttypen auf ein "*common formal framework*". Somit gibt es auch etwas wie die Einheit der Erkenntnis, die erst das Ziel der *Einheit des Wissens* impliziert, dem wiederum eine transdisziplinäre Ontologiekonzeption verpflichtet ist. Es steht außer Frage, dass diese Gedanken gänzlich untypisch sind, wenn es um die Ontologie der Informatik geht, indem man etwa den Gruberschen Maßstab anlegt. Doch tatsächlich lässt sich die Frage der Ontologie der Informatik allein unter diesen kosmologischen Gesichtspunkten adäquat diskutieren. Das wird von dem Moment an klarer, in dem breitere Reihen der Disziplin die Einsicht gewinnen, dass die Ontologie der Informatik in "*nontoy worlds*" allein *cyber-physische Ontologie* sein kann. Und wenn man diese in universaler Weise konzipieren will, dann muss man zurück zu den Anfängen der Disziplin, dann muss man zurück zu Leibniz und vor allem zu Whitehead.

Indem allein die Whiteheadsche Ontologiekonzeption eine techno-wissenschaftliche Natur aufweist, ist sie tatsächlich integrativ. Auf dieser Grundlage erschließt sich mit CYPO FOX im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* das gesamte Integrationspotential. Und es ist dieses, das in einer cyber-physischen Ontologiekonzeption zu erschließen ist, wenn intelligente CPS in Raumzeit unter prinzipieller Einzugsmöglichkeit sämtlicher Wissensressourcen bzw. Wissensarten und ihrer Kombination autonom entscheiden. Von diesem Ende her ist eine zukunfts offene CPSS-adäquate Ontologiekonzeption zu denken und von diesem Ende her wird sie in der CYPO-Architektur konzipiert. Dabei lässt sich die damit zusammenhängende Debatte um *Superintelligenz* in einer ontologischen Abhandlung darauf beschränken, dass Entscheidungsautonomie im Kontext einer integrierten metaphysischen Wissensontologie das Treffen von *bestmöglichen Entscheidungen* sicherstellen muss. Das impliziert wiederum eine umfassende Kombinierbarkeit von Wissensressourcen (z.B. verschiedenste Gegenchecks) sowie die bestmögliche Abstimmung von metaphysischer Ontologie und Wissensontologie. Alles andere wäre für eine AI-Ontologiekonzeption im Kontext autonomer CPS dysfunktional.⁴⁸²⁵ Diese bestmöglichen Entscheidungen in unvorhersehbaren Situationen evolvierender realweltlicher Kontexte ist allein dann zu bewerkstelligen, wenn die ontologische Architektur entsprechend gestaltet ist: Komplexe ontologische Anwendungs- und Integrationsszenarien zeigen, dass eine ontologische Konzeption dann überzeugt, wenn sich verschiedenste Ontologien unterschiedlichster Bereiche aus dem Stehgreif beliebig miteinander kombinieren lassen, wie es der Grundgedanke der CYPO-Architektur ist.

Nicht zuletzt im Kontext der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wird deutlich, dass *Superintelligenz* in einer Reihe von Hinsichten enorme Vorteile bringen wird, was vor allem mit der wachsenden Komplexität der Systeme zu tun hat. Anhand des U-PLM-Referenz-

⁴⁸²⁵ Es steht außer Frage, dass damit zahlreiche weitere, *nicht-ontologische* Fragen verbunden sind.

szenarios wird ersichtlich, dass *Closed-loop U-PLM-Systeme* und ähnlich integrative hochkomplexe Systeme auf Basis natürlicher Intelligenz operativ nicht mehr beherrschbar sind, wenn vollumfängliche semantische Interoperabilität in der *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu realisieren ist. Das ist schon allein der Vielzahl an Sensoren in Multisensorsystemen sowie der immensen Zahl an auftretenden Ereignissen geschuldet, die im Zuge der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) die weiterhin stark zunehmende Rechnerleistung tatsächlich auch benötigen. Superintelligenz ist in PLM-relevanten Industrien bei kritischen Prozessen insofern von elementarer Bedeutung, als sich mit ihrer Hilfe Probleme aufdecken und automatisch lösen lassen, die für menschliche Agenten nicht ohne weiteres erkennbar bzw. lösbar sind. Beispielsweise kann *Superintelligenz* der dritten AI-Generation im Engineering komplexer Produkte etwa in der Luft- und Raumfahrtindustrie helfen, Probleme bereits in den PEP-Phasen des Produktlebenszyklus aufzudecken. Das beschränkt sich keineswegs auf die bereits übliche Simulation technologischer Designalternativen unter realen Kontextbedingungen, sondern eröffnet vor allem dahingehend große Potentiale, indem praktische, technologische und wissenschaftliche Ontologien umfassend miteinander verknüpft werden. Nahezu sämtliche PLM-relevanten Industrien eröffnen diese Potentiale, indem ihre komplexen Produkte in der praktischen Realisierung im Allgemeinen ein Wechselspiel von technologischer Lösung und wissenschaftlicher Erkenntnis verlangen bzw. nahelegen. Die datenbasierte Problemaufdeckung der Digital Analytics lässt sich neben der BOL-Phase vor allem aber in der MOL-Phase nutzen,⁴⁸²⁶ indem sich die Wartung komplexer Produkte mit BDA-Technologien auf die Basis des industriellen *Prognostics and Health Management* (PHM) stellen lässt.⁴⁸²⁷ Wartungsbezogene KPI wie die *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) werden auf diese Weise aussagekräftiger.⁴⁸²⁸ Die Intelligenz AI-basierter Systeme ist in solchen Fällen von vorhersagender Funktion (z.B. Predictive Robot Maintenance). Insofern es sich dabei hier um Produkte wie dort um Ressourcen in Prozessen handeln kann, bezieht sich die *Superintelligenz* der dritten AI-Generation auf alle drei in Pkt. 2.5 behandelten PPR-Dimensionen, die ontologisch die gleiche CPSS-adäquate wie IoX-basierte SEA-Infrastruktur voraussetzen. Diese MOL-Prozesse bilden dabei im PSS-Sinne einen integrierten Teil des *Closed-loop U-PLM* als Referenzszenario,⁴⁸²⁹ wobei die *Servicization* des U-PLM-Ansatzes im Allgemeinen wie einzelner Phasen wie der Fertigung im Besonderen im PSS-Sinne die prinzipielle Inkorporation des SLM- in den U-PLM-Ansatz bedeutet.⁴⁸³⁰ Wie im ersten Teil erwähnt, bedeuten IoX-basierte MOL-Phasen insgesamt, dass *Service Intelligence* und *Service Science* einen neuen Stellenwert erlangen. Neben den BOL- und MOL-Phasen ist die ontologiebasierte

⁴⁸²⁶ Vgl. hierzu ergänzend Mahut et al. (2016).

⁴⁸²⁷ Vgl. etwa Zio (2013) sowie Lee/Kao/Yang (2014).

⁴⁸²⁸ Vgl. etwa Lee/Lapira et al. (2013).

⁴⁸²⁹ Vgl. Cerri/Terzi (2016); vgl. exemplarisch zur *industriellen Wartung* R. Roy et al. (2013).

⁴⁸³⁰ Vgl. Baines et al. (2007), Lightfoot et al. (2013) sowie Mahut et al. (2016).

Digital Analytics schließlich für die EOL-Phase nicht minder wichtig, etwa indem sich ein präventives Risikomanagement via datenbasierter Problemaufdeckung realisieren lässt.⁴⁸³¹

Nicht nur für Minskys (1986) "*hard problems*" im Sinne praktischer Probleme, sondern auch für das Problemlösungsvermögen auf höheren Ebenen, konkret auf der technologischen oder wissenschaftlichen Ebene, ist *maschinelles Lernen* notwendig. In welchem Maße dies gelingen kann, ist dabei wesentlich durch die Art bzw. Mächtigkeit der *Wissensrepräsentation* (KR) bestimmt. Für diese ist die Differenzierung zwischen (i) *expliziter* und (ii) *impliziter* Repräsentation zentral; erste (i) vollzieht sich in Gestalt der klassischen *symbolischen Systeme* (symbolische Architekturen), zweite (ii) in Form der *subsymbolischen Systeme* (emergente Architekturen), wobei gilt:

»Symbolic architectures which use declarative knowledge included in relations recorded at the symbolic level, focusing on the use of this knowledge to solve problems. [...] Emergent architectures using signal flows through the network of numerous, mutually interacting elements, in which emergent conditions occur, possible to be interpreted in a symbolic way.«⁴⁸³²

Demgegenüber gibt es drittens (iii) *hybride Architekturen*, die die symbolischen und emergenten Architekturen kombinieren, wobei dies auf verschiedenste Weise möglich ist. Schließlich sind diese in vernetzten Umgebungen viertens (iv) als *heterogene Architekturen* zu verstehen, d.h., dass sich diese nicht allein auf einzelne Agenten beziehen, sondern auf *Multiagentensysteme* (MAS), die i.d.R. auf Basis *heterogener* Agenten operieren.

Ad (i) ist festzustellen, dass die *symbolische Repräsentation* den ältesten Ansatz darstellt, der sich entsprechend bereits in den AI-Anfängen findet. Die KR-Methoden beginnen dabei anfänglich mit *Regeln* bzw. *Produktionsregeln regelbasierter Systeme*, die oftmals als *AI-Produktionssysteme* bezeichnet werden.^{4833, 4834} In den 1960er Jahre kommen mit Quillian (1966, 1968) *semantische Netze* hinzu;⁴⁸³⁵ mit McCarthy/Hayes (1969) kommt die epistemologische bzw. metaphysische Dimension hinzu und damit implizit die Ontologie im metaphysischen Sinne; in den Folgejahren bis heute wird das ebenfalls auf McCarthy/Hayes (1969) zurückgehende und unter Pkt. 1 behandelte *Frame Problem* in seinen verschiedensten Akzentuierungen debattiert.⁴⁸³⁶ Während für McCarthy (1977: 1044) das eigentliche Ziel in *realistischen* statt empiristischen AI-Programmen gesehen wird und die Problematik seines Situationskalküls letztlich vor diesem Hintergrund zu sehen ist,⁴⁸³⁷ gibt es in dieser ersten AI-Generation mit Genesereth/Nilsson (1987) auch Ansätze formaler Logik, die explizit *nichtrealistisch* ausgelegt sind und den Situationskalkül inklusive der Modallogik entsprechend abstrakt verstehen. Inwiefern die GOFAI-Problematik gegeben ist, hängt also nicht mit der Frage zusammen, ob es um formale Logik geht, sondern in-

⁴⁸³¹ Vgl. Chakpitak et al. (2016).

⁴⁸³² Hernes (2015: 196).

⁴⁸³³ Vgl. etwa Nilsson (1980: Ch. 1 ff.) sowie Schalkoff (2011: Ch. 6 ff.).

⁴⁸³⁴ Eine spezielle Form regelbasierter Systeme bilden die [*Learning*] *Classifier Systems* (LCS), vgl. hierzu Holland (1986) sowie Holland et al. (1986).

⁴⁸³⁵ Vgl. hierzu ergänzend Coppin (2004: 29 ff.) sowie N.J. Nilsson (2010: 205 ff.).

⁴⁸³⁶ Vgl. P. Hayes (1973, 1985d); vgl. ergänzend N.J. Nilsson (1991: 49 f.; 2010: 207 ff.) sowie Coppin (2004: 32 ff.).

⁴⁸³⁷ Vgl. etwa McCarthy (1963b, 2000), McCarthy/Hayes (1969) sowie P. Hayes (1977).

wieweit hier der Realitätsbezug gegeben ist, was im Leibniz-Whiteheadschen Sinne auf den Perzeptionsgedanken hinausläuft. Analoges gilt für die Ontologien als KR-Methode,⁴⁸³⁸ indem diese in der *linguistischen* Variante Grubers (1993, 1995) unmittelbar auf Genesereth/Nilssons (1987) fehlendem Realitätsbezug aufbauen, während sie bei Mealy (1967) im Rekurs auf Quine mindestens *empiristisch* verstanden werden und bei McCarthy/Hayes (1969) bzw. McCarthy (1995) letztlich realistisch. Dann jedoch ist ihr Verständnis im Sinne des *Common Sense* bei P. Hayes (1979, 1985a) letztlich nicht ausreichend. Denn sie werden weder dem kosmologischen Aspekt noch der erforderlichen cyber-physischen Informationsdichte gerecht. In fundamentaler Hinsicht bedürfen sie der *Top-level Ontologie*,⁴⁸³⁹ indem Ontologien letztlich immer, mindestens implizit, kategorial verankert sind.

Ad (ii) ist zu konstatieren, dass das Aufkommen der *subsymbolischen Systeme* bzw. der emergenten Architekturen vor allem damit zusammenhängt, dass die etwa bei Nilsson (1980) noch bemühten rein symbolischen Systeme bei der Mustererkennung bzw. kognitiven Robotik an ihre Grenzen stoßen. Tatsächlich steht mit der unter Pkt. 3.5 mit Mainzer (1999c: 1310) erwähnten *starken Agententechnologie* außer Frage, dass Superintelligenz auch solche *subsymbolischen Systeme* voraussetzt, wenn es um kognitive Aspekte wie Perzeption oder ereigniszentrierte Mustererkennung, wenn es um kreative Prozesse geht. Haugeland (1985) spricht bei diesen *deliberativen Architekturen* deshalb von *Good Old-Fashioned Artificial Intelligence* (GOFAI), und sie geraten ins Hintertreffen. Brooks (1986) lehnt symbolische AI-Ansätze ab und stellt ihnen seine Subsumptionsarchitektur entgegen,⁴⁸⁴⁰ in der die bekannteste Architektur reaktiver Agenten besteht. Auf Basis dieser Architektur lassen sich reaktive Controller aus einer erweiterten Variante von *Finite-state Machines* (FSM) assemblieren,⁴⁸⁴¹ den sogenannten *Augmented Finite State Machines* (AFSM).⁴⁸⁴² Dabei besteht die Erweiterung darin, dass in FSM interne Zeitgeber (Uhren) eingesetzt werden. Zwar geht es auch bei Brooks um *Computer als Reality Machines*, allerdings ist dabei zu beachten, dass die Agentenarchitektur speziell im Kontext *autonomer Robotik* steht. Die Frage der Agentenarchitektur ist natürlich im mobilen CPS-Sinne (z.B. PEID) vor allem auch auf diesen Aspekt auszurichten. Doch ist bei integrierten Systemen ein *universales* Konzept einer Agentenarchitektur im Zeichen der gesamten *Enterprise Architecture* (EA) erforderlich. Damit wird deutlich, dass Agenten autonomer Robotik in einer intelligenten integrierten Architektur (SEI) nur einen Aspekt von vielen darstellen. Dass die Agentenarchitektur genauso wie die Ontologie bzw. Top-level Ontologie immer universal zu denken ist, offenbart entsprechend die Cyc-Ontologie, die durch sämtliche Agentenklassen nutzbar ist. Indem in integrierten Systemen all diese Systeme miteinander vernetzt sind, benötigen sie die gleichen fundamentalen Weltmodelle, insbesondere bzgl.

⁴⁸³⁸ Zu weiteren KR-Methoden vgl. etwa Coppin (2004: 27 ff.).

⁴⁸³⁹ Vgl. Guarino (1995, 1998).

⁴⁸⁴⁰ Vgl. hierzu auch Brooks (1991b).

⁴⁸⁴¹ Vgl. Brooks (1986).

⁴⁸⁴² Vgl. Brooks (1991d).

der Realität. Die autonome Robotik als *Reality Machine* wird bei Brooks jedoch vollkommen anders gedacht, was zwar im speziellen Fall sinnvoll erscheinen mag, sich jedoch nicht für eine generelle Festlegung in Fragen der Agentenarchitektur universalisieren lässt.

Brooks' Argumentation läuft auf die These hinaus, dass intelligente Maschinen die reale Welt nur dann tatsächlich verstehen können, wenn sie mit dieser im Sinne der Perzeption bzw. Kognition vermittels ihrer Sensorik interagieren. Das Wissen über die Realität wird also im Sinne des LfS-Paradigmas auf Basis von *Artificial Neural Networks* (ANN) *inkrementell* aufgebaut,⁴⁸⁴³ womit es sich um eine implizite Wissensrepräsentation bei reaktiver Architektur handelt. Im Sinne der GOFAI-Kritik wird nach Meinung Brooks' als prominentestem Kritiker symbolischer AI intelligentes Verhalten entsprechend ohne die explizite symbolische Repräsentation und abstrakte Schlussfolgerungen erreichbar. Das läuft bei Brooks konsequenterweise darauf hinaus, das für Agententheorien klassische Rationalitätsmoment, wie es mit H.A. Simon und anderen in Pkt. 3.5 umrissen wurde und etwa durch S.J. Russell (1989) zugrundegelegt wird, zu verwerfen. Brooks verfolgt stattdessen einen verhaltensbasierten Ansatz, der seiner Meinung nach sehr viel enger im Geiste biologischer Systeme steht:^{4844, 4845}

»Real biological systems are not rational agents that take inputs, compute logically, and produce outputs. They are a mess of many mechanisms working in various ways, out of which emerges the behavior that we observe and rationalize.«⁴⁸⁴⁶

Entsprechend ist *Intelligenz* nach Brooks als emergente Eigenschaft komplexer Systeme (ANN) zu verstehen. Im Gegensatz zu den alten, grundlegenden ANN-Ansätzen von McCulloch/Pitts (1943) oder Neumann (1958) geht es bei den modernen ANN-Ansätzen in zentraler Weise um maschinelles Lernen.⁴⁸⁴⁷ Relevanz haben etwa selbstlernende Algorithmen, *Deep Learning* (DL) bzw. *Deep Belief Networks* (DBN), die in verschiedenen ANN-Varianten untersucht werden.^{4848, 4849} Bei den Lernalgorithmen geht es zwar sowohl um das *Learning from Scratch* (LfS) wie um das *Continual Learning*,⁴⁸⁵⁰ doch ist das LfS-Paradigma daher von besonderem Interesse, indem es gilt, den Lernprozess *als solchen* zu verstehen. Vor diesem Hintergrund wird nachvollziehbar, dass deliberative Aspekte ein-

⁴⁸⁴³ Vgl. hierzu etwa T.M. Mitchell (1997: Ch. 4).

⁴⁸⁴⁴ Vgl. hierzu kritisch N.J. Nilsson (1991) sowie S.J. Russell (1997).

⁴⁸⁴⁵ Auch diese AI-Debatte ist im größeren – mitunter wiederum philosophischen – Zusammenhang zu sehen; sie steht nämlich im Zeichen des Streits um die Darwinsche Evolutionstheorie; Spector (2006) differenziert entsprechend zwischen zwei AI-Verständnissen, nämlich dem (symbolischen) *"intelligent design"* bzw. *designorientierten* AI-Forschern auf der einen, und (subsymbolischen) *evolutionsorientierten* AI-Forschern auf der anderen Seite. Spector (2006: 1253) bringt eine Kombination von beidem ins Spiel; auf jeden Fall steht für ihn fest: »In any event the prevailing assumption that general artificial intelligence can only be (or should only be) designed by intelligent human designers is flawed and should be rejected«, was er als *"pre-Darwinian assumption"* einstuft. Tatsächlich ist eine solche Kombination im Sinne der einzig wegweisenden *Hybrid-Architektur* unerlässlich.

⁴⁸⁴⁶ Brooks (1991c: 14).

⁴⁸⁴⁷ Vgl. T.M. Mitchell (1997) sowie Thrun/Pratt (1998).

⁴⁸⁴⁸ Hierzu gehören *Feedforward Neural Network* (FNN) bzw. die mächtigeren *Recurrent Neural Network* (RNN), etwa *Supervised Long Short-Term Memory* (LSTM) RNN.

⁴⁸⁴⁹ Vgl. hierzu etwa Schmidhuber (2015); vgl. ergänzend N. Jones (2014).

⁴⁸⁵⁰ Vgl. etwa M.B. Ring (1998).

schließlich Ontologien nicht von Interesse sind, indem es bei ANN-Ansätzen darum geht, berechenbares Verhalten anzutrainieren.

Brooks' Argumentation ist im Fall trivialer Robots haltbar, im Ganzen von Haeckels (1995, 1999) im zweiten Teil erörterten *Sense-and-Respond Model* ist sie jedoch falsch. Dabei steht außer Frage, dass das LfS-Paradigma seine Berechtigung besitzt, indem jeder intelligente Agent lernt um sein *Belief System* fortzuentwickeln. Ein autonomer Robot als *Reality Machine* entdeckt seine unmittelbar gegebene *lokale* Umwelt im Sinne Brooks' selbst. Wie diese lokal im Detail konditioniert ist, lässt sich natürlich in keinem globalen Modell vorausbestimmen. Andererseits aber gibt es viele Aspekte, die nicht über das lokale Modell im Sinne Brooks' erlernbar sind, womit das globale Modell das fundamentale ist. Der autonome Robot wird über die Interaktion mit seiner begrenzten lokalen Umwelt im Allgemeinen nicht zu jenen Schlüssen gelangen können, die für das globale Weltmodell maßgeblich sind. Das gilt insbesondere dann, wenn die Erkundung der lokalen Umwelt auch noch aus verschiedensten Gründen beschränkt ist. An ein globales Weltmodell als Realitätsmodell, das im Zeichen des *Ratio-Empirismus* deduktiv auf Basis der Relativitätstheorie, der Quantenmechanik oder anderer relevanter techno-wissenschaftlicher Erkenntnisse entwickelt wird, kommen solche lokal-induktiven Weltmodelle natürlich nicht heran. Das wiederum hängt mit dem Induktionsproblem zusammen.

Wie oben dargelegt, sucht Bostrom (2006: 11) *Superintelligenz* zwar auch explizit im Bereich der "scientific creativity" sowie "general wisdom" zu adressieren, jedoch werden alle damit zusammenhängenden Fragen weder hier noch bei Bostrom (2014) adressiert. Die Wissenschaft als Ganzes spielt also gar keine Rolle, wenngleich die eigentliche *Superintelligenz* gerade hier, also im techno-wissenschaftlichen Bereich, und nicht etwa im praktischen Problemlösen zu verorten ist. Das gilt gerade im Hinblick auf die entscheidende *Quality Superintelligence* bei Bostrom (2014). Entsprechend ist das hier dargelegte Verständnis von Superintelligenz der dritten AI-Generation letztlich in wesentlichen Teilen ein gänzlich anderes als jenes bei Bostrom. Von Poppers (1972a) *Objective Knowledge* ist bei Bostrom keine Rede, wenngleich dieses für die Aspekte der "scientific creativity" sowie "general wisdom" sicherlich elementar ist, selbst wenn man eine zu Popper disparate Position bezöge. Es geht bei ihm auch nicht um die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik bzw. um Whiteheads techno-wissenschaftliche Metaphysik, die mit ihrem Ratio-Empirismus die Durchgängigkeit zur Physik, namentlich zur "*New Physics*" bzw. Cyber-Physik eröffnet. Von all dem ist bei Bostrom (2006, 2014) keine Rede. Gleiches gilt für McCarthys (1995) "*general world view*" wie für das Transdisziplinaritätsmoment, das für die *Einheit der Erkenntnis*, die *Einheit der Wissenschaften* sowie die *Einheit allen Wissens* elementar ist. Alle eigentlichen Grundfragen werden deshalb nicht sachgerecht gestellt, weil Bostrom (2006, 2014) die Debatte um die Superintelligenz nicht von der Metaphysik her eröffnet; die Argumente sind keine metaphysischen und damit auch keine ontologischen bzw. epistemologischen Argumente.

Selbst wenn man Superintelligenz im Sinne des traditionellen subjektbezogenen Intelligenzverständnisses strikt auf ein einzelnes Elektronenhirn bzw. einen Computer bezöge, wären die Strukturaspekte des CPST- bzw. IoX-Hyperspace von Relevanz. In diesem Extrem ginge es dann um einen Zentralrechner mit einer exorbitant großen Zahl an lokal gestreuten Sensoren, in etwa wie bei einem perzeptiven Krakenwesen. Auch dann wäre evident, dass globale Intelligenz etwas anderes ist als regionale bzw. lokale Intelligenz. Man kann zwar im Sinne eines einzelnen solchen Supercomputers die Intelligenzfrage auch in der dritten AI-Generation auf einen *einzelnen* Agenten beziehen, wie es in der zweiten AI-Generation im phänomenologischen Sinne angedacht ist. Allerdings kann es nicht ausreichend erscheinen, sich allein auf diesem Wege der reflexiven Intelligenz als höchster Intelligenzform zu nähern. Vielmehr kommt dann der MAS/CAS-Aspekt genauso wie der CPS/SEA-Aspekt globaler Intelligenz ins Spiel, wie es im zweiten Teil diskutiert wurde. Was Bostrom wie die ganze zweite AI-Generation in elementarer Weise übersehen, ist das Problem induktiven Schließens, wie es bereits bei Russell (1912: 97 f.) behandelt wird. In diesem Sinne ist zunächst die bekannte Parabel des induktivistischen Truthahns Russells zu verstehen, bevor man meinen kann, dass Computer auch im techno-wissenschaftlichen Bereich an das menschliche Problemlösungsvermögen als Intelligenzindikator heranreichen können. In diesem Sinne benötigen Agenten mit Russell (1912: 98) »more refined views [...] to the uniformity of nature« als der induktivistische Truthahn, und diese aufgeklärteren Weltansichten sind auch nicht allein über regionale Intelligenz, sondern letztlich allein über die *globale Intelligenz* realisierbar.

In diesem Sinne muss auch die AI-basierte *Scientific Discovery* bei Langley/Simons et al. (1987) vor dem Hintergrund des Problems induktiven Schließens verstanden werden. Welche methodologischen Schritte aus welchen Gründen zur Realisierung von Bostroms "general wisdom" zu wählen sind, ist im techno-wissenschaftlichen Feld durchaus als eigentliche Problemlösungskompetenz und damit als Teil des Intelligenzvermögens zu verstehen. Umgekehrt ist mit der Primarität globaler Intelligenz sicherzustellen, dass sich das lokale Weltmodell nicht mit dem globalen widerspricht, indem solche induktiven Modelle fehleranfällig sind: Ob die lokalen Objekte als 3D-Objekte oder als 4D-Ereignisse aufzufassen sind, was das richtige Zeitverständnis ist usf. kann ein Roboter genauso wenig *ad hoc* wie *lokal* entscheiden. Selbst der Austausch mit anderen Agenten im MAS-Sinne regionaler Intelligenz bzw. Schwarmintelligenz wird auf dieser Basis keinen wesentlichen Erkenntnismehrwert bringen: Die Aggregation einer Vielzahl induktiver lokaler Weltmodelle ersetzt kein globales, das im Sinne des *Ratio-Empirismus* deduktiver wie fallibler Natur ist.

Insofern wird insgesamt deutlich, dass das fundamentale Weltmodell bzw. das fundamentale Realitätsverständnis auf anderem Wege zu generieren ist, nämlich über die *Top-level Ontologie*, die einheitlich für alle Teile eines Integrationsszenarios vorzugeben ist. Genau dann wird ein weiterer Aspekt möglich, nämlich der flexible Rückgriff auf externes Wissen verschiedenster Domänen (DO) oder etwa der Rückgriff auf Methoden- (MO) bzw.

Aufgabenontologien (TO). Es ist offensichtlich, dass symbolische und subsymbolische Architekturen keinesfalls im Widerspruch zueinander stehen, sondern sich vielmehr systematisch ergänzen. In der Tat bleibt beim Ansatz von Brooks das Problem der Interaktion der Agenten bzw. autonomen Robots; lernt jedes System im Zeichen des Konstruktivismus sein Weltmodell auf Basis seiner dezidierten lokalen Umwelt selbst, folgt daraus unmittelbar das Inkommensurabilitätsproblem. Die subjektiven Weltmodelle sind also im Allgemeinen nicht unmittelbar ineinander übersetzbar, womit ein umfassendes Mapping der internen Ontologien bzw. *Belief Systems* zur Bildung einer Synthese erforderlich wird. Das ist in Detailfragen auch in der Tat unverzichtbar; bei den fundamentalen Fragen bleibt es jedoch dabei, dass globale Aspekte wie die oben genannten nicht induktiv über lokale Erfahrung tatsächlich *sachgerecht* entscheidbar werden. Im Zeichen von Hayes' (1979) *Naïve Physics* bzw. Forbus/Gentners (1986) darauf aufsetzender *Qualitative Process Theory* haben Guha/Lenat (1994) daher einen anderen Weg vorgeschlagen, wie die Zusammenarbeit autonomer Agenten auf eine bessere Basis gestellt werden kann. Diese besteht darin, dass die Agenten genügend "*foundational knowledge*" teilen, und diese Teilung vollzieht sich über Ontologien im Sinne eines externen Weltwissens. Maschinelle Agenten werden auf diese Weise mit menschlichem Alltagsverstand bzw. Alltagsrationalität ausgestattet. – Ob und inwiefern dabei die durch Guha/Lenat (1994) propagierte Cyc-Ontologie tatsächlich die richtige Basis darstellt, hängt nicht zuletzt von der Kritizität der Kontexte ab. Unter CPS- bzw. IoX-Gesichtspunkten stellt sie jedoch grundsätzlich die falsche ontologische Basis dar, womit sie für AI-Computersysteme kaum in Frage kommen kann.

Ad (iii) gilt indessen, dass Roboter und andere maschinelle Agenten nicht bloß als reaktive Automaten, sondern vielmehr als *aktive CPS-Agenten* zu konzipieren sind. Dann aber müssen sie wesentlich auch über das *deliberative Moment* verfügen. Darin besteht zunehmend die Mehrheitsmeinung, indem einseitig reaktive Agentenarchitekturen kaum mehr als opportun erachtet werden. Vielmehr stellen die gängigen Ansätze *integrierte Agentenarchitekturen* dar, wie es etwa bei ACT*,⁴⁸⁵¹ ICARUS,⁴⁸⁵² PRODIGY,⁴⁸⁵³ SOAR,⁴⁸⁵⁴ THEO,⁴⁸⁵⁵ und anderen der Fall ist. Diese Ansätze bilden also *Hybrid-Architekturen*; Lernstrategien beruhen dabei bei Ansätzen wie PRODIGY oder SOAR auf dem *Explanation-based Learning* (EBL).⁴⁸⁵⁶ Solche Hybrid-Architekturen sind in der AI-Disziplin etwa in Form der neuen Synthese Nilssons (1998) oder der hybriden Agentenarchitektur bei Russell/Norvig (2010) selbstverständlich.⁴⁸⁵⁷ Hierarchische Steuerungssysteme setzen solche Hybrid-Architekturen um, indem sie subsymbolische AI-Aspekte auf der untersten reakti-

⁴⁸⁵¹ Vgl. J.R. Anderson (1983, 1986, 1991).

⁴⁸⁵² Vgl. P. Langley et al. (1991) sowie P. Langley (2006).

⁴⁸⁵³ Vgl. Minton et al. (1989), Carbonell et al. (1991) sowie Veloso et al. (1995).

⁴⁸⁵⁴ Vgl. Laird et al. (1986, 1987, 1991), P.S. Rosenbloom et al. (1991) sowie Laird (2008).

⁴⁸⁵⁵ Vgl. T.M. Mitchell (1990) sowie T.M. Mitchell et al. (1991).

⁴⁸⁵⁶ Vgl. hierzu Minton et al. (1989) sowie T.M. Mitchell (1997).

⁴⁸⁵⁷ Vgl. Nilsson (1998: 443 ff.) sowie Russell/Norvig (2010: 1047 f.).

ven Ebene mit symbolischen AI-Aspekten auf ihren höchsten Ebenen kombinieren.⁴⁸⁵⁸ Auf diesen höchsten Ebenen wird damit die Planung wie die Weltenmodellierung eröffnet, während diese Reflexion wiederum in umgekehrter Richtung via Aktoren in Eingriffen in die Realität mündet. Allerdings ist zu beachten, dass auch solche Hybrid-Architekturen wiederum von heterogener Gestalt sind, indem sie auf den verschiedensten KR-Methodiken aufbauen. Ontologien spielen bei den oben genannten integrierten Agentenarchitekturen noch keine Rolle, was selbst noch für die Hybrid-Architektur der *Adaptive Intelligent Systems* (AIS) bei Hayes-Roth (1995) gilt.⁴⁸⁵⁹ Mit Blick auf die *Superintelligenz* besteht darin ein maßgeblicher Defekt, indem sich diese allein auf Basis einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* realisieren lässt. Dieser Defekt korreliert mit Verweis auf Pkt. 3.5 unmittelbar mit den älteren Agententheorien. Ungeachtet der Tatsache, dass Agentenansätze auf völlig unterschiedliche Anwendungsfelder zielen und Agententheorien entsprechend eine überaus heterogene Struktur aufweisen,⁴⁸⁶⁰ erweisen sich jüngere Agentenansätze demgegenüber zumeist als ontologiebasiert.⁴⁸⁶¹ Tatsächlich ist in Bezug auf die Überlegenheit von Ontologien gegenüber älteren KR-Methoden zu postulieren, alle nicht-ontologiebasierten Agentenarchitekturen *ad acta* zu legen, indem sie durch diese abgedeckt bzw. integriert werden (Frames, semantische Netze) oder ältere KR-Methoden in den Kontext von Ontologien zu bringen sind (Logik, Regeln). Indem Ontologie kategorial ist und als integrierte metaphysische Wissensontologie damit die Struktur der Wissensrepräsentation bestimmt, ist diese Forderung konsequent. Diese Entwicklung reflektieren auch AI-Standardwerke; in der Synthese Nilssons (1998) werden Ontologien zwar noch am Rande behandelt, während sie etwa bei Poole/Mackworth (2010) oder Russell/Norvig (2010) deutlich ins Zentrum rücken. Bei letzteren wird darüber hinaus mit der *4D Upper Ontology* auch bereits die Unverzichtbarkeit der *Top-level Ontologie* erkannt. Dann steht jedoch genauso außer Frage, dass die *Top-level Ontologie* nicht nur die deliberativen Aspekte, sondern bei Computern als "*Reality Machines*" genauso die reaktiven berück-

⁴⁸⁵⁸ Vgl. exemplarisch Albus et al. (2002).

⁴⁸⁵⁹ Bei Hayes-Roth (1995: 329) kommen *intelligenten Agenten* drei maßgebliche Funktionen zu: »perception of dynamic conditions in the environment; action to affect conditions in the environment; and reasoning to interpret perceptions, solve problems, draw inferences, and determine actions«. Das aber ist bei *Reality Machines* nur zur Gänze möglich, wenn Klarheit bzgl. der fundamentalen Strukturen der Welten bzw. der Realität besteht und sich Wissen transdisziplinär verknüpfen lässt, was nicht erst bei *superintelligenten Agenten* auf ein fundamentales TLO-Weltmodell und eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* hinausläuft. Wenn Leggs (2008) "*super intelligent agents*" ontologiefrei konzipiert werden, wird missachtet, dass sich *Superintelligenz* nicht allein auf einfache *praktische* Bereiche wie Schachspiele erstreckt. Vielmehr liegen die eigentlichen "*hard problems*" gemäß der universalen Intelligenzdefinition im *technologischen* bzw. *wissenschaftlichen* Problembereich. Dabei gilt, dass sich auf Basis des LfS-Paradigmas in keiner Weise *ad hoc* bestimmen lässt, welche Kategorien das fundamentale Weltmodell aufweisen muss. Das wird im Sinne des *Ratio-Empirismus* erst auf einer empiristischen Universal-synthese und der darauf gründenden allgemeinsten Theorie möglich; mithin ist dies auf alleiniger Basis einer emergenten Architektur nicht begründbar.

⁴⁸⁶⁰ Vgl. hierzu etwa die Taxonomie bei Franklin/Graesser (1997); vgl. ferner Schalkoff (2011: 281 ff.).

⁴⁸⁶¹ Vgl. hierzu DiLeo et al. (2002), Wooldridge (2002a: 180 ff.), Tamma/Cranefield et al. (2005), Bermejo-Alonso/Sanz (2006), Hadzic et al. (2009), Poole/Mackworth (2010), Warden et al. (2010), Davidovsky et al. (2012) sowie Addakiri/Bahaj (2013).

sichtigen können muss, indem sie insgesamt das "*common formal framework*" bzw. das "*ontological backbone*" zu stellen hat. Darauf aber sind die heute führenden TLO-Ansätze wie BFO, BWW, DOLCE oder SUMO völlig unzureichend vorbereitet, denn sonst hätte man sie grundlegend anders konzipiert.^{4862, 4863} Metaphysisch betrachtet vereinigen Hybrid-Architekturen den *Rationalismus* symbolischer Repräsentation (GOFAI) mit dem *Empirismus* subsymbolischer emergentistischer Repräsentation. Das setzt wiederum für die Zwecke der integrierten metaphysischen Wissensontologie eine Digitalmetaphysik voraus, die wie die Whiteheadsche (1929a) eine *ratio-empirische*, eine *agentenbasierte* wie eine *emergentistische* ist.⁴⁸⁶⁴ Agenten als Whiteheadsche *Subjekt-Superjekte* erfüllen alle Voraussetzungen maschineller Agenten, wie sie in rationaler bzw. logico-mathematischer und in perzeptiver bzw. kognitiver Hinsicht definiert werden.⁴⁸⁶⁵

Ad (iv) sind Hybrid-Architekturen im Zeichen *heterogener Architekturen* nicht nur im faktischen CAS-Sinne zwingend in den MAS-Kontext zu setzen, indem Agenten miteinander in Interaktion stehen, sondern auch, um besonders interessante Formen von Superintelligenz zu realisieren. Denn dafür ist insbesondere die Heterogenität von Agenten entscheidend, die diese vor allem hinsichtlich ihres Wissens oder ihren Fähigkeiten, aber auch in sonstiger Hinsicht aufweisen. Heterogene Architekturen haben dabei zumeist auch Agentensysteme aus verschiedenen Typen von Agenten zum Gegenstand. Die kombinatorische Verschaltung solcher Agenten besitzt insbesondere mit dem Gedanken der Schwarmintelligenz bzw. der kollektiven Intelligenz besonderes Potential: Bei menschlichen Agenten kann dabei insofern keine neue Form von Superintelligenz entstehen, als menschliche Gehirne nicht verschaltbar sind; bei maschinellen Agenten stellt sich dies jedoch gänzlich anders

⁴⁸⁶² Z.B. werden bei DOLCE oder SUMO Computer insofern nicht als "*Reality Machines*" begriffen, als hier weder die fundamentalen Strukturen der Realität im Sinne der Metaphysik untersucht werden noch überhaupt ontische Kategorien existieren. Geht es demgegenüber um die Aspekte der Digitalmetaphysik, wird für CPSS-adäquate Ontologiekonzeptionen im Kontext maschineller Agenten das Voraussetzen *möglicher Welten* zwingend, wie es etwa bei Schmidhuber (2012) unmittelbar ersichtlich wird. Wenn neo-aristotelisch geprägte TLO-Ansätze (etwa BFO, BWW, OCHRE) allerdings von *möglichen Welten* abstrahieren, oder Pease/Niles (2002a) im SUMO-Kontext mindestens skeptisch sehen, wird auch hier die CPSS-Inadäquanz dieser Ansätze offensichtlich. Analoges gilt in der Hinsicht, dass teils vom platonischen bzw. logico-mathematischen Universum vollkommen abstrahiert wird, das maschinelle Agenten jedoch genauso einfordern wie das physisch-empirische, auf das sich neo-aristotelische Ansätze mit Verweis auf Pkt. 5.3 zumeist beschränken. Wenn es gilt, beides im CPS-Sinne systematisch zu integrieren, ist festzustellen, dass diese Frage in der gegenwärtigen TLO-Forschung in dieser Weise nicht gestellt wird. Auf Superintelligenz bezogen wird sie indessen auch nicht, obschon die Disposition über meta-ontologische Aspekte bereits mit dem oben erwähnten *Lock-in-Problem* – wie in sonstiger Hinsicht – eine strategische ist.

⁴⁸⁶³ Eine für *Superintelligenz* zukunfts offene TLO-Konzeption kann nicht auf menschliche Agenten zugeschnitten sein, sondern muss sich systematisch auf die konkreten Belange *maschineller Agenten* fokussieren: trivialerweise sind sie es, die bei *maschineller Intelligenz* im Mittelpunkt stehen. Insbesondere die neo-aristotelischen wie einige linguistische TLO-Konzeptionen sind jedoch MAS-inadäquat konzipiert beziehungsweise sind sie zum Teil gar nicht auf agentenbasierte Ontologien ausgelegt. In diesem Fall kann auch kaum das Moment *kognitiver Verzerrung* – wie bei DOLCE – einen sinnvollen Leitgedanken der TLO-Konzeption bilden.

⁴⁸⁶⁴ Diese Kombination ist allein in der Whiteheadschen *Klasse-4-Metaphysik* möglich; in der Metaphysik Bunge (1977a) fehlt etwa das zentrale *Subjekt-Superjekt*, womit diese nicht agentenbasiert ist.

⁴⁸⁶⁵ Vgl. zu dieser Definition etwa Luger/Stubblefield (1998), insbes. pp. 15 f.

dar, indem sich diese in CAS-Umgebungen verschalten lassen. Ausgereifte Agentenarchitekturen setzen an der Relationalität und Interaktion von Agenten an, womit diese im Allgemeinen in einer *"society of agents"* stehen, die eine strukturierte ist.⁴⁸⁶⁶ Agenten sind darin situiert. Insofern laufen agentenbasierte AI-Systeme auf *Artificial Societies* hinaus, die *Schwarmintelligenz* ermöglichen. Indessen werden Agentenarchitekturen schlussendlich nicht bloß auf kollektive Strukturen als vielmehr auf *kooperative Strukturen* hinauslaufen,⁴⁸⁶⁷ in denen im Sinne eines *vereinten Problemlösungsvermögens* der eigentliche Schlüssel zur Superintelligenz zu sehen ist.⁴⁸⁶⁸ Damit besteht wiederum ein unmittelbarer Übergang zur *Theorie komplexer Systeme*, indem jedes MAS eine spezifische Form eines CAS repräsentiert. Die Komplexitätsforschung stellt somit nicht nur den Mittler zur techno-wissenschaftlichen Metaphysik, sondern gleichsam zur Digitalmetaphysik dar. Insgesamt läuft dabei das *Agent-Oriented Software Engineering (AOSE)* auf MAS hinaus,⁴⁸⁶⁹ die *ontologiebasiert* sind.⁴⁸⁷⁰ Entsprechend besteht eine direkte Verbindung zwischen CPSS/IoX, CEP/SCEP und CAS/MAS, die sich im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* darstellt. Dabei sind die *heterogenen Architekturen* insofern Hybrid-Architekturen, als sich emergente Aspekte mit Ontologien auf Basis von SWT-Architekturen kombinieren lassen. Genau darin ist der vielversprechendste Ansatz zu sehen, indem damit der unmittelbare wie flexible Zugriff auf umfassendste Wissensbasen möglich wird.⁴⁸⁷¹ Allerdings verlangt dabei das Transdisziplinaritätsmoment, dass im exemplarischen Sinne der OBO-Foundry bei diesen Wissensbasen die notwendige TLO-Referenz beachtet wird. Mit der BFO-Referenz der OBO-Foundry sowie der mangelnden Eignung der BFO-TLO als universaler SEI-Ontologie wird dabei deutlich, dass das TLO-Inkommensurabilitätsproblem das Erfordernis zur Definition eines "Gold Standards" im Sinne einer tatsächlich *universalen* CPSS-adäquaten TLO-Konzeption impliziert.

Wird *Superintelligenz* an der *Problemlösungskompetenz* festgemacht, sind *symbolische* wie *subsymbolische* bzw. *emergente* Aspekte entscheidend. An beiden Aspekten parallel festzumachen ist insofern konsequent, als dies bei menschlicher Intelligenz nicht anders ist als bei maschineller Intelligenz. Wenn wir in Pkt. 3.3 festgestellt hatten, dass AI in fundamentaler Hinsicht Philosophie ist, überrascht es nicht, dass beide AI-Forschungsfelder genuin philosophische bzw. wissenschaftstheoretische Felder darstellen. Bzgl. subsymbolischer Architekturen geht es in der kognitiven Robotik um Aspekte wie Perzeption, Kognition, um direkte Erfahrung der Welt, um ein Lernen, das wesentlich angeleitetes Lernen ist (z.B. EBL), um inkrementell aufgebautes implizites Wissen. Schließlich reichen diese Fragen bis hin zum Ichbewusstsein. Dass diese Aspekte der Sensorik nicht weit entfernt von der expliziten Repräsentation symbolischer Systeme liegen, zeigt bereits der CEP/SCEP-

⁴⁸⁶⁶ Vgl. etwa Luger/Stubblefield (1998: 16).

⁴⁸⁶⁷ Vgl. *ibid.*

⁴⁸⁶⁸ Das ist etwa im Sinne der *TEAM agents* bei Lander/Lesser (1993) zu sehen.

⁴⁸⁶⁹ Vgl. dazu H. Yu et al. (2013).

⁴⁸⁷⁰ Vgl. Beydoun et al. (2006) sowie Hadzic et al. (2009).

⁴⁸⁷¹ Vgl. etwa Caliusco/Stegmayer (2010), M. Mao et al. (2010) sowie Bagosi et al. (2015).

Ansatz. Denn auch hier geht es um ereigniszentrierte Mustererkennung, bei der Ereignisse unmittelbar im SCEP-Sinne (vgl. Pkt. 6.2.1) TLO-basiert mit der expliziten Repräsentation symbolischer Systeme verknüpft werden. Menschliche Problemlösungskompetenz baut tatsächlich im Sinne von Brooks (1986, 1991b) wesentlich auf diesen subsymbolischen Aspekten auf. Jedoch nicht nur, denn das erwähnte LfS-Paradigma verkennt völlig, dass die Effizienz menschlicher Problemlöser vor allem darauf beruht, dass diese bei der Problemlösung auf externes Wissen bzw. auf die Kompetenz Dritter zurückgreifen. Dieser Umstand sollte auch für maschinelle Intelligenz die Leitlinie vorgeben.

Mit der Cyc-Ontologie wird seit langem versucht,⁴⁸⁷² maschinellen Agenten auf Basis von SW-Technologie Zugriff auf das "Weltwissen" zu ermöglichen. Natürlich wird auch dazu eine *Top-level Ontologie* benötigt, die in der *Upper Cyc Ontology* (UCO) besteht. Ziel ist es, maschinellen Agenten auf diesem Wege im Sinne einer *Common Sense-Ontologie* das Alltagswissen bzw. die Alltagsrationalität menschlicher Agenten beizubringen. Insofern handelt es sich um eine Alternativstrategie zum LfS-Paradigma. Diese ist jedoch als Parallelstrategie zu verstehen, weil sich beide Wege zum Wissenserwerb nicht ausschließen, sondern sich vielmehr ergänzen. Dennoch ist festzustellen, dass der Verzicht auf Ansätze wie Cyc und damit ein einseitiges Festhalten am LfS-Paradigma eine ineffiziente Lernstrategie bedeutet: kein menschlicher Agent baut sich das gesamte, ihm verfügbare Wissen auf inkrementelle Weise im subsymbolischen Sinne von Grund auf neu – *from scratch* – auf. Und diese Strategie wird auch in sehr ferner Zukunft für den intelligentesten aller kognitiven Roboter ineffizient sein. Indessen steht außer Frage, dass kein maschineller Agent auf Cyc-Basis *Superintelligenz* erreichen kann. Denn Cyc-Wissen ist, wie in Pkt. 3.2.3 ausgeführt, als *Common Sense-Ontologie* im Begründungszusammenhang gegenüber *Scientific Ontologies* wesentlich inferior. Mit anderen Worten können maschinelle Agenten auf dieser Basis die menschliche Intelligenz im Sinne der *Problemlösungskompetenz* niemals übertreffen, wenn für letztere der Zugriff auf das objektive wissenschaftliche bzw. technologische Wissen exklusiv ist.

Es ist diese Erkenntnis, auf deren Fundament CYPO FOX steht, nämlich dass echte Superintelligenz für maschinelle Agenten nur dann erzielbar ist, wenn sie neben der impliziten Repräsentation maßgeblich auf der externen Wissensrepräsentation aufbauen. Nur dann wird maschinelles Lernen wirklich mächtig sein. An der Spitze expliziten Wissens steht das objektive Wissen und damit die *Scientific Ontologies*, auf die technologische Ontologien referenzieren – und wiederum auf diese die praktischen Ontologien. In umgekehrter Reihenfolge ist dies jedoch nicht möglich, womit die Begrenztheit des Cyc-Projekts offenbar wird. Denn wesentlich ist die Durchgängigkeit allen Wissens, und diese lässt sich allein ausgehend von den *Scientific Ontologies* realisieren. Insofern ist die gesamte Ontologiekonzeption auf diesen Aspekt auszurichten, womit B. Smith in genau *dieser* Hinsicht mit seiner BFO-TLO grundsätzlich richtig liegt, während die maßgeblichen Defekte dieses

⁴⁸⁷² Vgl. Lenat/Guha (1990) sowie Lenat (1995).

TLO-Theorieanwärters gerade unter CPSS/SEA-Aspekten zutage treten. Wenn autonome AI-Systeme kritische Prozesse in hochkomplexen Systemen übernehmen, benötigen sie diese Superintelligenz; sie sind zwangsläufig auf eine höhere Ebene zu verlagern als jene menschlicher Intelligenz, auf deren Basis die operative Steuerung in Echtzeit nicht mehr möglich ist. Dann jedoch muss diese maschinelle Intelligenz auf dem besten allen verfügbaren Wissens operieren, nämlich auf Basis von Ontologien, die mindestens auf solche *Scientific Ontologies* referenzieren bzw. von diesen abgeleitet sind. Dazu kommt jedoch weder das im Zeichen des Konstruktivismus gewonnene subjektive Wissen von *Belief Systems* in Frage noch das Alltagswissen der Cyc-Ontologie.

Darüber hinaus hat das, was Gruber (1993, 1995) und Epigonen unter *Ontologie* verstehen, mit *Superintelligenz* nichts zu tun, indem mit Quine (1977) auf die fundamentalen linguistischen Defekte zu verweisen ist, die eine allgemeine Anfälligkeit für Fehlschlüsse bedingen. Sprache ist überwiegend vage; die physische Welt ist aber durchaus exakt.⁴⁸⁷³ Genauer reflektiert setzt Superintelligenz im Sinne des OE-Ansatzpunkts eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* deshalb notwendig voraus, weil anders die fundamentalen Strukturen der Welt bzw. Realität nicht identifizierbar sind. Diese ist bei Computern als "*Reality Machines*" wesentlich durch McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" bestimmt, die wiederum in der metaphysisch verankerten *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik mündet. Dabei setzt die Superintelligenz eine CPSS-adäquate Ontologie genauso voraus wie eine integrierte Ontologiekonzeption, indem Newells (1982) *Knowledge Level* unmittelbar davon abhängig ist, inwieweit es gelingt, die einzelnen Ontologietypen wie Ontologiearten umfänglich miteinander zu verknüpfen. Tatsächliche *Superintelligenz* ist nur dann verwirklicht, wenn weitere Ontologiearten ins Spiel gelangen und somit die verschiedensten praktischen, technologischen oder wissenschaftlichen Wissenskonserven globaler Weltmodelle durch Problemlösungsagenten (PSA) *ad hoc* geöffnet und miteinander kombiniert werden können.

Erst auf dieser Basis lassen sich die Grenzen lokaler Weltmodelle, wie sie beim *Deep Learning* im Zeichen subjektivistisch-begrenzter Rationalität stehen, wesentlich erweitern. Schließlich sollte Superintelligenz nicht allein auf Basis eines Auswendiglernens durch ständige Wiederholung stehen, worauf Deep-Learning-Algorithmen im Prinzip zielen. Vielmehr kann von Superintelligenz eigentlich nur dann gesprochen werden, wenn diese nicht allein auf das *Lernen*, sondern vor allem auf das tatsächliche *Verstehen* abstellt. Dann aber besitzen *Ontologien* in Sachen Superintelligenz unvermittelt einen völlig anderen Stellenwert. Das gilt im Hinblick auf die *Inkontextsetzung* des Erlernten, und das gilt damit insbesondere in Bezug auf eine Verschaltung der unterschiedlichsten Ontologien, die dann jedoch auf den gleichen fundamentalen Strukturen aufzubauen haben. Für einen solchen Kontextbezug sind die verschiedensten Weltmodelle relevant, neben der Agentenwelt (W2) ein wissenschaftskonformes wie CPSS-adäquates real-physisches Weltmodell (W1),

⁴⁸⁷³ Vgl. P.M. Simons (2004a: 263).

Weltmodelle bzgl. Artefakten, etwa technologischen Aufgabensequenzen, funktionalen Interdependenzen oder methodologischen Zusammenhängen (W3) und schließlich der empirisch zugänglichen sozialen Welt von Multiagentensystemen, etwa hinsichtlich dem Wissen, den Services, der Interaktionshäufigkeit oder der Vertrauenswürdigkeit von Agenten (W4). Dabei steht außer Frage, dass sich Superintelligenz nicht bewerkstelligen lässt ohne ein globales Weltmodell, mit dem sich alle Welttypen kosmologisch vereinheitlichen lassen, womit die Rolle der *Top-level Ontologie* evident ist.

Indessen ist von all diesen Aspekten, die für tatsächliche *Superintelligenz* konstituierend sind, bei Good (1965) gar keine Rede und in der aktuellen Debatte etwa mit Bostrom (2014: 292) allenfalls am Rande, wenn von einer »open-ended ontology« die Rede ist, die es möglich mache, einen »new type of metaphysical possibility« zu erkennen. Wie sich dies konkret darstellt, wird jedoch nicht näher thematisiert. Auch an den wenigen anderen Stellen sind die Ausführungen zur Ontologie als vollkommen unzureichend zu werten. Gerade die besonders relevanten CPS- wie TLO-Aspekte kommen in der bisherigen Debatte um *Superintelligenz* deutlich zu kurz. Dabei steht außer Frage, dass diese im Sinne der damit notwendigen *integrierten metaphysischen Wissensontologie* in Form der *Superintelligenz* der dritten AI-Generation genau richtig verstanden ist. Somit bilden U-PLM-Systeme auch in dieser Sache das adäquate Referenzszenario der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*.

Schließlich wird einmal mehr deutlich, warum im IoX-Hyperspace mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 SW-Ontologien entgegen landläufiger Meinung doch eine TLO-Referenz benötigen. Dass dem so ist, wird nicht nur bereits beim Cyc-Projekt auf dem Stand einfacher Alltagsrationalität mit Cyc UCO offensichtlich, sondern auch etwa bei der erwähnten W3C *SSN Ontology*. Genauso setzt auch jedes qualifizierte Event Processing auf SCEP-Basis mit Pkt. 6.2.1 eine TLO-Basis voraus, die in IoX-Umgebungen auf Dauer ebenfalls nicht an einer Standardisierung vorbeikommen kann. In CYPO *FOX* besitzt die *Top-level Ontologie* zwei zentrale Funktionen, die über jene der bisherigen TLO-Theorieanwärter hinausgehen: in *metaphysischer* wie meta-ontologischer Hinsicht die systematische CPSS-adäquate Klärung der fundamentalen Strukturen der Realität, die sich in den fundamentalen Kategorien wie in der Vier-Welten-Struktur niederschlägt. In *wissensontologischer* Hinsicht die Gewährleistung des Transdisziplinaritätsmoments, mit dem alles Wissen erst kombinierbar und alle Ontologiearten (vgl. Pkt. 3.3.1) wie alle drei Ontologietypen (wissenschaftlich, technologisch und praktisch) semantisch durchgängig interoperabel werden. Anders gewendet lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem nicht ohne die *Top-level Ontologie* auflösen, die dabei jedoch im Sinne von B. Smith, Guarino und anderen zu vereinheitlichen ist. Diese Vereinheitlichung ist dabei auf einem neuen, systematischen Wege zu vollziehen, nämlich mit Pkt. 7 auf Basis eines *Requirements Engineering*, das die universalen TLO-Anforderungen in fünfzig zentrale *Requirements* überführt, die zugleich als Evaluierungskriterien zur Selektion der TLO-Theorieanwärter als "Gold Standard" zu verstehen sind. Wie im ersten Teil ausgeführt, ist ein TLO-Mapping aufgrund der metaphysischen

Inkommensurabilität unmöglich. Insofern lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem nicht dadurch lösen, dass es auf die Ebene der Top-level Ontologie verschoben wird. Wenn komplexe RAI-basierte Systeme *Superintelligenz* zur Fehlerreduktion in realen kritischen Prozessen erreichen sollten, und echte Superintelligenz die *Top-level Ontologie* impliziert, ist evident, dass es keinen anderen Weg als den hier vorgeschlagenen zur Lösung des Inkommensurabilitätsproblems als AI-Kernproblem gibt.

6.4 Zwischenfazit: Spezifikation der Meta-Ontologie im IoX-Hyperspace

»[A]ny ontology cannot be free from some assumption and/or designer's standpoint.«

— Riichiro Mizoguchi (2010: 2)

Auf Pkt. 6.1 zurückkommend, lässt sich die Frage, ob die Ontologie die Metaphysik *notwendig* voraussetzt, vor dem Hintergrund der in diesem sechsten Teil geführten Diskurse abschließend vollständig beantworten: Die Metaphysik ist zur Disposition der Meta-Ontologie wie der kategorialen Festlegungen *notwendig* vorauszusetzen, indem sie ohne diese Voraussetzung letztlich unentscheidbar sind. Die Metaphysik ist elementar für die in Pkt. 6.1 ff. erörterten fundamentalen meta-ontologischen Entscheidungen, für die Bestimmung aller in Pkt. 6.2 ff. behandelten nachgeordneten meta-ontologischen Kriterien sowie mit Pkt. 6.3 schließlich auch zur meta-ontologischen Spezifikation bei intendierter *Superintelligenz* der dritten AI-Generation. Es wurde ferner deutlich, dass sich im Grunde sämtliche meta-ontologischen Aspekte erst dann schlussendlich klären lassen, wenn die Spezifikation der Meta-Ontologie anhand der in Pkt. 3.5 dargelegten Ontologiearchitektur CYPO FOX vollzogen wird. So lässt sich etwa die Debatte um den Realismus vs. Konstruktivismus in keiner Weise für die Zwecke der Informatik sinnvoll führen, ohne sie auf die vier Welttypen zu beziehen. Das gilt insbesondere dann, wenn es um die *cyber-physische Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* geht, indem sich der CPS-IoX-Konnex in der Sphäre bewegt, die als *IoX-Hyperspace* bzw. *IoX-Hyperworld* richtig ausgelegt ist. Dabei ist der *IoX-Hyperspace* in fundamentaler Hinsicht nichts anderes als die Whitehead-Poppersche Kosmologie, womit die *IoX-Hyperworld* im Zeichen der integrierten metaphysischen Wissensontologie von CYPO FOX auszulegen ist. Erst auf dieser Grundlage lassen sich alle für die Informatik relevanten metaphysischen, epistemologischen und methodologischen Aspekte tatsächlich universal klären.

Wenn gezeigt wurde, dass die Ontologie der Informatik die Metaphysik *notwendig* voraussetzt, folgt daraus die Einsicht, dass alle linguistischen Ontologieverständnisse aufzugeben sind. Das betrifft also solche, die keinen realistisch-metaphysischen OE-Ansatzpunkt aufweisen. Das gilt zuvorderst für das populäre Ontologieverständnis Grubers (1993, 1995), bei dem es sich um nichts weiter als ein an der Alltagssprache orientiertes *semantisches Netz* handelt, das für ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis gänzlich unhaltbar ist. Damit wird auch die Idee von Varzi (2011) et al., die formale Ontologie ohne Meta-

physik zu praktizieren, und erste aus letzter herauslösen zu wollen, obsolet. Denn dieser sechste Teil hat nochmals offenbart, dass es mit Verweis auf die Ausführungen unter Pkt. 1 ein Trugschluss ist, mit Genesereth/Nilsson (1987: 13) für ein »lack of commitment« bzw. mit Gruber (1995: 910) für ein »minimal ontological commitment« zu votieren. Demgegenüber liegt nicht nur Vetere (2009: 6) richtig, dass es um ein »commitment to reality, not a commitment whatsoever« geht, sondern vielmehr ist mit Mora et al. (2011: 164) festzustellen, dass Grubers "*commitment principle*" genau umzudrehen ist. Denn tatsächlich benötigen Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* nichts anderes als eine *maximale ontologische Verpflichtung*, wenn sie autonom agieren und bei einer Vielzahl autonomer Maschinen wechselseitig kausal in die Realität eingreifen. Dabei steht außer Frage, dass diese *maximale ontologische Verpflichtung* vor allem die techno-wissenschaftliche Korrektheit ihrer Dispositionen voraussetzt. Die im zweiten Teil erörterte globale Intelligenz ist für maschinelle Agenten entsprechend unabdingbar. Eine induktive Metaphysik ist weder für die Informatik noch im Ganzen eine Alternative. Damit rückt vor dem Hintergrund des *Real World Internet* (RWI) das Whiteheadsche (1933: 164) »interplay between science and metaphysics« in ein neues Licht.

Entsprechend wird deutlich, um welche Art von Metaphysik es in der Informatik gehen muss: Wenn die Informatik die Metaphysik *notwendig* voraussetzt, gilt diese Feststellung mit Verweis auf die im vierten Teil geführte Metaphysikdiskussion natürlich nicht für jede Form von Metaphysik. Vor allem bezieht sie sich gerade nicht auf die *Klasse-2-Metaphysik*, die im Zeichen der deskriptiven Metaphysik den erforderlichen *Ratio-Empirismus* nicht aufweist. Vielmehr hat die CPSS-adäquate Erörterung der meta-ontologischen Dispositionen erneut gezeigt, dass sie zwingend für alle vier CYPO-Welten Bestand haben müssen, womit deutlich wird, dass die Frage der Metaphysik wiederum *notwendig* auf die *Klasse-4-Metaphysik* hinausläuft. Eine cyber-physische Spezifikation der Meta-Ontologie hat immer auch die Digitalmetaphysik zu betreffen, die ein CPSS-adäquater Metaphysikansatz entsprechend verkörpern muss. Insgesamt wurden mit diesem sechsten Teil alle in Pkt. 1.3 genannten Teilziele (TZ6) erreicht: Sämtliche meta-ontologischen Grundsatzentscheidungen mit Relevanz für den IoX-Hyperspace wurden erörtert und bestimmt. Ferner wurden die bestehenden Kategoriensysteme einer Kritik unterzogen sowie die grundlegenden Kategorien bestimmt. unternommen. Schließlich wurde eine Reflexion und Spezifikation der meta-ontologischen Kriterien unter Maßgabe der intendierten *Superintelligenz* der dritten AI-Generation vollzogen. Nicht zuletzt diese gibt dem im nachfolgenden siebten Teil vollzogenen *Requirements Engineering* die notwendige Entwicklungsrichtung vor.

Mit der Meta-Ontologie werden zugleich die gegenwärtigen Grenzen Künstlicher Intelligenz deutlich: es ist ersichtlich, dass sie für die Informatik im Ganzen unabdingbar sind, während es ein Irrtum wäre anzunehmen, dass meta-ontologischen Dispositionen durch maschinelle Agenten weder selbst ausgehandelt noch *ad hoc* bestimmt werden können. Natürlich ist das erst möglich, wenn maschinelle Agenten in der höchsten alle gegenwärtig

denkbaren Stufen von Superintelligenz in der Lage wären, auch diesen Part zu übernehmen. Bis zu dieser reflexiven Intelligenz ist es jedoch noch ein längerer Weg, denn diese geht über die für AI-Zwecke erforderliche transdisziplinäre techno-wissenschaftliche Ebene noch eine Stufe hinaus. Maschinelle Agenten müssten dann als techno-wissenschaftlich orientierte Philosophen bei echtem Tiefenverständnis die philosophische Debatte unter sich führen. Der Rahmen Artifizierlicher Intelligenz ist somit auch auf längere Sicht von außen, von der Menschheit zu setzen. Es gibt keine zwingenden Argumente, warum dieser letzte programmierbare Rest bis hin zu den Aspekten bei Kant (1788, 1790) aufgegeben werden sollte. Auch insofern bleibt das Wechselspiel mit globaler Intelligenz entscheidend.

7. Requirements Engineering zur IoX-Spezifikation der Top-level Ontologie

»Recent work by AI researchers around the Semantic Web [...] is encouraging in that they all recognise the central role of higher level ontologies in information systems.«

— John Lamp/Simon K. Milton (2005: 28)

Die *ontologische Revolution* der Informatik unterscheidet sich mit Pkt. 1.2 von der semantischen Wende und ihren semantischen Netzen primär durch die *Top-level Ontologie*: Ontologien bilden semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle, jedoch sind diese im Sinne der Heavyweight-Ontologie nur dann möglich, wenn es ein fundamentales Weltmodell gibt, das die *Top-level Ontologie* repräsentiert. In ihr besteht das Scharnier zwischen Wissensontologie und Metaphysik und damit zugleich das Bindemittel der integrierten metaphysischen Wissensontologie, die hinter obigem Ontologieverständnis steht: Ontologie ist *Wissensontologie* in ihrer expliziten formal-semantischen Spezifikation; sie ist *metaphysische Ontologie* als Weltmodell, indem sich mit diesem immer eine konkrete Welt sieht, McCarthys (1995) "*general world view*", verbindet. Das Scharnier ist somit ein kategoriales wie ein meta-ontologisches; vor allem geht es dabei um das Wechselspiel von metaphysischen Kategorien und TLO-Kategorien. Die Top-level Ontologie ist metaphysisch in dem Sinne, als sie die fundamentalen Strukturen der Realität bzw. Welten verkörpert. Tatsächlich *universale* Top-level Ontologien beziehen sich nicht nur auf "*nontoy worlds*" *Reality Machines*, sondern im Sinne Leibnizens auf die generische Klasse der *World Automata*, die den Bezugspunkt CPSS-adäquater Ontologien bilden. Die ontologische Revolution der Informatik wird sich im Wesentlichen entsprechend allein dann abschließen lassen, wenn es gelingt, das mit der Vielzahl der vorliegenden TLO-Theorieanwärter gegebene Inkommensurabilitätsproblem zu überwinden.

Bereits mit Mascardi et al. (2007) sind die fundamentalen Probleme eines TLO-Mappings absehbar; Top-level Ontologien sind mit Abbas (2013) entweder schwach kompatibel oder schlicht inkompatibel. In unserer auf Grundlage der Klasse-4-Metaphysik vorgenommenen Analyse sind sie sämtlich inkompatibel, indem diese Inkompatibilität gerade durch die jeweils gewählte metaphysische Wurzel des jeweiligen TLO-Theorieanwärters bedingt ist. Sie sind also *fundamental* inkompatibel, weil sie metaphysisch inkompatibel sind. In diesem Sinne kann jeder TLO-Theorieanwärter für sich nur insofern einen generischen TLO-Ansatz darstellen, indem er als fundamentale Ontologie zu anderen Entwürfen inkompatibel ist. Wäre dem nicht so, bedürfte es auch keiner disparaten Theorieanwärter, die sich auf die fundamentalen Fragen erstrecken. Damit wird deutlich, dass in der TLO-Inkommensurabilität tatsächlich ein echtes, schwerwiegendes ontologisches Kernproblem besteht, indem es sich auf der semantischen Ebene in keiner Weise heilen lässt. Darin liegt der Kern der Sache, der jedoch bisher etwa mit Castel (2002) allenfalls vereinzelt erkannt wird; denn sonst würde Einsicht in die Tatsache bestehen, dass ein TLO-Mapping in keiner Weise durchführbar ist. Diese Einsicht besteht jedoch bisher offensichtlich nicht, wenn selbst anerkannte Ontologen mit der *WonderWeb Foundational Ontologies Library*

(WFOL) bzgl. DOLCE, BFO und OCHRE ein solches TLO-Mapping selbst in Aussicht gestellt haben,⁴⁸⁷⁴ das auch durch Dritte in dieser Weise interpretiert wird.⁴⁸⁷⁵ Für den aktuell defizitären Forschungsstand um die Ontologiefrage ist entsprechend der Umstand bezeichnend, dass das TLO-Inkommensurabilitätsproblem bisher weder systematisch herausgearbeitet wurde noch landläufig überhaupt richtig erkannt zu sein scheint. Denn es wird als solches weder hinreichend diskutiert noch wird seine ursächliche metaphysische Qualität gesehen. Vielmehr findet eine Diskussion auf der erforderlichen metaphysischen Ebene bisher überhaupt nicht statt. Die Informatik ist vielmehr noch auf dem Stand der Ontologiekonzeption Grubers, die fundamental defekt ist, und in IT-Systemen entsprechend schwerwiegende Probleme verursachen kann, wenn Cyber-physische Systeme im Spiel sind. Ähnlich bemerkenswert ist der bereits in Pkt. 4.1 erwähnte Irrglaube Milton/Kazmierczaks (2006), wonach es in der TLO-Frage keinen "Gold Standard" geben könne. Zweifelsohne ist dieser mit Blick auf Systemintegrationen nicht nur gerade nachhaltig anzustreben, sondern er ist auch realisierbar, wenn man nur die als universal identifizierbaren Anforderungen auch als *universale Requirements* voraussetzt. Das sind die Anforderungen einer integrierten Ontologiekonzeption (u.a. IS/KS-Integration) sowie der CPSS-Adäquanz, von der sich zahlreiche andere Kriterien wie die IoX-, MAS- oder CEP-Adäquanz unmittelbar ableiten lassen. Zudem eröffnet ein universales CPS-Verständnis notwendig die kognitive Robotik und entsprechend hybride Agentenarchitekturen. Als integrierte metaphysische Wissensontologie hat sie dabei nicht nur mit Whitehead an den fundamentalen Strukturen der Welten festzumachen, sondern mit Popper auch an der disparaten Natur des Wissens. Mit dem natürlichen Integrationserfordernis der Informatik wird es unabdingbar, auf einen solchen "Gold Standard" systematisch hinzuarbeiten.

7.1 Zur Notwendigkeit eines universalen *Requirements Engineering* (RE)

»Unfortunately, no consensus has as yet emerged unifying the various activities directed towards ontology, although there are promising signs.«

— Simon K. Milton (2004: 85)

Wie an verschiedener Stelle dargelegt, kann die Lösung des TLO-Inkommensurabilitätsproblems allein in der Evaluierung und aktiven Selektion geeigneter TLO-Theorieanwärter bestehen. Dabei geht dieses Problem mit dem Umstand einher, dass die Verfechter der einzelnen TLO-Theorieanwärter kaum Zugeständnisse machen können – selbst wenn diese offensichtlich erforderlich sind. Denn die in den TLO-Ansätzen verkörperten metaphysischen Dispositionen sind zum einen immer fundamentalen Charakters, zum anderen sind sie immer systemisch zusammenhängend, indem sie Teil ganzer Metaphysiksysteme sind.

⁴⁸⁷⁴ Vgl. zur WFOL etwa Masolo/Borgo et al. (2003).

⁴⁸⁷⁵ Vgl. etwa Mika/Oberle et al. (2004: 566): »In fact, being part of the WonderWeb Foundational Ontology Library, DOLCE will be mapped to other foundational ontologies (possibly more suitable for certain applications) [...]«.

Bspw. würde das Zugeständnis des Wechsels vom Drei- zum Vierdimensionalismus, wie er sich bei P.M. Simons und anderen abzeichnet, Auswirkungen auf andere metaphysische Dispositionen haben. In vielen Fällen würde damit letztlich der ganze TLO-Ansatz in Frage gestellt. Auch würden sich mindestens die Relationen bzw. Positionen im Kategoriensystem verschieben; ggf. müssten auch neue Kategorien hinzukommen usw. Solche fundamentalen Änderungen sind bei Ansätzen, die bereits praktisch genutzt werden, kaum mehr absorbierbar. Schließlich müsste ein solcher Wechsel die Aufgabe des TLO-Ansatzes bedeuten. Gleichzeitig aber ist klar, dass die Entwicklung und Weiterentwicklung jeden TLO-Ansatzes jahrelangen Aufwand bedeutet und darin das gemeinsame Paradigma zahlreicher Akteure, ihr "*general world view*", besteht. Somit wird besser nachvollziehbar, warum es mehr als zweiduzend Top-level Ontologien gibt und warum die einzelnen TLO-Entwürfe kaum zurückgenommen werden.⁴⁸⁷⁶ Ein weiteres Problem besteht darin, dass jede TLO-Selektion spezifische Anforderungen voraussetzt. Indessen sind diese Anforderungen bisher nie systematisch universalisiert worden. Die Nichtexistenz einer universalen Anforderung, die gleichzeitig mit der Koexistenz spezifischer Anforderungen einhergeht,⁴⁸⁷⁷ läuft naturgemäß auch auf eine Koexistenz diverser TLO-Ansätze hinaus. Insofern zeigen sich zwei Seiten des gleichen Sachverhalts: weder ist die Koexistenz disparater wie inkompatibler TLO-Ansätze ohne ein *universales Requirements Engineering* (RE) auflösbar, noch ist die Ontologieproblematik der Informatik ohne dieses überhaupt zu bewerkstelligen.

Wenn mit Pisanelli et al. (2002: 125) gilt: »no computerized systems in this century will ever be designed without an ontological approach«, steht außer Zweifel, dass dies ohne ein gemeinsames Ontologiefundament, ohne eine Koordination verschiedenster Ontologieansätze im Grunde unmöglich ist. Darin aber besteht die Funktion der *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene der Informatik, womit diese nach und nach sämtliche Bereiche der Disziplin durchdringen muss, wenn es um die Realisierung einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität geht. Das bedeutet somit die strikte TLO-Referenz im *Ontology Engineering*, von der bereits in Pkt. 3.3.2 die Rede war. Denn als oberste Ontologieebene der Informatik bildet die *Top-level Ontologie* zwangsläufig den Dreh- und Angelpunkt sämtlicher ontologiebasierter Systeme, wenn es um die fundamentalen Fragen geht. Wenn mit der großen Disparität der philosophischen Fundamente, die im fünften Teil herausgearbeitet wurde, im TLO-Mapping keine ernsthafte Alternative bestehen kann,⁴⁸⁷⁸

⁴⁸⁷⁶ Zwar sind nur wenige TLO-Ansätze wie BFO, BWW oder DOLCE tatsächlich verbreitet; geht es jedoch um eine TLO-Selektion, die sich auf Grundsatzfragen, nicht auf die Frage der Umsetzung und Verbreitung des jeweiligen TLO-Ansatzes bezieht, ist das weite Feld der Ansätze zu berücksichtigen.

⁴⁸⁷⁷ Damit ist etwa gemeint, dass die BWW-TLO primär im CM-Kontext steht, die BFO-TLO im AI-Kontext von *Scientific Ontologies* oder die DOLCE-TLO primär im AI-Kontext technologischer Ontologien. Genauso grenzt sich etwa die Cyc UCO in ihrer *Common Sense-Basis* für bestimmte Anforderungen aus.

⁴⁸⁷⁸ Bei solchen Ansätzen, etwa bei Chauhan et al. (2015) wird übersehen, dass es weniger um linguistische Aspekte, etwa Begriffsdeutungen geht als vielmehr um Kategorien, die immer in ihrem meta-ontologischen bzw. metaphysischen Zusammenhang zu sehen sind: Ein Prozess, der etwa ein 3D-Prozess in aktuellen Welten auf Basis ontischer Kategorien und methodologisch verfeinertem objektiven Wissen ist, entspricht gewiss nicht einem 4D-Prozess etwa in möglichen Welten bei epistemischen Kategorien und

steht mit dem Ziel durchgängiger Interoperabilität die elementare Relevanz der *Top-level Ontologieevaluation* außer Frage. Dabei versteht es sich von selbst, dass eine aktive TLO-Selektion nicht auf Basis lediglich spezifischer Anforderungskriterien erfolgen kann, sondern allein auf Basis *universaler*, die unmittelbar und objektiv nachvollziehbar sind. In kohärenter Weise ist dies allein auf Basis eines geeigneten, alle universalen Belange adressierenden Referenzszenarios möglich: Im Kontext des IoX-totalen *U-PLM-Referenzszenarios* können in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* sämtliche Anforderungen Berücksichtigung finden, die in der Ontologiedebatte insgesamt von Relevanz sind. Im CPSS/SEA-Sinne eines universalen Ontologieverständnisses und eines integrierten Ontologiekonzepts lassen sich dabei in grundsätzlicher Hinsicht zwei Kernkriterien spezifizieren, die im Zuge der TLO-Evaluation entscheidend sind. Sie bestehen in der Frage, inwieweit die einzelnen TLO-Theorieanwärter cyber-physisch einer echten *Universalität* wie einer faktischen *Integrativität* zu entsprechen vermögen.

Die ontologische Revolution der Informatik ist ohne die Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter nicht zu bewerkstelligen und diese ist mit Baumann/Herre (2011) gerade auch mit Blick auf die Weiterentwicklung der Ansätze als entscheidend zu erachten. Dessen ungeachtet steht sie nach wie vor aus.⁴⁸⁷⁹ Das betrifft vor allem die umfassendere philosophische Analyse, ohne die eine Top-level Ontologieevaluation letztlich nicht sachgerecht durchführbar ist. Es kann kaum sinnvoll erscheinen, komparative TLO-Evaluierungen vorzunehmen ohne den dazu erforderlichen gesamten philosophischen Unterbau zu reflektieren. Denn auf diesen kommt es bei der Evaluierung der Top-level Ontologien eigentlich an, wenn letztlich jeder TLO-Ansatz mindestens implizit einen *metaphysischen* TLO-Kern aufweist. Das betrifft jedoch genauso die Top-level Ontologie in ihrer Funktion in IoX-Szenarien, wie sie im U-PLM-Kontext der *Smart Factory* etwa mit dem in Pkt. 6.2.1 behandelten *Semantic Complex Event Processing* (SCEP) von direkter Relevanz ist. Somit besteht das im ersten Teil festgestellte elementare Forschungsdefizit tatsächlich.

Der Umstand, dass es eine solche komparative Studie bisher noch nicht gibt, ist vielschichtig und beginnt bereits mit der im ersten Teil dargelegten und im dritten Teil gelösten großen Konfusion um den Ontologiebegriff und das Ontologiekonzept der Informatik. Natürlich ist eine solche Untersuchung nur dann möglich, wenn mit Blick auf die vielzähligen Konzepte annähernd ein klares Bild von dem besteht, was unter "Ontologie" überhaupt zu verstehen ist. Dann kommt die umfassende Klärung des OE-Ansatzpunkts hinzu, wie sie in Pkt. 3.3.2 mit entsprechendem Umfang erfolgte. Ferner ist die Frage der Metaphysik zu klären, die philosophischen Ansätze als Bezugsbasis zu diskutieren und die meta-ontologischen Kriterien zu spezifizieren. Hinzu kommt die wissenschaftssoziologi-

subjektivem Wissen. Dabei können diese Merkmale beliebig variieren und sind noch durch die verschiedensten Aspekte, etwa die Verhältnisbestimmung von Ereignis und Objekt, zu ergänzen.

⁴⁸⁷⁹ TLO-Vergleiche stellen sich bisher entweder als überblicksartige Zusammenstellungen dar, vgl. etwa Mascardi et al. (2007) oder beziehen sich auf einen speziellen, engen Anwendungskontext, etwa *Middleware*, vgl. Oberle (2006).

sche Komponente: in den tieferen Details der TLO-Ansätze sind zumeist jene bewandert, die selbst in irgendeiner Weise einem spezifischen TLO-Paradigma zuordenbar sind. Insofern ist ein tatsächlich objektiver TLO-Vergleich auch in dieser Hinsicht nicht unproblematisch. Analog sind eine Reihe kombinierter Kompetenzen erforderlich. Schließlich lässt sich eine solche Evaluierung allein im Kontext eines Referenzszenarios vornehmen, das entsprechend umfassende Anforderungen an die TLO-Theorieanwärter mit sich bringt. Schon hier stellt sich das Problem der Objektivität in der Auswahl der Anforderungen.⁴⁸⁸⁰ Diese ließen sich mitunter prinzipiell genau so zusammenstellen, dass einzelne TLO-Ansätze besonders gut abschneiden. Denn jeder TLO-Ansatz, das wird die exemplarische Analyse in Pkt. 7.3 zeigen, besitzt jeweils seine Stärken und Schwächen.

Offensichtlich verstehen auch Baumann/Herre (2011) unter einer komparativen TLO-Analyse mehr als das, was es bereits gibt. Tatsächlich hinken die bisherigen TLO-Vergleiche in mindestens dreifacher Weise: Erstens dadurch, dass diese Vergleiche an der Oberfläche bleiben, also erst gar nicht in die eigentlich erforderliche Tiefe vordringen. So klassifizieren Oberle (2006) und Obrst (2010) etwa die BFO-TLO in grundlegenden Punkten diametral verschieden. Die jeweiligen umfassenderen Begründungen fehlen allerdings dazu. Vor allem fehlt zumeist ein roter Faden in der Bewertung, indem kein universaler Anforderungskontext spezifiziert wird. Insofern lässt sich für Dritte natürlich kaum entscheiden, ob und inwiefern etwa ein perdurantistischer TLO-Ansatz tatsächlich einem endurantistischen vorzuziehen ist, oder ob ein streng aktualistischer TLO-Ansatz besser ist als eine possibilistische Top-level Ontologie. Man kann prinzipiell jede Antipode nachteilig erscheinen lassen; das wird auch in den Metaphysiken von Bunge – bis zur *implizit* bei Quine gegebenen auch genauso praktiziert. Umso mehr muss es verwundern, dass kaum versucht wird, der Top-level Ontologie in ihrem eigentlichen Wesen gerecht zu werden, indem man diese tatsächlich *universalontologisch* konzipiert. Das allerdings geht nur mit Metaphysiken, die für sich Feyerabends (1975) "*anything goes*" in seiner metaphysischen Abwandlung beanspruchen können, nämlich mit Klasse-4-Metaphysiken. Insgesamt betrachtet ist es also um das Feld der *TLO-Evaluierung* schlecht bestellt, wenngleich es eine immer wichtiger werdende Funktion besitzt. Zudem ist die oben erwähnte Objektivität bzw. Neutralität in der Tat zu bemängeln: oftmals werden bei spezifischen TLO-Ansätzen

⁴⁸⁸⁰ Um ein Beispiel zu bemühen: In der Monographie von Raabe/Wacker/Oberle et al. (2012: 128 f.) zu *Rechtsontologien* werden zwar eine Reihe von TLO-Ansätzen wie DOLCE, SUMO, OpenCyc, BFO oder OCHRE aufgezählt, dann aber ohne eine für Dritte nachvollziehbare Analyse des speziellen Anforderungskontexts einfach behauptet: »Insgesamt passen die philosophischen Positionen der wahrnehmungsorientierten Grundlagenontologie DOLCE [...] am besten auf das Vorhaben der Formalisierung des Rechts«. Mit der zentralen Rolle der Top-level Ontologie, die sie als oberste Ontologieebene etwa mit den jeweils verschiedenen Top-level Kategorien bei der Formalisierung des Rechts spielt, wird damit der elementare Kern des gesamten Sachverhalts vollständig übergangen. Zwar verweisen Raabe/Wacker/Oberle et al. (2012: 128 f.) auf Oberle (2006), bei dem zumindest eine Auswahl von Ansätzen gegenübergestellt und verglichen werden, doch bleiben dabei einige wesentliche Ansätze unberücksichtigt, geht die Diskussion nicht in die erforderliche Tiefe und bezieht sich mit ihrem Fokus auf technische *Middleware* auf einen gänzlich anderen Kontext, der mit Rechtsontologien bzw. den Rechtswissenschaften letztlich nicht das Geringste zu tun hat.

allein die Vorteile gesehen, die sich jedoch lediglich in den jeweils sehr spezifischen Anwendungskontexten zeigen. Demgegenüber bleiben die Nachteile in anderen für die Informatik genauso relevanten Kontexten unberücksichtigt. Hier ist etwa auf das Defizit technologischer Ontologie bei BFO, auf die Problematik wissenschaftlicher Ontologie bei DOLCE oder auf das KR-Defizit bei BWW zu verweisen. Die Diskussion wird also insofern in eher ungeeigneter Weise geführt, als sie sich mit der allgemeinen Relevanz der Top-level Ontologie in qualifizierter Weise nur im Kontext eines kompletten bzw. möglichst vollständigen Anwendungs- und Integrationsszenarios der Informatik führen lässt. Mit anderen Worten kann die TLO-Evaluierung im Kontext von Spezialfällen bzw. engen, spezifischen Anforderungen für die allgemeinen Integrationserfordernisse der Disziplin insgesamt weder wegweisend noch tatsächlich erhellend sein.

Zweitens sind bisherige TLO-Evaluierungen insofern defizitär, als sie sich in aller Regel nur auf wenige ausgewählte Top-level Ontologien beziehen. Hierzu gehört etwa der Vergleich von BFO, DOLCE und OCHRE im Rahmen eines EU-Projekts (WonderWeb).^{4881, 4882} Daneben existiert etwa der Vergleich von SUMO, Upper Cyc und DOLCE mit Blick auf die Anwendbarkeit durch US-Regierungsbehörden,⁴⁸⁸³ der Vergleich von BWW und der durch Milton vertretenen Chisholm-Ontologie,⁴⁸⁸⁴ der Vergleich von BWW und SUMO,⁴⁸⁸⁵ der Vergleich von DOLCE und BFO,⁴⁸⁸⁶ der Vergleich von DOLCE und SUMO,⁴⁸⁸⁷ oder der Vergleich von GFO, DOLCE und der Sowa-TLO.⁴⁸⁸⁸ Etwas umfassendere Vergleiche mehrerer TLO-Ansätze finden sich hingegen höchst selten,⁴⁸⁸⁹ je umfassender das Spektrum an TLO-Ansätzen Berücksichtigung findet, desto oberflächlicher erweist sich die Analyse.⁴⁸⁹⁰ Der Anspruch eines vollständigen TLO-Theorieanwärtervergleichs findet sich hingegen bisher nicht; insbesondere auch nicht in der erforderlichen philosophischen Tiefe, d.h. insbesondere einschließlich der letztlich unabdingbaren grundsätzlichen metaphysischen, epistemologischen und methodologischen Diskussion. Auffällig ist, dass die DOLCE-Ontologie bei jedem der o.g. Vergleiche Berücksichtigung findet, während die BWW-Ontologie fast ausnahmslos unberücksichtigt bleibt, auch wenn diese

⁴⁸⁸¹ Vgl. Masolo/Borgo et al. (2003).

⁴⁸⁸² Ziel war es, die o.g. Ontologien in eine *WonderWeb Foundational Ontologies Library (WFOL)* zu integrieren, um auf diese Weise eine semantische Interoperabilität zwischen verschiedenen Top-level Ontologien herzustellen, vgl. Masolo/Borgo et al. (2003). Indessen blieb es bei dieser Idee, was letztlich auf die Inkommensurabilität der TLO-Ansätze zurückgeht, vgl. hierzu auch die Ausführungen bei Grenon (2003a); jüngere Mapping-Initiativen anderer Autoren (z.B. ROMULUS) versuchen dennoch, diese alte Idee wieder aufzugreifen, vgl. Khan/Keet (2013a, 2013b).

⁴⁸⁸³ Vgl. Semy/Pulvermacher/Obrst (2004).

⁴⁸⁸⁴ Vgl. Milton/Kazmierczak (2000, 2004), Davies/Green/Rosemann (2002), Milton (2004) sowie Davies/Rosemann/Milton/Green (2005).

⁴⁸⁸⁵ Vgl. Evermann/Fang (2010).

⁴⁸⁸⁶ Vgl. Grenon (2003a).

⁴⁸⁸⁷ Vgl. Pease (2007).

⁴⁸⁸⁸ Vgl. Herre/Heller/Burek et al. (2006).

⁴⁸⁸⁹ Vgl. Oberle (2006) sowie Mascardi et al. (2007).

⁴⁸⁹⁰ Vgl. etwa Kumar/Sumathi (2016).

im Bereich der konzeptuellen Modellierung am meisten bemüht wird.⁴⁸⁹¹ Neben anderen Vorbehalten, die in Verbindung mit der Kritik dieses Ansatzes stehen,⁴⁸⁹² ist dies nicht zuletzt dem Umstand geschuldet, dass die BWW-Ontologie im Wesentlichen einseitig für diesen Zweck genutzt wird. Allerdings ist vor dem Hintergrund des im dritten Teil umrissenen integrierten Ontologieansatzes, der dem CM-Aspekt primäre Stellung einräumt, auch dieser Ansatz von Interesse.

Drittens sind bisherige TLO-Evaluierungen insofern defekt, als sie sich auf ungeeignete, enge Anwendungs- und Integrationsfälle beziehen. Mit *cyber-physischen U-PLM-Systemen* wurde im ersten Teil ein unmittelbar praxisrelevantes, gängiges Referenzszenario ausgearbeitet, das in dieser Sache unverdächtig ist: es wurde gewählt, weil in ihm das komplexeste und zugleich diffizilste Szenario besteht, dessen Anforderungen sich in direkter, systematischer Weise ableiten lassen. In der Tat deckt dieses Szenario als produkt- bzw. variantenbezogene Integrationsplattform der *Smart Enterprise Integration* (SEI) sämtliche Anforderungen an Top-level Ontologien *kohärent* ab. Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* stellt ein realweltliches Szenario dar, das gleichzeitig Innovations- wie Präzisionsaspekte berücksichtigt und als Integrations-szenario auf eine vollumfängliche semantische Interoperabilität abstellt, bei der die verschiedensten Ontologiearten und -typen aufeinandertreffen. Es handelt sich um ein Szenario, das auf wissenschaftliche, technologische wie auf praktische Ontologien zielt. Dabei haben gerade auch die wissenschaftlichen resp. die damit zusammenhängenden technologischen Ontologien in einem generischen Ansatz auf sämtliche PLM-relevanten Industrien abzustellen: von der Luft- und Raumfahrtindustrie über die Biotechnologie, Medizintechnik, den Bereich Öl, Gas, Raffinerie sowie die Energieversorgung (Utilities) oder schließlich die Hightech- und Elektronikindustrie (u.a. Halbleiterindustrie). Es handelt sich zudem um ein Szenario, bei dem für Forschungs- und Innovationsaspekte subjektive mit objektivierten bzw. objektiven Ontologien zu verbinden sind. Für das Agenten- bzw. Multiagentensysteme große Relevanz besitzen, das IoX-basiert ist und mit der *Smart Factory* einen diffizilen IoX-Kontext besitzt, etwa mit Blick auf die Steuerungs- und Regelungstechnik (Sensorik, Aktorik). Es ist ein Szenario, das die verschiedensten CPS (CPPS, CPLS, CPSS usw.) bzw. die kognitive Robotik mit einbezieht (vgl. Abb. 2), und das schließlich das Moment verteilter Umgebungen bzw. räumlich verteilter Systeme, insbesondere auch den GIS-Kontext mit berücksichtigt (etwa PEID bei mobilen Systemen bzw. Produkten). Dabei implizieren IoT-Produkte (PEID), deren Daten gerade im Kontext des Produktlebenszyklus von Relevanz sind, das enge Zusammenspiel von IoT-Plattform und U-PLM-System. Indem die Produkte vieler PLM-relevanter Industrien komplexe Systemprodukte darstellen und diese Systemprodukte als CPS wiederum aktive bzw. intelligente IoT-Produkte bilden,⁴⁸⁹³ ist für alle PLM-Lösungsanbieter die In-

⁴⁸⁹¹ Vgl. als Ausnahme Abbas (2013), wenn auch hier nicht weiter auf den BWW-Ansatz eingegangen wird.

⁴⁸⁹² Vgl. Milton (2004), Wyssusek (2006a, 2006b), Guarino/Guizzardi (2006), Allen/March (2008) sowie March/Allen (2009).

⁴⁸⁹³ Vgl. etwa Sallez (2012, 2014a, 2014b).

Integration von IoT-Plattform und PLM-System von erster Priorität. Mit Pkt. 2.1 steht diese Entwicklung auch hinter der Akquisition der IoT-Plattform *ThingWorx* durch den PLM-Lösungsanbieter PTC (Windchill). Wichtig ist die Feststellung, dass alles zusammengehört: komplexe Systemprodukte sind als *Product Service Systems* (PSS) zu verstehen, die wiederum im Zeichen der kombinierten PLM- bzw. SLM-Lebenszyklen stehen,⁴⁸⁹⁴ die sich auf IoT-Produkte beziehen und damit die IoX-Infrastruktur voraussetzen. Dabei geht es im PPR-Sinne zuvorderst um eine *prozessbasierte* Unterstützung IoT-basierter *Product Service Systems* (PSS),⁴⁸⁹⁵ die insgesamt zu Steuerungszwecken wiederum einer ontologischen Fundierung bedarf.⁴⁸⁹⁶ Das betrifft in produzierenden Industrien auch insofern die gesamte EA-Architektur, als herkömmliche Serien- oder Massenfertiger im PSS-Sinne mehr und mehr in *Product-Service Provider* transformiert werden.⁴⁸⁹⁷ In diesem Sinne gehen intelligente IoT-Produkte mit der intelligenten Produktion der *Smart Factory* Hand in Hand, und setzen somit eine einheitliche IoX-basierte *Smart Enterprise Architecture* (SEA) voraus.

Darüber hinaus geht es um ein Szenario, für das *integrierte CM- und AI-Aspekte* im Kontext integrierter Prozess- und Wissenssysteme gerade in ihrer Kombination der Prozessintelligenz eine zentrale Rolle spielen, und das auf dem elementaren *Complex Event Processing* (CEP bzw. SCEP) aufsetzt. Es geht um ein Szenario, bei dem der zentrale Gegenstand, nämlich U-PLM-Systeme, selbst ein *komplexes adaptives System* (CAS) darstellt, das zahlreiche einzelne CAS in sich integriert. Es handelt sich um ein Szenario, für das Heavyweight-Ontologien genauso wie sämtliche in Pkt. 3.3.1 klassifizierte Ontologietypen von direkter Relevanz sind, insbesondere auch die engstens auf den jeweiligen TLO-Ansatz zu beziehende Kernontologie (CO), die im SEI-Szenario zuvorderst in der *Enterprise Ontology* (EO) besteht. Es geht darüber hinaus um ein Szenario, das externe und interne Metaphysik (SAW-Ontologien usw.) einfordert, das mit seiner CPS-Basis ontische wie epistemologische Ontologieaspekte bzw. Kategorien anspricht, genauso wie physische und virtuelle Welten, oder natürliche wie artifizielle Objekte und Ereignisse. Das aktuelle wie mögliche Welten erfordert, und allein auf Basis der in Pkt. 3.5 umrissenen integrierten Ontologiekonzeption von CYPO FOX als integrierter metaphysischer Wissensontologie adressierbar ist. Mit ihr steht außer Frage, dass die Natur des Wissens mit in die Überlegungen einzubeziehen ist. Schließlich handelt es sich um ein Szenario, das ungeachtet seiner Komplexität in seiner *produktzentrischen* Natur für Ontologieexperten aus sämtlichen Disziplinen überaus relevant und gleichzeitig allgemeinverständlich ist. Auch Fachfremde werden sich unter den in Abb. 1 dargestellten PLM-Phasen wie unter dem Produktlebenszyklus (PLC) an sich unmittelbar etwas vorstellen können, etwa wenn im Fall der Automobilindustrie, in der PLM-Systeme eine Schlüsselstellung besitzen, mit in den Fahrzeugen verbauten PEID-Systemen als IoT-Produkten auch das Closed-loop PLM bzw.

⁴⁸⁹⁴ Vgl. etwa Aurich et al. (2006, 2007) sowie C. Herrmann et al. (2010).

⁴⁸⁹⁵ Vgl. Zancul/Takey et al. (2016).

⁴⁸⁹⁶ Vgl. D. Baxter et al. (2009) sowie Annamalai et al. (2011a).

⁴⁸⁹⁷ Vgl. V. Martinez et al. (2010).

U-PLM allgemein nachvollziehbar ist. Genauso sollte verständlich sein, dass etwa biomedizinische Ontologien in ihrer Eigenart als *Scientific Ontologies* für PLM-Industrien wie die Medizintechnik von Relevanz sind. Kurzum: es handelt sich um ein ontologisches Anwendungs- und Integrationsszenario, in dem sich eine bestmögliche Prüfung im Zeichen der *Universalität* wie *Integrativität* einzelner TLO-Ansätze vollziehen lässt. Dazu ist in erster Linie die in Pkt. 6.3 vorgenommene *meta-ontologische Spezifizierung bei intendierter Superintelligenz* der dritten AI-Generation als ausschlaggebend zu erachten. Ein TLO-Theorieanwärter ist in *grundsätzlicher* Hinsicht insofern gegenüber konkurrierenden Ansätzen als superior zu werten, wenn er erstens besser dieser meta-ontologischen Spezifizierung entspricht sowie zweitens damit verbunden eine größere *Universalität* (CPS-Aspekt) und potentielle *integrative Kraft* (SEA-Aspekt) in Bezug auf die vielgestaltigen, in Pkt. 7.2 dargelegten fünfzig universalen Anforderungen besitzt. Damit besteht in der CPS- wie der damit unmittelbar verbundenen *SEA-Adäquanz* der TLO-Theorieanwärter ein objektiv geeigneter Prüfstein, der besser geeignet ist als alle anderen denkbaren.

Indem die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auf *Universalität* wie *Integrativität* abstellt, gleichzeitig jedoch im Kontext unmittelbar praktischer Zwecke steht, resultiert daraus eine besondere Konstellation: mit Blick auf die Universalität wie Integrativität lässt sich im Kontext dieser Adäquanzprüfung eine wegweisende Grundsatzdebatte führen, gleichzeitig jedoch auch die Frage direkter Anwendbarkeit evaluieren. Diese Frage direkter Anwendbarkeit ist jedoch allein eine prinzipielle, als sie sich aufgrund der Komplexität des Szenarios im Allgemeinen auf bestimmte Teilausschnitte bezieht. Insofern ist an dieser Stelle deutlich herauszustellen, dass die Evaluierung, die hier erfolgt, analog zur Debatte in den anderen Teilen nicht nur eine universale, sondern auch eine fundamentale ist, indem es um die *Frage des grundsätzlichen Zuschnitts der Top-level Ontologie* geht. Somit kommen auch TLO-Ansätze zum Zuge, die in der praktischen Anwendung bisher wenig beachtet werden oder gar keine Rolle spielen. D.h. das Kriterium, ob ein TLO-Ansatz in einer gängigen Repräsentationssprache verfügbar ist, muss in einer grundsätzlichen Debatte genauso relativiert werden wie die Frage, inwieweit der Ansatz verbreitet ist oder seine Weiterentwicklung gesichert ist. Denn zunächst einmal muss es um die fundamentalen metaphysischen Fragen, also um die Kategorien und meta-ontologischen Aspekte gehen, wie sie in Pkt. 7.2 im ersten und zweiten Schritt dargelegt sind. Damit wird etwa die nicht praktisch eingesetzte Sowa-TLO genauso in die engere Auswahl genommen wie etwa die vergleichsweise weit verbreitete DOLCE-TLO oder BFO-TLO.

Es besteht weitgehende Einigkeit, dass die *Ontologieevaluierung* (Ontology Evaluation) insgesamt ein zunehmend wichtig werdendes Feld des *Ontology Engineering* (OE) manifestiert.⁴⁸⁹⁸ Wie in jeder OE-Hinsicht, stellt sich das Erfordernis der Einheit zwischen philosophischer und AI-Ontologie auch für diese Zwecke. Das zeigt sich bereits, wenn Ansätze

⁴⁸⁹⁸ Gómez-Pérez (2004) unterteilt die Ontologieevaluierung (Ontology Evaluation) nochmals in die *Verifikation* (Ontology Verification) und *Validation* (Ontology Validation); entsprechend ist hier mit der *Ontologieevaluierung* beides gemeint.

zur Ontologieevaluation wie *OntoClean* wesentlich auf der philosophischen Ontologie aufbauen.⁴⁸⁹⁹ Dabei ist die Ontologieevaluation für jede Ontologieart wie für jeden Ontologietyp maßgeblich, natürlich keineswegs etwa nur für Top-level Ontologien. Auch zielt sie nicht nur auf Referenzontologien, sondern ebenso auf Anwendungsontologien.⁴⁹⁰⁰ Allerdings steht außer Frage, dass in der Evaluierung von *Top-level Ontologien* eine ganz besondere Herausforderung liegt; sie ist ungleich problematischer als die Evaluierung nachrangiger Ontologien. Entsprechend sind für die *Top-level Ontologieevaluation* eine Reihe spezifischer meta-ontologischer *Evaluationskriterien* wesentlich,⁴⁹⁰¹ die ebensolcher spezieller *Evaluationsmethoden* erfordern.⁴⁹⁰² Die große Vielzahl von Ansätzen und Beiträgen trägt diesen speziellen Erfordernissen und Kriterien jedoch keine Rechnung.⁴⁹⁰³ Dabei wird oftmals primär nur auf allgemeine Evaluationskriterien, nicht aber auf die für die Top-level Ontologie wesentlichen *meta-ontologischen Aspekte* abgestellt.⁴⁹⁰⁴ Insbesondere wird deutlich, dass eine *Top-level Ontologieevaluation* wenig sinnvoll erscheinen kann, ohne zuvor die Ontologieproblematik als solche, die überaus divergente Auslegung des Ontologiebegriffs sowie die damit verbundenen disparaten Ontologiekonzepte eingehend zu erörtern.

Natürlich kann eine solche *Top-level Ontologieevaluation* auch wenig aufschlussreich sein, ohne dass die damit verbundenen philosophischen Programme sowie die meta-ontologischen Aspekte eingehend diskutiert werden. Wenn für Gómez-Pérez (2001: 394) im Rahmen der AI-Ontologieevaluierung gilt: »The formal definition is metaphysically consistent, that is, if there is no contradiction in the interpretation of the formal definition with respect to the real world«, muss sich das offenbar auf eine Metaphysik beziehen, auf deren Basis sich die fundamentalen Strukturen der realen Welt auch tatsächlich einwandfrei bestimmen lassen. Zwar spezifiziert Gómez-Pérez (2001) seinen Verweis auf die Metaphysik nicht näher, doch steht außer Zweifel, dass dies mit Blick auf den erforderlichen Ratio-Empirismus keine Klasse-2-Metaphysiken sein können, da diese nicht wirklich empirisch veranlagt sind. Demgegenüber scheitern Klasse-3-Metaphysiken nicht zuletzt am technologischen Moment der Ontologie. Somit wird deutlich, dass letztlich allein Klasse-4-Metaphysiken gemeint sein können, d.h. techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysiken. Wenn es somit insbesondere um den Gegensatz zwischen Strawsons (1959) deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik geht, bei dem sich jeder TLO-Ansatz genau einer der beiden Seiten zurechnen lässt, ist nicht nur die Bewandnis dieses Gegensatzes an sich zu reflektieren, sondern damit zusammenhängend gerade auch die Metaphysik als solche; ihr Stand, ihre Problematik sowie ihre Funktion sind dabei eingehend zu diskutieren. Ansonsten lässt sich

⁴⁸⁹⁹ Vgl. hierzu etwa Guarino/Welty (2009) sowie Seyed (2012b).

⁴⁹⁰⁰ Vgl. exemplarisch Garbacz (2012).

⁴⁹⁰¹ Vgl. hierzu etwa Semy et al. (2004), Obrst/Hughes/Ray (2006) sowie Obrst et al. (2007); vgl. auch Mascardi et al. (2007).

⁴⁹⁰² Eine TLO-relevante Methode ist *OntoClean*; vgl. in Anwendung auf die BFO-TLO Seyed (2011, 2012a).

⁴⁹⁰³ Vgl. etwa explizit Vrandečić (2009).

⁴⁹⁰⁴ Vgl. etwa Gangemi/Catenacci et al. (2005) sowie Tartir et al. (2010), die jeweils zumindest die auch für die TLO-Evaluation relevante *OntoClean*-Methode berücksichtigen.

mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 sowie Pkt. 6.2.2 kaum Licht in die beiden vollkommen gegensätzlichen OE-Ansatzpunkte bringen, hinter denen diese beiden grundsätzlichen metaphysischen Programme – mitsamt ihrer Vielzahl an Varianten – stehen. So geht es bei der Diskussion zwischen Wyssusek (2006a, 2006b), Guarino/Guizzardi (2006) und anderen nicht nur um den Gegensatz zwischen *realistischen* und *linguistischen* Ontologien, und damit um eine Alternative zur BWW-Ontologie, etwa DOLCE. Vielmehr geht es mit der BWW-Ontologie als Ansatz *revisionärer Metaphysik* und DOLCE bzw. der Ontologiekonzeption Grubers als Ansätzen *deskriptiver Metaphysik* letztlich um die Frage der Metaphysik als solcher. Insofern wird es unumgänglich, die einzelnen TLO-Theorieanwärter im Kontext der in Pkt. 4.1 abgegrenzten Metaphysikklassen zu diskutieren. Dazu ist eine entsprechende Zuordnung zu vollziehen, wie sie nachfolgend in Abb. 62 vorgenommen wird:

Metaphysikklasse (gem. Pkt. 4.1)	TLO-Ansatz	Metaphysiktypus (gem. Pkt. 6.2)
Deskriptive Klasse 2 (defekt) - 3D+T Objektmetaphysik - analytisch bzw. linguistisch - Kein Physikmodell - Priorität der Sprachebene - Common Sense wesentlich	- DOLCE (z.T. platonistisch) - GFO 3D-alt (Concepts) - UFO (possible worlds) - Chisholm (z.T. platonistisch) - SUMO (linguistisch) - Cyc (linguistisch) - GUM (linguistisch) - Analytic Approach	Deskriptiv / Universalismus - Linguistischer Universalismus - Platonistischer Universalismus - Zulässigkeit möglicher Welten - Konzepte - Zuschnitt auf einfache Systeme - linguistische Dominanz
Deskriptive Klasse 2A (defekt) - 3D+T Objektmetaphysik - phänomenologisch - Kein Physikmodell - Priorität der Sprachebene - wissenschaftlicher Anspruch	- BFO - OCHRE	Deskriptiv / Aktualismus - Neo-aristotelische Ansätze - aristotelische Universalien - Ablehnung möglicher Welten - Zuschnitt auf einfache Systeme - linguistische Dominanz
Revisionäre Klasse 3 (defekt) - 3D Objektmetaphysik - Explizites 3D-Physikmodell - wissenschaftlich - physisch, naturalistisch - Ratio-Empirismus (realistisch)	- BWW 3D-Materialismus (Scientific Realism)	Revisionär / Aktualismus - Neo-aristotelischer Ansatz - aristotelische Universalien - Ablehnung möglicher Welten - Zuschnitt auf komplexe Systeme - logico-mathematische Fixierung
Revisionäre Klasse 4 (korrekt) - 4D Prozessmetaphysik - Explizites 4D-Physikmodell - techno-wissenschaftlich - <i>cyber-physisch, digitalistisch</i> - informatorisch (Impuls, Signal) - Ratio-Empirismus (realistisch)	- Sowa 4D (<i>defizitär</i>) - Russell/Norvig 4D (<i>defizitär</i>) - BORO 4D-Ontology (<i>defizitär</i>) - GFO 4D-neu (<i>defizitär</i>)	Revisionär / Universalismus - Platonistischer Universalismus - Leibnizens Digitalismus - Zulässigkeit möglicher Welten - Whiteheads Ratio-Empirismus - Zuschnitt auf komplexe Systeme - logico-mathematische Fixierung

Abb. 62: Zuordnung der TLO-Theorieanwärter zu Metaphysikklassen

Jede Metaphysikklasse bringt bestimmte Eigenarten mit sich und impliziert spezifische meta-ontologische Entscheidungen, wie sie im sechsten Teil im Einzelnen diskutiert wurden. Dabei ist deutlich geworden, dass TLO-Theorieanwärter universalen Anforderungen nur dann zu entsprechen vermögen, wenn diese auf Basis einer Klasse-4-Metaphysik konzipiert sind. D.h., dass sie mit einer techno-wissenschaftlichen Metaphysik zu korrespondieren haben, die gleichzeitig Digitalmetaphysik ist. In dieser Eigenart handelt es sich um *revisionäre* Ansätze, die gleichzeitig im *cyber-physischen* Sinne insofern *universal* sind,

als sie sich auf aktuelle wie auf mögliche Welten bzw. auf physische wie auf virtuelle Welten projizieren lassen. Denn nur dann können sie als Referenzbasis für sämtliche Ontologietypen und alle Ontologiearten fungieren, und als "*ontological backbone*" tatsächlich alles mit allem transdisziplinär integrieren. Allerdings ist mit der grundsätzlichen Zuordenbarkeit zur Klasse-4-Metaphysik nicht automatisch gewährleistet, dass TLO-Ansätze dieses Zuschnitts insgesamt richtig konzipiert sind. Zwar gehen TLO-Ansätze, die mehr oder weniger der Klasse-4-Metaphysik entsprechen, grundsätzlich in die richtige Richtung. Indessen wird sich zeigen, dass alle in diese Kategorie fallenden TLO-Theorieanwärter zwar nicht grundsätzlich defekt sind, wie es für all jene TLO-Ansätze zu konstatieren ist, die in die drei anderen Metaphysikklassen fallen. Als 4D-Prozessontologien sind sie wohl *an sich* richtig konzipiert, doch sind sie insofern als elementar defizitär zu erachten, indem sie verschiedene maßgebliche Defizite aufweisen.

7.2 Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwärter via IMKO OCF

»The further development of top level ontologies and its applications needs a comparative study of the different approaches to understand and evaluate their strengths and weaknesses. Such investigations are yet missing at present [...].«

— Ringo Baumann/Heinrich Herre (2011: 6)

Dass Computer als CPS-basierte "*Reality Machines*" – entgegen Brooks (1986, 1991b) et al. – weder allein noch primär auf der *Behavior-based AI* und entsprechend emergenten Agentenarchitekturen aufbauen können steht mit der Einsicht in den Umstand außer Frage, dass McCarthys (1995) "*general world view*" als *globales Weltmodell* zu verstehen ist, das sich nicht durch die Aggregation einer Vielzahl induktiver *lokaler Weltmodelle* ersetzen lässt. Das hat nicht nur damit zu tun, dass diese lokalen Weltmodelle auf begrenzte, isolierte Wissensdomänen fixiert sind, die es mit Verweis auf Pkt. 1.2 vielleicht mit einer *Pluridisziplinarität* oder allenfalls mit der *Multidisziplinarität* aufnehmen können, nicht aber mit *Transdisziplinarität*, die für eine höhere Problemlösungskompetenz und damit für die AI-Superintelligenz vorauszusetzen ist. Vielmehr hat die Nichtaggregierbarkeit lokaler Weltmodelle gerade auch mit Methodologie zu tun, die darüber entscheidet, wie das Wissen generiert wird und von welcher Qualität es ist. Das globale Weltmodell ist kein induktives, sondern ein deduktives, das nicht nur über den *Ratio-Empirismus* gewonnen wird, sondern über diesen auch fallibel ist. Mit anderen Worten bewegen sich die Verfechter emergenter Agentenarchitekturen mit Pkt. 4.1 auf dem inferioren Niveau der *induktiven Metaphysiken* von G.T. Fechner (1848, 1851) oder H. Lotze (1879, 1883), nicht aber auf jenem der techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik*, die in tatsächlicher Erfüllung des zentralen Kriteriums der CPSS-Adäquanz nicht nur mit allen physischen Welten korrespondiert, sondern mit ihrem parallelen Status als Digitalmetaphysik gleichzeitig mit allen Cyberwelten. Es ist dabei ein leichtes unter wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkten darzulegen, dass die gesamte Idee induktiver lokaler Weltmodelle, auch wenn man sie einem vereinheitlichenden Ontologie-Mapping unterzieht, nicht wegweisend sein

kann. Das schließt das Erfordernis solcher lokaler Weltmodelle keinesfalls aus, nur lassen sich diese nicht als primär erachten. Vielmehr ist zunächst zu verstehen, dass die diversen Ontologietypen und -arten in einem semantisch vollumfänglich interoperablen System einer Hierarchisierung bedürfen, an deren Spitze gewiss nicht – etwa nach Cyc-Maßgabe – eine *Common Sense-Ontologie* stehen kann. Vielmehr vollzieht sich die hierarchische Gliederung der Ontologietypen von der *Scientific Ontology* über die davon abgeleitete technologische Ontologie hin zu praktischen Ontologien der Technopraxis, zu denen *Common Sense-Ontologien* zu zählen sind. In semantisch vollumfänglich interoperablen Systemen, in denen jede Ontologie mit jeder faktisch oder zumindest potentiell interdependent ist, lässt sich dieses Verhältnis natürlich nicht umdrehen.

Diese Hierarchisierung spiegelt sich mit Pkt. 3.5 in der Systematik von CYPO FOX wider. In ihr ist die W1-Ontologie die primäre, als sie nicht nur vermittelt der Top-level Ontologie als "*ontological backbone*" auf objektiven, über den Ratio-Empirismus gewonnenen ontischen Kategorien basiert, sondern auch Wissen repräsentiert, das empirisch-deduktiver Natur ist. W1-Ontologien verkörpern naturwissenschaftliche Ontologien, die mit den jeweiligen Schlüsseltheorien konform zu gehen haben. Analoges gilt für die ebenfalls empirischen W4-Ontologien mit Blick auf soziale Welten. Bei W3-Ontologien handelt es sich um intersubjektive Ontologien, die auf Konsensbasis in ihrem Status den subjektiven W2-Ontologien, die einzelne Agentenwelten repräsentieren, überlegen sind. Über diese Welt- bzw. Ontologietypen hinaus besteht mit Verweis auf Pkt. 3.3.1 eine nicht minder klare Hierarchisierung der Ontologiearten, indem zum einen Anwendungsontologien auf Referenzontologien referenzieren, aber nicht umgekehrt. Auch steht mit Verweis auf Abb. 3 etwa die Kernontologie immer über der Domänenontologie, und die Top-level Ontologie immer über der Kernontologie – niemals aber umgekehrt. Dabei verlangt die hierarchische Stellung der Top-level Ontologie, dass sie nicht nur an der Spitze der Ontologiearten steht, sondern gleichzeitig alle Ontologietypen vereinigen kann. Mit anderen Worten besteht einzig und allein in der *Top-level Ontologie* der Garant für eine durchgängige, vollumfängliche semantische Interoperabilität der gesamten Ontologiearchitektur. Wenn außer Frage steht, dass es bei der IoX-basierten *Smart Enterprise Integration* (SEI) um eine auf "*Reality Machines*" bezogene *CPSS-adäquate Top-level Ontologie* gehen muss, ist evident, dass die Top-level Ontologie auch über allen Notationen, Konzepten und Modellen der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) steht, und damit gleichzeitig in fundamentaler Hinsicht maßgeblich für die Wahl und Weiterentwicklung aller konzeptuellen Modellierungstools ist. Mit Verweis auf Pkt. 3.2.2 sowie Pkt. 3.2.3 besitzt die *Top-level Ontologie* als fundamentales Weltmodell dabei nicht nur im Sinne der CM- bzw. AI-Referenz eine Doppelfunktion, sondern vielmehr integriert sie als solche die CM- und die AI-Sphäre. Als fundamentales Weltmodell steht sie entsprechend über der *Smart Enterprise Architecture* (SEA), die in allen Fragen fundamentaler Strukturen der jeweiligen Diskursuniversen auf sie referenziert.

Gegenstand der Informatik sind Systeme, die sich hinsichtlich der Daten-, Informations- bzw. Wissensebene abgrenzen lassen. Ungeachtet dessen geht es bei allen Systemtypen der Informatik um Integration und entsprechend um Interoperabilität, die bei Zugrundelegung eines modernen semantischen Informationsbegriffs immer die Notwendigkeit der *semantischen Interoperabilität* bedingt. Im Sinne vollendeter Integrationsbemühungen bilden *semantisch vollumfänglich interoperable Systeme* und somit die ontologiebasierte *Smart Enterprise Integration* (SEI) einen zentralen Leitgedanken der modernen Informatik. Spätestens seit Newell (1982) – aber prinzipiell schon immer – ist dieser Leitgedanke insbesondere auch dem *Knowledge Level* verpflichtet. Vollumfängliche Interoperabilität auf dem *Knowledge Level* setzt dabei *Transdisziplinarität* voraus, die sich allein über einheitliche meta-ontologische Kriterien wie einheitliche Top-level Kategorien – mithin vermittelt der *Top-level Ontologie* als oberster Referenzebene – realisieren lässt. Ungeachtet des landläufig zu beobachtenden breiten Unverständnisses der eigentlich fundamentalen wie zentralen Funktionen, die die *Top-level Ontologie* für die Informatik besitzt, ist festzustellen, dass das bisherige TLO-Engineering nicht jenen Ansprüchen genügen kann, die indessen an jedes Software Engineering bzw. Systems Engineering gelegt werden. In der Tat besteht in dieser Sache ein klares Missverhältnis, wenn die *Top-level Ontologie* die Entwicklungsrichtung für die gesamte *Smart Enterprise Architecture* (SEA) vorgibt bzw. sie in Koordination der CM- und AI-Sphäre zu ihrem zentralen Dreh- und Angelpunkt avanciert. Dabei prägen im Wesentlichen zwei grundlegende Defekte das bisherige *TLO-Engineering*: (i) es wird vollständig von einem echten *Requirements Engineering* als erstem maßgeblichen Schritt des Entwicklungsprozesses abstrahiert; (ii) die Orientierung bei dem bisherigen TLO-Engineering ist *keine universale*, sondern stellt regelmäßig auf einzelne, für sich genommene Welttypen, Anforderungen und Problemfelder ab.⁴⁹⁰⁵ Ein universales wie integriertes Ontologieverständnis ist jedoch Basis jeder vollumfänglichen semantischen Interoperabilität. Insgesamt betrachtet setzt eine sachgerechte Evaluierung konkurrierender *Top-level Ontologien* geeignete Evaluierungskriterien voraus, die allein in *universalen Anforderungen* bestehen können, die auf Basis eines professionellen *Requirements Engineering* systematisch zu identifizieren und in ihrer Sicherstellung zu verfolgen sind.⁴⁹⁰⁶

Ad (i) Wie in Pkt. 1.5 erwähnt, setzen PLM-Lösungsanbieter wie Oracle oder Siemens bereits ihre eigenen PLM-Lösungen ein um die weitere PLM-Softwareentwicklung zu steuern. Wesentlich ist dabei vor allem die erste Phasengruppe des in Abb. 1 exemplarisch illustrierten PLM-Zyklus, die in allen Industrien, also auch in der Softwareindustrie, im *Requirements Engineering* (RE) besteht.⁴⁹⁰⁷ Relevant ist hier vor allem die Spezifikation der Anforderungen, die bei SPLM-Systemen eine ontologische Spezifikation bedingt, die

⁴⁹⁰⁵ Das gilt nicht nur für das *TLO-Engineering*, sondern auch bzgl. von *Requirements* zur *TLO-Auswahl*, etwa unter Berücksichtigung *spezifischer* Middleware-Anforderungen, vgl. exemplarisch Oberle (2006).

⁴⁹⁰⁶ Mit der *Requirements-Oriented Methodology for Evaluating Ontologies* (ROME) bei J. Yu (2008) wird ähnlich dafür plädiert, die Ontologieevaluierung an das RE zu koppeln; allerdings geht es dabei weder um universale Kriterien noch überhaupt um eine TLO-Evaluierung.

⁴⁹⁰⁷ Vgl. hierzu etwa M. Jackson (1995) sowie Nuseibeh/Easterbrook (2000).

in sachgerechter Weise nicht um eine TLO-Spezifikation umhinkommt. Aber auch jenseits des U-PLM-Referenzszenarios ist festzustellen, dass kein TLO-Engineering erfolgen kann ohne RE-Spezifikation. Indem die Informatik die kontrovers geführte TLO-Debatte im Sinne ihrer obersten ontologischen Referenzebene ernst nehmen sollte, weil "*Reality Machines*" weder an der Realitätsfrage noch an den verschiedensten Implikationen der ontologischen CPSS-Adäquanz vorbeikommen, muss sie dies im Sinne eines systematisch betriebenen *Requirements Engineering* tun. Ein Wechsel etwa von 3D- auf 4D-Entitäten lässt sich in praxi nachträglich mit Blick auf den Trägergedanken kaum mehr vollziehen, genauso wie alle anderen meta-ontologischen wie kategorialen Aspekte im Grunde nicht korrigierbar sind. Das *U-PLM-Referenzszenario* stellt nicht nur das einzige tatsächlich aussagekräftige IoX-Totalmodell dar. Vielmehr gilt gleiches hinsichtlich des *Ontology Engineering* als solchem. Denn Ontologien bilden *Produkte*, womit die gleichen PLM-bezogenen Voraussetzungen gegeben sind wie für das *Product Engineering* im Generellen. Damit ist evident, dass es nicht nur ein *Product Lifecycle Management* (PLM) im Allgemeinen gibt, sondern auch ein *Ontology Lifecycle Management* (OLM) im Besonderen:

»*Ontology architecture* is emerging as a distinct discipline in ontology engineering – as an ontology development and deployment structure and methodology [...]. It necessarily also includes aspects of what is sometimes termed *ontology lifecycle management* [...]. In fact, ontology architecture can be considered to encompass ontology lifecycle management because the former lays out a general framework for the development, deployment, and maintenance of ontologies (which is the focus of lifecycle management), but also includes the interaction of applications and services that use ontologies, and an ontology tool and service infrastructure to support these.«⁴⁹⁰⁸

Das *Ontology Lifecycle Management* (OLM) ist entsprechend im generellen Paradigma des *Product Lifecycle Management* (PLM) zu denken; somit steht außer Frage, dass auch jede Ontologieentwicklung mit einem *Requirements Engineering* beginnen muss, was allen voran für die nicht ganz unkomplizierte Architektur der *Top-level Ontologie* als allgemeingültiger Referenzebene einzufordern ist. Ad (ii) Nicht nur sollte das *Requirements Engineering* mitsamt Lasten- und Pflichtenheft zur Anforderungsspezifikation im TLO-Engineering entgegen der bisherigen Praxis an sich eingeführt werden. Vielmehr ist genauso entscheidend, dass Einsicht in die Notwendigkeit bestehen muss, die Anforderungen zu universalisieren. Eine Top-level Ontologie ist nur dann richtig konzipiert, wenn sie dem Gedanken *universaler Ontologie* verpflichtet ist. In technischer Hinsicht setzt eine solche *universale Ontologie* konsequenterweise auch eine entsprechend *universalisierte Anforderungsspezifikation* voraus. Denn in technischer Hinsicht impliziert eine universale Ontologie die IS/KS-Integration genauso wie die CM/AI-Integration, und sie muss damit genauso alle Ontologietypen wie alle Ontologiearten in transdisziplinärer Weise bei gleichzeitiger CPSS-Adäquanz vereinigen können. Entsprechend ist der Gedanke *universaler Ontologie* in der Informatik zwar ungleich schwieriger umzusetzen als in der Philosophie, doch ist die tatsächliche Realisierung dieser Umsetzung für erste ungleich wichtiger. Denn das letztendliche Ziel vollumfänglicher semantischer Interoperabilität lässt sich nur dann erreichen,

⁴⁹⁰⁸ Obrst (2010: 27), Hvh. des Orig.

wenn es von Anfang an verfolgt wird. Inkommensurable Ontologien wie inkompatible Teilsysteme lassen sich hingegen im Nachhinein allenfalls sehr aufwändig korrigieren. Insofern kann die richtige Orientierung allein in der in Pkt. 6.3 darlegten *Superintelligenz* der dritten AI-Generation bestehen, mit der diese universalen Anforderungen greifbar werden.

Vor dem Hintergrund der Argumente (i) und (ii) wird deutlich, dass die Wahl eines TLO-Theorieanwärters als ontologische Referenzbasis eine strategische Entscheidung manifestiert. Das gilt gerade auch dann, wenn sich diese Entscheidung in praxi zumeist nicht auf das Ganze, sondern lediglich auf einzelne konkrete Teilprojekte bezieht. Selbst in diesen Fällen müssten an sich immer gerade auch universale Requirements entscheidend sein, weil das Integrationserfordernis mit anderen Systemen in der Informatik im Allgemeinen nur eine Frage der Zeit ist. Indessen ist festzustellen, dass es nicht nur ein systematisches *Requirements Engineering* in der TLO-Debatte nicht gibt, sondern es bestenfalls um spezifische Anforderungen geht, jedoch nicht um universalisierte bzw. universale Requirements. Insofern braucht das Ergebnis der bisherigen fragwürdigen TLO-Entwicklungsprozesse nicht zu überraschen, indem bei zahllosen TLO-Entwürfen ohne jeden Rückgriff auf die RE-Systematik bald notwendig ein substantielles TLO-Inkommensurabilitätsproblem das Resultat markiert. TLO-Entwicklungsprozesse sind durch viele Faktoren getrieben; sie entsprechen jedoch aktuell kaum dem Bild, das professionelle Engineeringprozesse auszeichnet. Wenn das TLO-Engineering ohne Zweifel den wichtigsten und schwierigsten Part des *Ontology Engineering* (OE) bildet ist zu postulieren, dass der TLO-Entwicklungsprozess als lebenszyklusorientierter systematischer *Engineeringprozess* verstanden wird, der analog zum PLM-Zyklus in Abb. 1 immer mit dem *Requirements Engineering* zu beginnen hat. Bei OE-Prozessen ist somit nicht anders zu verfahren als beim *Product Engineering* im Generellen, wobei dieses im PSS-Sinne mit den IoX-Anforderungen korrespondiert. Indem das *Ontology Engineering* als *Ontology Lifecycle Management* (OLM) zu konzipieren ist, hat es selbst im Zeichen des *U-PLM-Referenzszenarios* zu stehen.

Indem mit Pkt. 1.2 die ontologische Revolution nicht ohne die *Top-level Ontologie* zu bewerkstelligen ist, werden auf Basis der in Pkt. 3.5 umrissenen CYPO FOX die TLO-Anforderungen in Form von fünfzig Requirements im Sinne der *Superintelligenz* der dritten AI-Generation universalisiert. Diese konstituieren zugleich McCarthys (1995) "*general world view*" einer modernen, zur *Superintelligenz* zukunfts offenen Informatik. Mit diesen fünfzig Anforderungen, die jede CPSS/SEA-adäquate *Top-level Ontologie* unter dem Regime potentieller Superintelligenz zu erfüllen hat, ist die Evaluierung und Selektion adäquater TLO-Theorieanwärters problemlos möglich. In Abhängigkeit vom *Integrationsvermögen* der einzelnen TLO-Theorieanwärters ist vor dem Hintergrund des Ziels einer *universalen* TLO-Konzeption der tatsächliche "Gold Standard" vergleichsweise einfach zu ermitteln. Denn dieser ist in jenem TLO-Ansatz gegeben, der die fünfzig Requirements in seiner Integrationsleistung am besten erfüllt. Indem der eigentliche "Gold Standard" indessen in der Realisierung aller fünfzig Anforderungen zu einer IoX-adäquaten zukunfts offe-

nen TLO-Architektur besteht, die keiner der aktuellen TLO-Theorieanwärter erfüllen kann, ist auf ihrer Basis ein TLO-Neuentwurf zu vollziehen, wie es in Pkt. 8.4 als weiterer Forschungsbedarf konstatiert wird.

Vor dem Hintergrund einer kritischen Revision wurden in Pkt. 1.1 *fünf IoX-Subsysteme* differenziert, die eine jeweils arteigene, in der *IoX-Meta-Ontologie* jedoch *integrativ* zu lösende Ontologieproblematik aufweisen:

- (i) *Internet of Data (IoD)*: *Real-Time Big Data Streaming Analytics (OCEP)*
- (ii) *Internet of Services (IoS)*: *technologische Ontologien (Semantic EA / ED-SOA)*
- (iii) *Internet of Things (IoT)*: *CPS-adäquate Ontologien (korrektes Physikmodell)
Variante: Internet of Industrial Things (IoIT) = Factory of Things (Smart Factory) = Industrie 4.0 (?)*⁴⁹⁰⁹
- (iv) *Internet of Agents (IoA)*: *exakte Scientific Ontologies / MAS-Superintelligenz;
Agentenwelten / Belief Systems (Thinking Space);
MAS-Ontologien [M2M, M2R, R2M]*
- (v) *Internet of People (IoP)*: *exakte Semantic E-Sciences vs. inexakte Common
Sense Ontologies (Social Web) [H2H, H2M, M2H]*

Entsprechend müssen sich auch die spezifischen Anforderungen dieser *fünf IoX-Subsysteme* in der universalen IoX-Anforderungsspezifikation wiederfinden lassen. Mit Blick auf den universalen Charakter, den die *Top-level Ontologie* besitzt, sind dabei zunächst die *fundamentalen Anforderungen* an die TLO-Theorieanwärter in universaler Weise zu spezifizieren. Dazu sind bei intendierter *Superintelligenz* der dritten AI-Generation vor dem Hintergrund der geführten Diskurse (i) fünfzehn *fundamentale Requirements* zu fordern:

R1) *Universales Ontologieverständnis zur semantischen Interoperabilität*: Superintelligenz setzt die Lösung des Inkommensurabilitätsproblems voraus; im ersten Schritt ist dabei an der alles bestimmenden *TLO-Inkommensurabilität* anzusetzen (vgl. Pkt. 1.1, Pkt. 1.2). Die Ontologiedefinition ist dann richtig ausgelegt, wenn Ontologien *semantisch explizit spezifizierte formale Weltmodelle* repräsentieren, wobei das *fundamentale* Weltmodell in der *Top-level Ontologie* als "*ontological backbone*" besteht, während die verschiedenen Weltmodelle im Zeichen einer *Mehrweltenontologie* (R8) wie *CYPO FOX* in einem systematischen Bezug zueinander stehen. Jedes universale Ontologieverständnis muss dabei dem Kriterium der *CPSS-Adäquanz* (R2) genügen; anders gewendet ist eine TLO-Konzeption bei CPSS-Inadäquanz nicht-universal und somit abzulehnen, indem sie dem für TLO-Theorieanwärter maßgeblichen Kriterium *universaler Ontologie* nicht entspricht.

⁴⁹⁰⁹ Das konventionelle Verständnis der Industrie 4.0 macht i.d.R. an der *Smart Factory* und entsprechend mit der *Factory of Things* am *Internet of Industrial Things (IoIT)* fest. Indessen ist diese Sichtweise völlig ungeeignet, indem es um durchgängige digitale Wertschöpfungsketten geht. Richtig lässt sich die Industrie 4.0 (I40) entsprechend nur konzipieren, wenn all ihre Grundlagen aus der universalen IoX-Perspektive entwickelt werden. Das betrifft nicht zuletzt auch die Frage der Ontologie; alle *I40-Ontologie* sollte entsprechend auf der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* gründen.

R2) *Reality Machines, CPSS-Adäquanz, Sensorik/Aktorik*: Jede Form von IoT-Computing ist *Cyber-physical Computing*; intelligente Cyber-physische Systeme (CPS) zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine physische Sensorik wie eine physische Aktorik besitzen, deren adaptive Verschaltung sich in Form eines oder mehrerer AI-Agenten vollzieht, was wiederum das kausale Cyber-Moment markiert. Ein vollständiges *Smart Object* weist somit die kybernetischen Momente der Perzeption (Sensorik), intelligenter Adaption (Agent) sowie Zustandsregelung bzw. kausaler Steuerung (Aktor) auf; letzterer lässt sich in vielen Fällen entsprechend als *Controller* verstehen.⁴⁹¹⁰ Das klassische *Event-Condition-Action* (ECA)-Regelschema weicht somit im biokybernetischen Sinne *Sense-Compute-Actuate* (SCA)-Schleifen,⁴⁹¹¹ wobei das *Computing* durch adaptive Agenten vollzogen wird. Dabei sind Sensoren und Aktoren zumeist *physisch* existent, es gibt sie jedoch genauso in einer *virtuellen* Variante. Demgegenüber stellen sich natürliche Agenten etwa als steuernde Nutzer *physisch*, artifizielle AL-Agenten *artifiziell*, und maschinelle AI-Agenten *virtuell* dar. Physische Sensoren *erfassen* physikalische Größen, während diese durch physische Aktoren *verändert* werden.⁴⁹¹² Physische *Sensoren* erfassen etwa Strahlung, Rauch, Gase, Lichtstärke, akustische Wellen, Vibrationen, Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck usw., womit sie eine Transformation aller messbaren naturwissenschaftlichen Sachverhalte in IoX-Datenmodelle eröffnen, die sich mit dem *Internet of Things* wissenschaftlich, technologisch sowie praktisch in vielfacher Weise nutzen lassen. Die IoX-Sensorik operiert dabei auf Grundlage des *Cloud Computing* bzw. *Fog Computing* als *Sensing as a Service* (SenaaS),⁴⁹¹³ wobei *Sensors as a Service* wiederum im IoS-Sinne auf SOA-Basis stehen.⁴⁹¹⁴ Indem die Sensorik ereigniszentriert ist, wird der zentrale Stellenwert von ED-SOA-Architekturen in IoX-Kontexten mitsamt der Notwendigkeit ihrer ontologischen Fundierung nochmals unterstrichen.⁴⁹¹⁵ Insbesondere verteilte heterogene Multisensorsysteme eröffnen in jeder der drei Hinsichten Möglichkeiten, die im Vergleich zum jeweils bisherigen Lösungsstand als superior zu werten sind.⁴⁹¹⁶ Analoges gilt für sozial- bzw. verhaltenswissenschaftliche bzw. soziotechnologische Sachverhalte, indem etwa Bewegungssensoren oder Ultraschallsensoren genauso auch soziale Prozesse in verschiedensten Hinsichten in Versuchsumgebungen messbar machen oder IoX-Navigationsmodule mit GPS-Positionsdaten im Zeichen des *Ubiquitous Computing* (R5) eine Vielzahl neuer IoX-Services eröffnen. Insofern handelt es sich beim *Internet of Things* gewiss nicht bloß um eine industrielle Revolution; vielmehr erstreckt sich diese neuerliche

⁴⁹¹⁰ Vgl. etwa F. Hu et al. (2016).

⁴⁹¹¹ Vgl. Zaslavsky et al. (2012).

⁴⁹¹² Vgl. F. Hu et al. (2016).

⁴⁹¹³ Vgl. etwa S. Alam et al. (2010), Zaslavsky et al. (2012) sowie Newe et al. (2016).

⁴⁹¹⁴ Vgl. etwa Ibbotson et al. (2010) sowie Lombardo et al. (2014).

⁴⁹¹⁵ Vgl. etwa S. Alam et al. (2010).

⁴⁹¹⁶ Vgl. dazu etwa Daidone et al. (2014).

digitale Revolution im Zeichen des *Internet of Everything* auf sämtliche Lebensbereiche. Physische *Aktoren* sind nicht weniger facettenreich; sie regeln bzw. verändern physikalische Größen etwa bei physischen Signalgebern, Motoren, Hydraulik, Pneumatik, Heizung und Kühlung, Leuchten, Lautsprechern oder Sprinkleranlagen. Entsprechend bilden physische Sensoren und Aktoren den wesentlichen – wenn auch nicht ausschließlichen – *physischen* Teil *Cyber-physischer Systeme* (CPS). Demgegenüber bilden adaptive AI-Agenten den wesentlichen – wenn auch nicht ausschließlichen – *virtuellen* Teil *Cyber-physischer Systeme* (CPS). Indem das "Cyber" eine Computer- bzw. Internet-bezogene Vorsilbe bildet, die sich von der Kybernetik (Cybernetics) ableitet, wird bereits deutlich, dass sich diese auf den Adaptionsvorgang bezieht. AI-Agenten bilden dabei das tatsächliche *Agens*, womit deutlich wird, dass das *kausale* Moment *Cyber-physischer Systeme* (CPS) *immateriell* ist, was ein neues Realitätsverständnis (R3, R10) erfordert. Während die Adaption bei einfachen Systemen durchaus lediglich auf einem simplen Algorithmus beruhen kann, setzt jede tatsächlich intelligente Adaption eine *Artifizielle Intelligenz* (AI) voraus. In allen Fällen kann von Agenten gesprochen werden, deren Mächtigkeit bzw. Intelligenzvermögen vom einfachen ECA-Agenten über kognitive Agenten bis hin zur Superintelligenz variiert. Für ihre Mächtigkeit entscheidend ist dabei mit Pkt. 6.3 vor allem die Agentenarchitektur, wobei sich echte Superintelligenz allein auf Basis einer *hybriden Agentenarchitektur* (R19) realisieren lässt, bei der die Agentenwelt mit einem ganzen *System von Ontologien* (R7) verkoppelt ist, das über die TLO-Referenz auch McCarthys (1995) zentralen AI-Gedanken des "*general world view*" inkorporiert. Reale agentenbasierte Adaptionsvorgänge, die Sensorik und Aktorik verschalten, sind in einer solchen CYPO-konformen Agentenarchitektur entsprechend fundamental ontologiebasiert. Dabei kann sich eine MAS-ontologiebasierte Adaption letztlich allein auf Grundlage von CYPO *FOX* vollziehen, indem für komplexe Adaptionsvorgänge neben physischen (W1), subjektiven (W2) sowie technologischen (W3) Aspekten auch das Verhalten bzw. Status relevanter anderer Agenten (W4) zu berücksichtigen ist. Wesentlich ist, dass nicht nur Agenten, sondern sämtliche zentralen Momente eines vollständigen *Smart Object*, also gerade auch die Sensorik und Aktorik für sich genommen, *ontologiegestützt* sind.⁴⁹¹⁷ Genauso elementar muss dabei jedoch die Einsicht sein, dass dies insgesamt eine vollends CPSS-adäquate Ontologie voraussetzt: Mit der Superintelligenz sind Computer als "*Reality Machines*" aufzufassen, was wiederum notwendig komplexe Cyber-physische Systeme (CPS) voraussetzt. Gleichzeitig bildet prinzipiell jedes komplexe IoX-System bereits dann ein CPS, wenn es in einem Bereich des PPR-Frameworks eine *physische* Sensorik bzw. Aktorik aufweist. Das ist bereits bei den meisten IoT-Produkten der Fall, ansonsten in der Regel bei physischen Produktionsprozessen bzw. phy-

⁴⁹¹⁷ Vgl. etwa Villalonga et al. (2010).

sisch-technischen Ressourcen. Insofern ist Haeckels (1995, 1999) *Adaptive Enterprise Design* als *Sense-and-Respond Model* in seiner auf CAS/MAS-Basis operierenden Variante des *Sensing Enterprise* im Allgemeinen als *Cyber-physisches System* (CPS) zu verstehen.⁴⁹¹⁸ Will man dabei die Interaktion maschineller und natürlicher Agenten besonders betonen, wird auch von *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) gesprochen. Die *Smart Factory* bildet mit *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS) bzw. *Manufacturing Cyber-Physical Systems* (MCPS) immer ein Cyber-physisches System (CPS) bzw. setzt sich aus einer Vielzahl davon zusammen.⁴⁹¹⁹ Mit Westkämper et al. (2005) geht es gerade auch bei ihr in zentraler Weise um die *Fusion der virtuellen und physischen Welt*, womit sie auch dann richtig liegen, wenn sie den gerade dabei entscheidenden Aspekt nicht thematisieren, nämlich die Ontologie. Daneben beziehen sich komplexe IoX-Systeme in industriellen Kontexten wie dem PLM-Referenzszenario immer auf die komplette Supply Chain. In der Tat sind in *Product Service Systems* (PSS),^{4920, 4921} wie sie für komplexe IoX-Systeme oftmals charakteristisch sind, logistische Aspekte von elementarer Bewandnis. Dabei erstrecken IoX-Systeme sich in der Variante des *Physical Internet* (PI) auf ganze Logistiknetzwerke, die sich auf Basis des *Smart Web* und speziellen PI-Containern hochintelligent steuern lassen und damit besonders effizient sowie umweltfreundlich werden.⁴⁹²² Somit wird im Sinne von *Cyber-Physical Logistics Systems* (CPLS) auch in dieser Hinsicht die CPSS-Adäquanz für komplexe IoX-Systeme ontologisch verpflichtend. Die insgesamt für die Informatik unabdingbare *CPSS-adäquate Ontologie* ist von weitreichender Konsequenz: hierzu gehören etwa Sensorontologien, CAW-/SAW-Ontologien, die HLIF Informationsfusion sowie die erforderliche Integration von GIS-Funktionalitäten. Die *Sensorik/Aktorik* ist dabei für die Interaktion in realen wie Cyberwelten elementar. Hinzu kommt etwa die weiter unten erwähnte MAS- bzw. CEP-Fixierung (vgl. Pkt. 1.5.1, Pkt. 4.1, Pkt. 4.5, Pkt. 6.2.1). Gemäß der CPSS-Adäquanz wird insgesamt ein metaphysisches System erforderlich (R16), das sich durch drei Aspekte auszeichnet: das (i) die *physische Welt* genau so konzipiert,⁴⁹²³ wie die physische Welt auf Basis des aktuellen Stands wissenschaftlicher Erkenntnis auch wirklich ist; entsprechend ist die Kompatibilität mit regionalen Ontologien der Naturwissenschaften, insbesondere der Physik (z.B. Zeitpfeil) für aktualistische Ontologien (W1A, W2A, W3A, W4A) zwingend. Das (ii) die für CPS notwendige *durchgängige Kombination physischer und virtueller Welten* zulässt.

⁴⁹¹⁸ Vgl. Agostinho et al. (2016) sowie Panetto et al. (2016).

⁴⁹¹⁹ Vgl. etwa J. Lee (2015), J. Lee/Bagheri/Kao (2015) sowie Leitão/Barbosa (2016).

⁴⁹²⁰ Vgl. Goedkoop et al. (1999) sowie Baines et al. (2007).

⁴⁹²¹ Im industriellen Kontext ist teils gesondert von *Industrial Product-Service Systems* (IPS²) die Rede, vgl. etwa Rese et al. (2009) sowie H. Meier et al. (2011); wir sehen in *universaler IoX-Perspektive* davon ab.

⁴⁹²² Vgl. Montreuil (2011), Ballot et al. (2012), Montreuil et al. (2013), Sallez et al. (2015), Krommenacker et al. (2016) sowie Rahimi et al. (2016). Vgl. dazu ergänzend W. Lang et al. (2011).

⁴⁹²³ Vgl. hierzu etwa E.A. Lee (2008).

Daraus folgt, dass die CPSS-adäquate Ontologie im Sinne einer Synthese der gemeinsamen Merkmalsausprägungen (4D-Ereignisse, CAS-Agenten, Selbstorganisation, Komplexität, Strukturalismus usw.) gleichzeitig beiden Seiten gerecht zu werden hat, was allein der durch Whitehead initiierten Klasse-4-Metaphysik vorbehalten ist. Und das schließlich (iii) die *Cyberwelten* genau so konzipiert, wie es ein sensorbasiertes AI-Processing, das Verhandeln (Negotiation) von MAS-Agenten oder etwa das Durchspielen (noch) nicht-realisiertener Planungs- bzw. Steuerungsszenarien im Zeichen möglicher Welten erfordert. Entsprechend wird anhand dieser heterogenen, jedoch direkt zusammenhängenden Anforderungen deutlich, dass mit dem Kriterium der CPSS-Adäquanz die bereits in Pkt. 3.2.4, Pkt. 3.3 sowie in Pkt. 3.4 geforderte Vereinheitlichung des philosophischen Ontologiebegriffs und des AI-Ontologiebegriffs unabdingbar wird: In semantisch vollumfänglich interoperablen IoX-Systemen – wie letztlich im Zeichen der *Einheit des Wissens* auch insgesamt – kann es nur *ein* sachgerechtes Ontologieverständnis geben, und das ist das unter R1 genannte. Auf dieser Basis besteht nicht nur ein direkter Bezug zum universalen Ontologieverständnis (R1), sondern es resultieren daraus auch zahlreiche weitere Requirements wie R9, R10, R11 und R12.

- R3) *Metaphysischer Realismus, reale Weltmodelle, realistischer OE-Ansatzpunkt*: Gängige linguistische AI-Ontologiekonzeptionen wie etwa die Grubersche (1993, 1995) abstrahieren vollständig vom metaphysischen Realismus. Bei Wysusek/Klaus (2005b) wird der zwingende Bezug zur Außenwelt gar explizit abgestritten. Solche Positionen sind indessen für eine CPSS-adäquate Ontologie (R2) vollkommen unhaltbar. Für die CPSS-adäquate Ontologie ist vielmehr der *metaphysische Realismus* als fundamentale Basishypothese zu setzen, indem physische Welten als existent anzunehmen sind: CPS sind "in der Welt" und "Teil" der physischen Welt,⁴⁹²⁴ also der Welt 1. Damit ist die Welt 1 auch die primäre. Als physische Systeme unterliegen CPS physikalischen Gesetzmäßigkeiten und Kausalitäten. Darüber hinaus steht es in der Superintelligenzforschung außer Frage, dass die Weltmodelle, die den AI-Basislevel betreffen, *reale Welten* zum Gegenstand haben müssen.⁴⁹²⁵ Der sachgerechte Ansatzpunkt für das *Ontology Engineering* (OE) ist entsprechend kein linguistischer, sondern immer ein *realistischer*, indem Superintelligenz Computer zwingend im CPS-Sinne als "*Reality Machines*" versteht. Die linguistische *Harmonie-These* ist mit P.M. Simons (2002, 2004a) unhaltbar und mit der physischen CPS-Basis außer Kraft gesetzt (R16). Ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis setzt vielmehr voraus, dass die fundamentalen Strukturen der Welten bzw. der Realität nicht etwa in

⁴⁹²⁴ Vgl. E.A. Lee (2008: 363): »Cyber-Physical Systems (CPS) are integrations of computation with physical processes. Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, usually with feedback loops where physical processes affect computations and vice versa. In the physical world, the passage of time is inexorable and concurrency is intrinsic. Neither of these properties is present in today's computing and networking abstractions«; vgl. hierzu ferner E.A. Lee (2010) sowie Tarraf (2013).

⁴⁹²⁵ Vgl. etwa Soares/Fallenstein (2014).

Sprachstrukturen bzw. der Grammatik gesucht werden, sondern vielmehr auf den *Ratio-Empirismus* einer techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik abstellen, die zugleich Digitalmetaphysik ist. Normalsprache ist zulässig, aber nicht als OE-Ansatzpunkt, sondern vielmehr als Mittel zum Zweck (vgl. Pkt. 3.3.2, Pkt. 3.4, Pkt. 4.1). Darin besteht ein grundsätzlicher Unterschied, der nicht verkannt werden sollte. D.h. Normalsprache dient zu nicht mehr als zur Vereinfachung im Sinne von Benutzerschnittstellen, die auf der jeweilig zu spezifizierenden formalen Logik aufgesetzt sind. Allerdings ist selbst dann dabei die Grammatik zu beachten, die mit der TLO-Referenzbasis zu korrespondieren hat; Normalsprache sollte also im Sinne Davidsons konzipiert sein, für den 4D-Ereignisse zentral sind. Insgesamt betrachtet ist der "*linguistic turn*" an seinem Ende angekommen und mit C.B. Martin/Heil (1999) ein erneuter "*ontological turn*" zu vollziehen. Dieser hat systematisch vom *metaphysischen Realismus* auszugehen und der daraus folgenden Einsicht, dass die fundamentalen Strukturen der Realität eingehender Klärung bedürfen, was Sache *revisio-närer Metaphysik* bzw. ihres *Ratio-Empirismus* ist (R16).

- R4) *CAS-Orientierung, Theorie komplexer Systeme, Automatenuniversum*: Indem es sich bei CPS um *Complex Adaptive Systems* (CAS) handelt und in komplexen Systemen in dieser Adaption ein zentrales Moment der Superintelligenz liegt, ist sie in der universalen Perspektive der *Theorie komplexer Systeme* bzw. der Komplexitätsforschung zu erschließen, die sowohl für physische Systeme wie für Cybersysteme Gültigkeit besitzt. Entsprechend sind *komplexe Entitäten* mitsamt korrespondierender Mereologie vorauszusetzen; komplexe Entitäten spielen daneben auch mit Blick auf die Event Streams im CEP-Ansatz (R9, R20) eine zentrale Rolle. Bei Russell/Norvig (2010) oder Poole/Mackworth (2010) ist die CAS-Orientierung der AI-Disziplin bereits deutlich erkennbar. Andererseits ist sie mit allen Bereichen des *Smart Web* bzw. komplexen IoX-Systemen notwendig vorauszusetzen, wie es auch etwa im Kontext der *Smart Factory* geschieht.⁴⁹²⁶ Ein universales Ontologieverständnis (R1), das gemäß universaler Ontologiedefinition ein "*common formal framework*" (R40) voraussetzt, kommt nicht umhin, die erforderliche Mehrweltenontologie (R8) im Sinne moderner Formen der Automatentheorie bzw. der Komplexitätsforschung zu konzipieren (vgl. Pkt. 4.3). Die *Top-level Ontologie* ist als oberste Referenzebene sämtlicher komplexer Systeme zu konzipieren; als *transdisziplinäre Universalontologie* manifestiert sie eine *Ontologie komplexer Systeme*, unabhängig davon, ob diese im wissenschaftlichen, epistemischen oder technologischen Zusammenhang stehen. Unabhängig davon, ob es um Natur- oder Sozialwissenschaften geht, ob es komplexe Systeme der Wissenschaft oder der Praxis sind. Denn alle vier Welten der CYPO-Architektur sind gewiss Teil der *einen* Realität, die im Zeichen von Whiteheads und Poppers integrativer Realitätsauffassung (R22) sowohl plato-

⁴⁹²⁶ Vgl. etwa Morvan et al. (2012).

nistische wie aristotelische als auch Kantische Züge (R16, R17, R18) trägt und diese in einem abgestuften Realitätsverständnis vereint. Die dahinter stehende agentenbezogene techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik erfordert in ihrem Ratio-Empirismus (R16) indessen einen Mittler, der in der Komplexitätsforschung gegeben ist (vgl. Pkt. 4.3). Mit der CAS-Orientierung der AI-Disziplin kann die für Zwecke der ontologischen Integration notwendige ratio-empirische Synthese aller Welten allein in einer universalen Basis bestehen, deren Entwicklung sich im Zeichen von *World Automata* an der *Theorie zellulärer Automaten* bzw. vergleichbarer Ansätze orientieren sollte. Auf ihrer Grundlage werden alle Welten vermittelt einer einheitlichen TLO-Konzeption integrativ als agentenbasierte *Complex Adaptive Systems* (CAS) verstanden und modelliert. Auf Whiteheads prozessmetaphysischer Basis (R15, R16) wie im Zeichen von Zuses *Computing Universe* (R17) sind alle Welten Teil des *organismisch-evolutionären Struktur- bzw. Automatenuniversums*, das im Sinne Leibnizens für die Informatik *universal* vorauszusetzen ist. Mit C.F. von Weizsäcker (1974: 22 f.) ist die Informatik als *Strukturwissenschaft* zu verstehen, wobei sich diese Auffassung inzwischen auch in der Disziplin selbst durchgesetzt hat.⁴⁹²⁷ Damit ist evident, dass selbstverständlich auch die Ontologie der Informatik elementar wie systematisch nach *strukturwissenschaftlichen Prinzipien* entwickelt werden muss, was allerdings bisher in keiner Weise geschieht. Dabei bestehen die obersten Prinzipien darin, dass sie zum einen notwendig dem Transdisziplinaritätspostulat verpflichtet sein muss, damit zusammenhängend zum anderen auf der *Theorie komplexer Systeme* zu gründen hat. Beide Aspekte lassen sich allein durch eine universale Referenz auf die *Top-level Ontologie* verankern, und sie ermöglichen bzw. erfordern dabei gleichzeitig eine vollumfängliche semantische Interoperabilität. Beides ist insofern selbstverständlich, als die Strukturwissenschaften nicht nur allgemein mit der Komplexitätsforschung gleichgesetzt werden,⁴⁹²⁸ sondern die *Theorie komplexer Systeme* mit Mainzer (1993) gleichzeitig *transdisziplinärer* Natur ist. Strukturwissenschaften im engeren, methodologischen Sinne adressieren komplexe Systeme zuvorderst *in abstracto*, also unabhängig davon, welche Ereignisse bzw. Objekte diese Strukturen aufweisen und auch unabhängig davon, ob diese Ereignisse bzw. Objekte tatsächlich physisch existieren.⁴⁹²⁹ Für R. Weber (1997a: 80) gilt es bereits im Kontext einfacher Informationssysteme als ausgemacht, dass tiefgründige Strukturphänomene den ontologischen Kern der Disziplin bilden, und dabei allein die *Top-level Ontologie* die notwendige Orientierung bieten kann. Insofern ist die ontologische Revolution der Informatik durchaus in einem direkten Zusammenhang mit der strukturwissenschaftlichen Revolution aller Wissenschaften und Technologien zu sehen.

⁴⁹²⁷ Vgl. etwa Klaeren (1991: 9 f.) oder Balzert (2005).

⁴⁹²⁸ Vgl. B.-O. Küppers (1991: 95) sowie Hedrich (1999).

⁴⁹²⁹ Vgl. C.F. von Weizsäcker (1974: 22).

R5) *Ubiquitous Computing*: Superintelligenz lässt sich erst dann richtig realisieren, wenn sich die Datenströme wie die Informationsverarbeitung zeitlich wie räumlich in alle Richtungen allgegenwärtig, also ubiquitär und entsprechend in Echtzeit wie plattformunabhängig vollziehen.⁴⁹³⁰ Insofern ist das *Ubiquitous Computing* (UC) als eine der Grundlagen des *IoX-Computing* zu sehen:⁴⁹³¹ »Internet of Things is the network which can achieve interconnection of all things anywhere, anytime with complete awareness, reliable transmission, accurate control, intelligent processing and other characteristics [...]«. ⁴⁹³² Dabei impliziert der UC-Gedanke, dass adaptive Infrastrukturen allgegenwärtig verfügbar sind, was gerade auch die IoT-Produkte im PEID-Sinne einschließt: »IoT refers to the networked interconnection of everyday objects, which are often equipped with ubiquitous intelligence. IoT will increase the ubiquity of the Internet by integrating every object for interaction via embedded systems, which leads to a highly distributed network of devices [...]«. ⁴⁹³³ Diese allgegenwärtige Verfügbarkeit bezieht sich vor allem auch auf Services, Systeme, Prozesse und Daten. Es geht also jeweils um das *Ubiquitous Information System* (UIS). Dieser Gedanke betrifft dabei mit *Closed-loop U-PLM-Systemen* das komplette PLM-Referenzszenario. Hierzu gehören etwa *U-Design*, *U-Monitoring* und *U-Maintenance* wie das damit verbundene *Ubiquitous Autonomous Work System* (U-AWS).⁴⁹³⁴ Das gilt einschließlich der *Ubiquitous Factory* (U-Factory),⁴⁹³⁵ die genauso wie das *Cloud Manufacturing* bzw. das *Ubiquitous Manufacturing* die ubiquitären Aspekte der *Smart Factory* besonders betont.⁴⁹³⁶ Diese ist als *CEP-basierte* (R20) "*Real-Time Smart Factory*" zu sehen,⁴⁹³⁷ die wiederum als integrierter Teil des *Real-Time Enterprise* (RTE) zu verstehen ist, wenn es um die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) und eine damit korrespondierende *Enterprise Ontology* (EO) geht (R38, R39). Mit Pkt. 6.2.1 mündet das *U-PLM* in den genannten Kontexten im *U-CEP*, das wiederum den ontologischen SCEP-Gedanken voraussetzt. Ubiquitäre Systeme implizieren das Erfordernis voller Autonomie wie situations- bzw. kontextbasierter Intelligenz bei vollumfänglicher semantischer Interoperabilität.⁴⁹³⁸ In ontologischer Hinsicht ist das *Ubiquitous Computing* somit nur auf Basis eines *Adaptive Enterprise Design* als *Sense-and-Respond Model* realisierbar, was sich etwa im Zeichen voll-

⁴⁹³⁰ Zur Realisierung einer solchen technologischen Plattformunabhängigkeit kommt im *Ubiquitous Computing* etwa die *Model Driven Architecture* (MDA) der OMG zum Einsatz, vgl. Goossenaerts (2005).

⁴⁹³¹ Vgl. hierzu etwa Ning (2013).

⁴⁹³² Vgl. X.-Y. Chen/Jin (2012: 562).

⁴⁹³³ Vgl. F. Xia et al. (2012: 1101).

⁴⁹³⁴ Vgl. Husejnagic/Sluga (2015).

⁴⁹³⁵ Vgl. hierzu Yoon et al. (2012); vgl. hierzu bereits Zühlke (2009).

⁴⁹³⁶ Vgl. zum *Cloud Manufacturing* X. Xu (2012) sowie Wang/Xu (2013), zum *Ubiquitous Manufacturing* Kiriikki/Haag (2013); was entsprechend zusammen in *Cloud and Ubiquitous Manufacturing Systems* (CUMS) mündet, vgl. dazu L. Ferreira et al. (2013).

⁴⁹³⁷ Vgl. etwa Hameed et al. (2011) sowie Govindasamy/Thambidurai (2013).

⁴⁹³⁸ Vgl. etwa Dhuieb et al. (2013).

automatisierter Problemlösungsprozeduren in Echtzeit verstehen lässt.⁴⁹³⁹ Diese sind mit D. Chen et al. (2014) nur auf Basis eines *Enterprise Operating System* (EOS) einlösbar. Für die Ontologiearchitektur und den TLO-Systementwurf sind damit umfassende Implikationen verbunden: für PSM sind MO- bzw. DO-Ontologien von Relevanz; es ist eine maximale digitale Durchgängigkeit auf TLO-Basis zu realisieren, und schließlich stellen agentenbasierte Ontologiearchitekturen ein Grunderfordernis dar. Insgesamt ist eine ontologische Basis in Richtung der *Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications* (SOUPA) zu fordern,⁴⁹⁴⁰ die dabei jedoch nach einer CPSS-adäquaten TLO-Referenz verlangt. Mit Blick auf eine durchgängige Intelligenz sind darüber hinaus eine Reihe von Aspekten zu berücksichtigen, u.a. mit der ontologischen Interoperabilität das ganze *System von Ontologien* (R7), die *Heavyweight-Ontologie als kognitive CPS-Präzision* (R12) sowie die *Situiertheit* von Entitäten bzw. die *Kontextbezogenheit* von Sachverhalten (R24), indem das *Ubiquitous Computing* zwangsläufig als "*context-aware and situation-aware computing*" zu verstehen ist.⁴⁹⁴¹ Entsprechend sind auch SAW- bzw. CAW-Ontologien von unmittelbarer Relevanz (R24) und damit rückt insgesamt das in Pkt. 6.2.1 behandelte *Ubiquitous Complex Event Processing* (U-CEP) mitsamt des CEP- bzw. SCEP-Ansatzes (R20) in den Fokus.

- R6) *Integration von CM- und AI-Ontologien*: Superintelligenz setzt voraus, dass Ontologien für CM-Zwecke auf dem gleichen ontologischen Fundament stehen wie Ontologien für AI-Zwecke; konkret haben beide unter dem einheitlichen Regime genau der gleichen *Top-level Ontologie* als fundamentaler Referenzontologie zu stehen. Diese Konvergenz der Ontologien bedeutet im postklassischen CM- und AI-Verständnis zugleich die zwingende Integration von philosophischer und AI-Ontologie (vgl. Pkt. 3.2.2, Pkt. 3.2.3, Pkt. 3.2.4, Pkt. 3.3), indem gerade im CM-Verständnis die fundamentalen UoD- bzw. Weltstrukturen zentral sind. Somit lässt sich auf dieser Basis die Integration von konzeptionellem und semantischem Modell sichern.
- R7) *Ontologieklassifikation als System von Ontologien*: Ontologie ist als *System von Ontologien* wie der Ontologiearten zu verstehen, das einheitlich auf die *Top-level Ontologie* (TLO) als oberster Ontologieebene referenziert, die wiederum metaphysisch verankert ist (vgl. Abb. 3). Damit gilt, dass jedes *Ontology Engineering* ausgehend von der *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieebene zu vollziehen ist. Im Zeichen der *Heavyweight-Ontologie* (R12) ist die TLO-Referenz zwingend, was mit der *TLO-EO-Verkopplung* (R39) einhergeht. Darüber hinaus lässt sich Superintelligenz allein dann realisieren, wenn sich Ontologie nicht etwa lediglich auf Domänenontologien (DO) erstreckt, sondern die verschiedensten Ontologiearten, etwa auch Aufgaben- (TO) oder Methodenontologien (MO) unter einheitlicher fachlicher

⁴⁹³⁹ Vgl. Yoon et al. (2012).

⁴⁹⁴⁰ Vgl. hierzu H. Chen/Perich et al. (2004) sowie H. Chen et al. (2005); vgl. ferner Hilera/Ruiz (2006).

⁴⁹⁴¹ Vgl. Y. Chen/Hu (2013); vgl. hierzu ferner Perera et al. (2013a, 2014) sowie Truong/Dustdar (2015).

Referenz auf die Kernontologie (CO) wie unter universaler TLO-Referenz umfassend verknüpft werden (vgl. Pkt. 3.3.1).⁴⁹⁴² Anwendungsontologien (AO) sind auf Referenzontologien (RO) zu beziehen; letztere sind für diese Zwecke adäquat zu entwickeln. All das lässt sich allein im Zuge einer systematischen TLO-Referenz in kohärenter Weise zusammenbringen, womit der CPSS-adäquate OE-Ansatzpunkt entsprechend zwangsläufig mit Pkt. 3.3.2 in einer *realistischen TLO-Referenz* besteht.

- R8) *Mehrweltenontologie*: Mit Forbus/Gentner (1986: 340) gilt: »different ontologies are sometimes necessary to deal with certain types of complex systems«. Obschon seit langem die notwendige Voraussetzung verschiedener Welt- bzw. Ontologietypen erkannt wird, laufen im Grunde sämtliche Ontologiekonzeptionen der Informatik auf *Monoweltenontologien* hinaus. Diese basieren zumeist auf linguistischen Kategorien, die entweder einen epistemischen oder einen konsensbasierten methodologischen Status besitzen (Gruber, Berners-Lee, DOLCE usw.). Zumeist wird jedoch gar nicht genauer hinterfragt, um welchen Status es sich dabei handelt, was bei Gruber (1993, 1995) auch explizit eingeräumt wird. In selteneren Fällen gibt es jedoch auch in der Informatik *ontische* Kategorien (BFO, BWW usw.). Mit der *Monoweltenontologie* ist entsprechend gemeint, dass genau *ein* Ontologietypus vorausgesetzt wird. Teilweise – etwa bei der BFO-TLO – werden auch noch explizit andere Ontologietypen ins Spiel gebracht, jedoch nicht miteinander systematisch in Beziehung gesetzt. Entsprechend bleibt es auch in solchen Fällen bei der Monoweltenontologie. Demgegenüber ist hier mit der *Mehrweltenontologie* genau das Gegenteil davon gemeint, nämlich dass von vornherein eine Pluralität disparater Ontologietypen vorausgesetzt wird, die dabei mit CYPO FOX im Sinne der prinzipiellen Realisierbarkeit von Superintelligenz *systematisch* in Beziehung gesetzt werden. Somit ist evident, dass mit *Mehrweltenontologie* nicht etwa die Frage der Existenz verschiedener *möglicher Welten* gemeint ist; vielmehr dreht sie sich um die allgemeine Frage nach der *strukturellen Disparität der Welten an sich*, also um die Abgrenzung von Welttypen im Sinne Poppers, die bei Annahme einer solch grundsätzlichen Disparität auf eine Systematik *disparater Welt- bzw. Ontologietypen* hinausläuft. Natürlich gibt es diese grundsätzliche Disparität von *Welt- bzw. Ontologietypen* – und genauso selbstverständlich lassen sich diese in Beziehung setzen, wie es das Poppersche Werk zeigt. Wesentlich ist dabei zu erkennen, dass dies jeweils in doppelter Weise gilt, nämlich sowohl in *metaphysischer* wie in *wissensontologischer* Hinsicht. Somit ist die *Mehrweltenontologie* mit Pkt. 3.5 immer im Sinne der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* gemeint, die Whitehead-Popperscher Provenienz ist. Das entspricht nicht nur Poppers metaphysischem Realismus und der kausalen Interdependenz der Welten in metaphysischer Hinsicht, sondern auch seiner Herausarbei-

⁴⁹⁴² Dieses Erfordernis erkennen auch S. De et al. (2012) im IoT-Kontext, doch fehlt hier die TLO-Referenz.

tung der disparaten Natur des Wissens unter wissensontologischem Gesichtspunkt. Insgesamt betrachtet besteht in der *Mehrweltenontologie* der Schlüssel zur notwendigen integrierten Ontologiekonzeption (vgl. Pkt. 3.5), die wiederum Grundvoraussetzung zur Realisierbarkeit von *Superintelligenz* ist (vgl. Pkt. 6.3). Schließlich läuft eine *agentenorientierte TLO-Konzeption* zwingend auf eine *Mehrweltenontologie* hinaus, wobei aus systematischen Gründen bei CPS- bzw. MAS-Adäquanz (R2, R18) im Sinne von CYPO FOX mindestens vier genuine Welttypen mitsamt ihrer Subtypen abzugrenzen sind. Gemäß des Ockhamschen *Sparsamkeitsprinzip* (Parsimonieprinzip) sollte man es bei diesen *vier Welten* und ihren Subtypen belassen, weil keine zwingenden Argumente für die Eröffnung weiterer Welttypen sprechen.

- R9) *Event Streams und Ereigniszentrismus*: Der *Objektzentrismus*, der traditionell den sprachphilosophischen Zugang zur Ontologie der deskriptiven Metaphysik bzw. linguistische Ontologien (bzw. semantische Netze) prägt, ist im strukturwissenschaftlichen Zugang zur Ontologie der Klasse-4-Metaphysik durch einen *Ereigniszentrismus* zu ersetzen. Mit anderen Worten sind Ereignisse primär und nicht Objekte. Wenn L.S. Smith (2011: 201) konstatiert: »Events do provide a useful unifying paradigm across a wide range of domains«, ist der Kern der Sache vielmehr darin zu sehen, dass alle Universen an sich ereigniszentrisch sind. Das gilt nicht zuletzt für die Grundlagen der Physik selbst, etwa wenn in der Teilchenphysik Proton-Proton-Kollisionen im *Large Hadron Collider* (LHC) als *Ereignisse* identifiziert und den Ereignisbildern physikalische Prozesse zugeordnet werden. An Stelle von Objekten, die ontologisch im Zeichen des Hylemorphismus klassischerweise an Materie gebunden sind, treten *Ereignisse* als primäre Kategorie, was keineswegs die Irrelevanz der Materie impliziert. Es steht außer Zweifel, dass es insgesamt um eine *Event Driven World* mit entsprechenden *Event Streams* geht, und dass vor diesem Hintergrund eine *universale Ereignisspezifikation* unumgänglich wird.⁴⁹⁴³ Indem diese wiederum transdisziplinäre Geltung wie eine cyber-physische Fundierung besitzen muss, ist eine solche universale Ereignisspezifikation allein auf Basis einer Prozessmetaphysik realisierbar, wie sie durch Whitehead (1929a) grundgelegt wird. Dass Ereignisse die primäre Kategorie bilden, gilt entsprechend selbstverständlich auch für die eigentlichen Aspekte der Informatik. Das zeigt sich nicht nur an aufstrebenden Disziplinen wie dem *Event-Driven Programming* (EDP) oder infrastrukturell anhand der *Event Driven Architecture* (EDA), sondern nicht zuletzt am *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) insgesamt. Das gilt auch dann, wenn das *Internet of Things* (IoT) zuweilen als *Internet of Objects* verstanden wird,⁴⁹⁴⁴ was indessen gerade in Bezug auf *Smart Objects* nicht über die Priorität des Ereigniszentrismus hinwegtäuschen kann. Denn für diese sind intern wie extern *Er-*

⁴⁹⁴³ Vgl. auch Adaikkalavan/Chakravarthy (2007, 2011).

⁴⁹⁴⁴ Vgl. etwa Cisco (2011) sowie F. Hussain (2017).

eignisse konstituierend; anders gewendet hängt der Status des *Smart Object* an der Existenz solcher Ereignisse bzw. beruht ihre Intelligenz resp. ihr agentenbasiertes Adaptionsvermögen auf ereigniszentrischen Algorithmen sowie einer ereigniszentrischen Ontologie, Sensorik und Aktorik.⁴⁹⁴⁵ Ohne interne und externe Ereignisse ist somit kein *Smart Object* als *Objekt* klassifizierbar, woraus folgt, dass das *Internet of Objects* an sich ereigniszentriert ist, was auch für seine Architektur etwa im Zeichen von ED-SOA gilt. Die Emergenz von Objekten ist dann CPSS-adäquat konzipiert, wenn sie auf informatorischer Basis im Zeichen von Bits verstanden wird. Dies ist einerseits im Sinne der Quantentheorie der Ur-Alternativen C.F. von Weizäckers zu verstehen, die ihre Grundlagen im logischen Atomismus von Whitehead und Russell besitzt. Zum anderen lässt sich dieser Umstand etwas anschaulicher im Zeichen der Whitehead-Quineschen Pixeltheorie illustrieren,⁴⁹⁴⁶ indem einzelne Objekte erst aus der Zusammensetzung einzelner Pixel und damit Bits emergieren,⁴⁹⁴⁷ deren Auftauchen wiederum eine Signalübertragung und entsprechend ein *Ereignis* bedeuten.⁴⁹⁴⁸ Wie in Pkt. 4.3 festgestellt, bildet dabei jedes *Signal* bzw. jede *Sequenz von Signalen* ein *Ereignis*, was mit der Whiteheadschen (1929a) Position konform geht. Logische Atome und Pixel besitzen mit den Bits eine gemeinsame informatorische Basis.⁴⁹⁴⁹ Das AI-basierte *Smart Web* zeichnet sich in KR-Hinsicht durch ein Mapping zwischen Bitvektorrepräsentationen und semantischen Repräsentationen aus.⁴⁹⁵⁰ Insgesamt eröffnet sich mit den Ereignissen wiederum die Whiteheadsche Prozessperspektive. Aus Sicht der Physik, der Informatik wie letztlich aller Wissenschaften und der Technopraxis laufen somit die Ereignisse immer den Objekten voraus, bzw.

⁴⁹⁴⁵ Im Zeichen des ECA-Ansatzes (Event-Condition-Action) ist jeder Agent und damit jeder Adaptionsvorgang an sich *ereigniszentriert*, was bedeutet, dass dies auch für sämtliche MAS- und CAS-Ansätze zutreffend ist. Damit gilt dies auch für die *Theorie komplexer Systeme*, womit jede *Ontologie komplexer Systeme* im Whiteheadschen Sinne *ereigniszentriert* ist.

⁴⁹⁴⁶ Ein Pixel (picture element) ist ein physischer Punkt eines Rasterbilds bzw. im Sinne der digitalen Signalverarbeitung bei optischen Sensoren ein diskreter Abtastwert. Pixel basieren auf elektrischen Signalen.

⁴⁹⁴⁷ Die Pixel-Bit-Relation, d.h. die Frage, wie viel Bits ein einzelner Pixel beansprucht, stellt sich dabei wie folgt dar: Bei 1-Bit pro Pixel gilt, dass das Pixel entweder den Schaltzustand "on" oder "off" aufweisen kann. Das ist im Grunde für die Whitehead-Quinesche Pixeltheorie hinreichend, womit pro Pixel ein Bit zu veranschlagen ist. Geht es hingegen um die farbliche Repräsentation von Objekten, hängt die Frage der Pixel-Bit-Relation von der Farbtiefe ab: Ein 8-Bit Pixel hat 2^8 Zustände und damit 256 mögliche Farben; ein 16-Bit Pixel weist demgegenüber 2^{16} Zustände auf, woraus folgt, dass eine 16-Bit Farbtiefe 65.536 Farbdifferenzierungen ermöglicht.

⁴⁹⁴⁸ Es gilt: »Bits have a physical size — they are nothing more than electrical, radio or light pulses«, vgl. Gershenfeld et al. (2004: 80). Genau darin besteht der Kerngedanke der CPS-Sichtweise Whiteheads (1929a) und impliziert seinen *Ereigniszentrismus*, was unter anderem auf Maxwells (1873) Theorie elektromagnetischer Felder zurückgeht. Dabei kann Whitehead selbstverständlich insgesamt auf einer völlig anderen Basis wissenschaftlicher Physik aufbauen als Leibniz.

⁴⁹⁴⁹ Diese gemeinsame Basis wird deutlich anhand raumzeitlich zu verstehender Pixelraaster im Zusammenhang mit der Position Quines (1987: 12 ff.), wonach Atome strukturalistisch im Sinne von "point-events" bzw. "momentary local states" (et v.v.) zu verstehen sind. Dabei verkörpern die "point-events" als Atome Dinge bzw. Entitäten, die an einer *minimalen* raum-zeitlichen Lokalisierung geschehen können. Damit gründet der *Logische Atomismus* auf Bits, die den minimalen Träger von Zuständen bzw. ihren Änderungen bilden, womit sich insgesamt Wheelers (1990: 5) "*It from bit*" eröffnet.

⁴⁹⁵⁰ Vgl. Henson et al. (2012).

konstituieren sich letztere auf Basis von Ereignissen. Insofern repräsentieren Objekte prozessuale Formen, nämlich Muster, deren Persistenz aus der Reproduktion der sie konstituierenden Ereignisse resultiert. Objektlebenszyklen erfordern somit einen ereigniszentrischen Zugang, was im U-PLM-Referenzszenario entsprechend auch für Produktlebenszyklen gilt, wie es im Zeichen des *IoX-Monitoring* und der *Predictive Maintenance* deutlich wird. Ereignisse sind dann richtig verstanden, wenn sie im Lichte der Informationsverarbeitung bzw. -übertragung gedacht werden. Somit ist mit Blick auf die in Pkt. 4.4 geführte Verhältnisbestimmung von Ereignis und Objekt festzustellen, dass die Informatik primär ereigniszentrisch verankert ist. Nicht nur das bleibt in der konzeptuellen Modellierung und Ontologie zumeist unverstanden sondern auch, dass ein primär *linguistisches* Ereignisverständnis als solches für die Zwecke der Disziplin nicht die Perspektive der Wahl sein kann. Vielmehr verlangen CPS-Ereignisse in "*Reality Machines*", dass Ereignisse im Zuge jeden technologischen *Systems Engineering* unter allen kausalen Realitätsgesichtspunkten zu durchdenken sind. Das aber ist auf Basis eines linguistischen Ereignisverständnisses unmöglich, wenngleich dieses heute in weiten Teilen der AI-Ontologie angewandt wird. Folglich ist dieses mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 durch ein primär *realistisches* Ereignisverständnis zu ersetzen, das im CPS-Sinne wiederum entsprechend mit Verweis auf Pkt. 4.1 durch eine adäquate Metaphysik zu begründen ist. Denn in der universalen Ontologie wie in allen Ontologiefragen der Informatik geht es um völlig unterschiedliche Ereignisse. Indessen reicht es dabei nicht aus, im CPS-Sinne zwischen physischen und virtuellen Ereignissen zu unterscheiden. Vielmehr ist mit Verweis auf Pkt. 3.5 zwischen W1-, W2-, W3- und W4-Ereignissen zu differenzieren. W1-Ereignisse bilden dabei die *physischen Ereignisse*; W2-Ereignisse *mentale Ereignisse* unter inhaltlichem, insbesondere logischem Gesichtspunkt, wobei diese im Sinne von *Überzeugungssystemen* (Belief Systems) für alle Agentenklassen gelten; W3-Ereignisse umfassen alle *Ereignisse der Technopraxis*, also etwa Ereignisse in Computerprogrammen bzw. Steuerungsroutinen; W4-Ereignisse bilden solche der sozialen Realität, insbesondere auch solche, die über die einzelne Agentenwelt hinausgehend MAS-Relevanz besitzen. Im Zeichen der integrierten Ontologiekonzeption ist es wichtig festzustellen, dass diese Ereignisse nicht isoliert gedacht werden können, sondern dass es sich um zwar disparate Ereignisse handelt, die jedoch in intelligenten Cyber-physical Systems (CPS) auf verschiedenen Ebenen kausal miteinander verknüpft sind. McCarthy (2002) erkennt diese Differenzierungsnotwendigkeit, indem er nicht nur das Primat der Ereignisse anerkennt, sondern darüber hinaus zwischen *internen* und *externen* Ereignissen trennt. In den Erfahrungswissenschaften bestehen ähnliche Einsichten, etwa wenn Zeilinger (2004) analog zu Whitehead zwischen "*micro-events*" im Teilsystem und "*macro-events*" auf Ebene des Gesamtsystems differenziert. Allerdings sind solche Differenzierun-

gen ontologisch mit Verweis auf die *Ontologieklassifikation als System von Ontologien* (R7) gänzlich unzureichend; vielmehr ist die disparate Natur der Ereignisse *weltentypisch* genauestens zu spezifizieren. In IoX-Systemen geht es um Ereignisse, die sich auf verschiedenen Ebenen bewegen, jedoch dabei dezidiert im Zusammenhang stehen:⁴⁹⁵¹ Reale physische Ereignisse (W1) als ontische Ereignisse werden nicht nur durch Agenten perzipiert und damit zu epistemischen Ereignissen (W2), sondern W2-Ereignisse stehen auch kausal etwa mit W4-Ereignissen in Bezug, genauso etwa wie technologische W3-Ereignisse physische W1-Ereignisse kausal bedingen können. Es sind also bei *EDA* bzw. bei *ED-SOA* und ähnlichen Architekturklassen Wechselwirkungen zwischen den Ereignissen festzustellen, die es entsprechend auch in der Ontologiearchitektur und damit in der *Top-level Ontologie* als ihr "*ontological backbone*" zu berücksichtigen gilt. Es besteht also ein kausaler Bezug zwischen den verschiedenen Ereignisklassen, der sich in CPS-Kontexten letztlich zwar immer auf physische Ereignisse (W1) bezieht, doch in deren CPS-Eigenschaft als *Smart Objects* genauso Ereignisse einzelner Agentenwelten (W2), im CPPS-Sinne daneben technologische Ereignisse (W3), und im CPSS-Sinne schließlich darüber hinaus auch soziale Ereignisse, nicht zuletzt MAS-Ereignisse (W4) mit umschließen. Damit sind einige wesentliche Streitpunkte, die die Ontologiediskussion über Jahrzehnte beherrschten, entschieden: zum einen ist mit Verweis auf Pkt. 3.5 damit Poppers *erweitertes kausales Realitätsverständnis* gesetzt; zum anderen steht mit Verweis auf Pkt. 6.2.6 außer Frage, dass jegliche Form des Konstruktivismus abzulehnen und ebenfalls im Sinne Poppers durch den *kritischen Realismus* (R28) zu ersetzen ist. Entschieden ist damit unter anderem auch die Streitfrage des in Pkt. 6.2.4 behandelten Aktualismus und Possibilismus: Im Zeichen des in der integrativen Ontologiekombination (R40) welttypisch kombinierten Aktualismus und Possibilismus (R22) sind *Ereignisse* im universalen CEP-Sinne (R20) zu verstehen als alles, was im aktiven Universum (Diskursuniversum) aktual geschieht oder möglicherweise geschehen kann. Das ist etwa bei der *Ereignisidentifikation* bei Risikoereignissen (Risk Events) im Zuge des *Enterprise Risk Management* (ERM) der Fall, indem sich diese sowohl auf physische wie auf artifizielle Welten beziehen können. ERM-Frameworks wie das *COSO ERM-Framework* sind dezidiert ereigniszentrisch,⁴⁹⁵² indem die Ereigniskategorie generisch wie primär gehalten, also nicht auf einen Träger fixiert ist.⁴⁹⁵³ Analoges gilt im Kontext von *Business Rules* (BR) im Zuge der *Ereignisidentifikation* und Prüfung der Sachverhalte via *Rule Engine*, in-

⁴⁹⁵¹ Vgl. dazu auch die drei Ereignisebenen bei Bugaite/Vasilecas (2009).

⁴⁹⁵² Das Risiko, seine Eintrittswahrscheinlichkeit wie die damit bestehende Unsicherheit sind allesamt *ereigniszentrisch* definiert, nämlich "*Risk*" als »possibility that events will occur and affect the achievement of strategy and business objectives«, "*Likelihood*" als »possibility that a given event will occur« und "*Uncertainty*" als »state of not knowing how potential events may or may not manifest«, vgl. COSO (2016: 105 f.). Demgegenüber spielen *Objekte* im *COSO ERM-Framework* keine Rolle.

⁴⁹⁵³ Demnach ist ein *Event* als "*occurrence*" bzw. als "*set of occurrences*" definiert, vgl. COSO (2016: 9).

dem die BR-Repräsentation zunehmend auf Basis faktenorientierter Standards wie SBVR vollzogen wird.⁴⁹⁵⁴ Entsprechend sind die W1- bis W4-Ereignisse nochmals in Subtypen zu klassifizieren, um die erforderliche ontologische Trennschärfe zu realisieren: ein W2A-Ereignis repräsentiert also einen anderen Ereignissachverhalt als ein W2P-Ereignis; ein W1P-Ereignis einen anderen Ereignissachverhalt als etwa ein W1A-Ereignis, ein W3P-Ereignis oder ein W4P-Ereignis. – Insofern sich Objekte aus Ereignissen konstituieren, gilt diese Klassifizierung entsprechend genauso für Objekte und schließt alle Geschehnisse im Objektlebenszyklus definitionsgemäß mit ein. Indem das "Sense" im *Sensing Enterprise* als »real-time monitoring over an event-based infrastructure for networked devices« zu verstehen ist,⁴⁹⁵⁵ implizieren IoX-Systeme *Event Streams* und den *Ereigniszentrismus* unmittelbar. Dabei stehen die *Event Streams* im Zeichen eines *Stream Reasoning* in Echtzeit,⁴⁹⁵⁶ was eine entsprechende *Enterprise Architecture* (R38) nach Maßgabe des *Real-Time Enterprise* (RTE) und einer SCEP-kompatiblen *TLO-EO-Verkopplung* (R20, R39) voraussetzt. Vor diesem Hintergrund ist ferner zu beachten, dass Superintelligenz sich nur dann realisieren lässt, wenn die Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis richtig vollzogen ist. Nach Maßgabe der Klasse-4-Metaphysik (R16) sind *Ereignisse primär*; sie sind den Objekten insofern übergeordnet, als sich Objekte aus Ereignissen konstituieren und – im Sinne der Situationstheorie – in Ereignissen situiert sind (vgl. Pkt. 4.4, Pkt. 6.1.1). Bei dieser Verhältnisbestimmung ist die Anschlussfähigkeit aller nachgeordneten Ontologiearten (R7) zu beachten, insbesondere der *Enterprise Ontology* (EO) als PLM-Kernontologie (PLM-CO) oder etwa der Aufgabenontologie (TO). Auch dann ist die zentrale Kategorie mit dem *prozessualen Ereignis* richtig bestimmt. Denn das gesamte *Smart Web* bzw. komplexe IoX-Systeme sind *primär ereigniszentriert*,⁴⁹⁵⁷ wie es etwa "*real-life event logs*" bzw. "*artificial event logs*" als Prozessdaten in WfMS, BI-, PI- und sonstigen Informationssystemen unterstreichen,⁴⁹⁵⁸ oder wie es auch anhand der Prozesse der *Smart Factory* ersichtlich wird.⁴⁹⁵⁹ Die unmittelbare wie enge Verkopplung der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* mit dem *Ereigniszentrismus* wird dabei durch den Gedanken des *Internet of Events* manifestiert,⁴⁹⁶⁰ das für das *Internet of Everything* (IoX) charakteristisch ist.

- R10) *Augmented Reality*: Cyberwelten erfordern neben einer *Ontologie der Artefakte* auch das Voraussetzen einer erweiterten Realität (Augmented Reality). Für CAM- bzw. PLM-Systeme ist diese selbstverständlich,⁴⁹⁶¹ und damit auch insgesamt für die

⁴⁹⁵⁴ Vgl. etwa Soares de Jesus/Vieira de Melo (2015).

⁴⁹⁵⁵ Vgl. Karnouskos et al. (2010: 435).

⁴⁹⁵⁶ Vgl. Della Valle et al. (2009).

⁴⁹⁵⁷ Vgl. etwa Fornara (2011).

⁴⁹⁵⁸ Vgl. Adriansyah/Buijs (2013), Pika et al. (2013), Leemans et al. (2014) sowie Rogge-Solti et al. (2014).

⁴⁹⁵⁹ Vgl. etwa Cardin/Castagna (2012) sowie Borangiu et al. (2014).

⁴⁹⁶⁰ Vgl. hierzu Van der Aalst (2014, 2016).

⁴⁹⁶¹ Vgl. etwa Cukovic et al. (2016).

Smart Factory. In metaphysischer Hinsicht bzw. in Bezug auf die philosophische Fundierung von TLO-Ansätzen sind damit zahlreiche Implikationen verbunden, etwa jene, dass *Augmented Reality* (AR) sachgerecht nicht auf Basis aristotelischer bzw. materialistischer Ansätze einlösbar ist (vgl. Pkt. 4.6, Pkt. 5.2, Pkt. 5.3). Vielmehr haben wir es gemäß des notwendigen Weltenübergangs Cyber-physischer Systeme bzw. Computern als *Reality Machines* (R2) mit einer *"Mixed Reality"* (MR) zu tun, die ein *Reality-Virtuality Continuum* einfordert, wie es klassischerweise mit Milgram et al. (1995) abgegrenzt wird. Ontologisch sind solche Übergänge allein dann machbar, wenn sie auf einer durchgängigen Metaphysik gründen, die dem nachfolgend erörterten *Strukturalismus als prozessualer Form* (R11) entspricht.

- R11) *Strukturalismus als prozessuale Form*: Superintelligenz kann ontologisch weder an Materie festmachen noch am aristotelischen Hylemorphismus. Vielmehr ist einheitlich an der Form bzw. Struktur anzusetzen (vgl. Pkt. 6.1.2). Nur auf dieser Basis sind die CPS-Übergänge zwischen physischen und Cyberwelten bewerkstelligbar und ein universales Ontologieverständnis mit der *Top-level Ontologie* als *"ontological backbone"* (R1) sowie eine integrative Ontologiekonzeption (R40) realisierbar. Dieser Grundsatz hängt gleichzeitig wiederum mit dem *"Urstoff"* zusammen, auf den sich das jeweilige Ontologieverständnis bezieht: normalsprachlich verfasste Ontologien (deskriptive Metaphysiken bzw. *Klasse-2-Metaphysiken*) beziehen sich genauso wie materialistische Ontologien (revisionäre *Klasse-3-Metaphysiken*) auf den *"Urstoff"* der Materie, während sich strukturalistische techno-wissenschaftliche Ontologien (revisionäre *Klasse-4-Metaphysiken*) auf den *"Urstoff"* der Information beziehen. Für die CPSS-adäquate Ontologie bzw. für die Informatik im Ganzen kann natürlich nur letzteres wegweisend sein. Allerdings ist dieser Kernzusammenhang zwischen Ontologie und ihrem metaphysischen *"Urstoff"* in den fünfzig Jahren Ontologieforschung bisher noch nie herausgearbeitet worden. Das wiederum liegt ursächlich darin begründet, dass die Informatik noch nie systematisch Digitalmetaphysik betrieben hat, obschon allein hier im Sinne Leibnizens ihre Fundamente und damit all ihre Grundlagen verankert liegen. Vor diesem Hintergrund geht der Umstand, dass erst gar nicht nach dem *"Urstoff"* gefragt wird, wiederum auf das in weiten Teilen defekte Ontologieverständnis der Informatik zurück. Denn erst die echte, *revisionäre Metaphysik* fragt überhaupt nach dem *"Urstoff"* der Dinge, während naive Ontologie solche fundamentalen Fragen, die jedoch ontologisch gerade entscheidend sind, gar nicht stellt.
- R12) *Heavyweight-Ontologie als kognitive CPS-Präzision, Sensorontologie*: Obrst/Cassidy (2011: 103) haben anschaulich dargelegt, dass eine direkte Abhängigkeit zwischen der jeweils absorbierbaren Komplexität ontologischer Integrationsszenarien und der Expressivität der ihnen zugrundeliegenden semantischen Modelle besteht. Daraus folgt, dass Integrationsszenarien komplexer IoX-Systeme der expressiven

Heavyweight-Ontologie bedürfen. Superintelligenz ist auf Basis von *Lightweight-Ontologien* genauso wenig zu realisieren wie schon heute die *Smart Factory*. Beides setzt bei kritischen Prozessen in komplexen Systemen notwendig ein prinzipielles Ontologieverständnis als *Heavyweight-Ontologie* voraus. Entsprechend sind auch fundamentale Produktionsontologien wie ADACOR oder MCCO explizit als *Heavyweight-Ontologie* konzipiert,⁴⁹⁶² womit das gesamte IoX-Ontologiekonzept notwendig in ihrem Zeichen zu stehen hat. Sie hat dabei Präzision bzw. Exaktheit und sicheres Schließen zu gewährleisten; im Hinblick auf die PLM-CO etwa im Zeichen von PLM-Systemen als Integrationsplattform der *Smart Factory* (vgl. Pkt. 2.6). Indessen steht außer Frage, dass im CPPS-Kontext der *Smart Factory* wie in CPS-Kontexten im Allgemeinen, die prinzipiell auf Sensorik-Basis stehen, das Wesen der *Heavyweight-Ontologie* neu zu justieren ist: sie steht nicht mehr länger im GOFAI-Zeichen symbolischer AI-Architekturen, sondern ist vielmehr mit Pkt. 6.3 notwendig auf *integrierte Agentenarchitekturen* zu beziehen (R18, R19). Daraus folgt, dass der Präzisionsaspekt der *Heavyweight-Ontologie* zwingend im Sinne einer *kognitiven CPS-Präzision* zu sehen ist (R2). Damit wiederum gelangen alle Sensorik-relevanten Aspekte ins Spiel; d.h. es muss gerade auch im Hinblick auf die *Heavyweight-Ontologie*, als die die *Ontologie* an sich zu verstehen ist, sowohl die *IoX-, CEP- bzw. OCEP-Kompatibilität* (R20) erfüllt sein. Gleiches gilt damit verbunden für das Wechselspiel mit ereigniszentrierten Sensorontologien wie damit direkt zusammenhängenden situativen SAW- bzw. kontextuellen CAW-Ontologien. Diese basieren nicht nur auf Universalien, sondern insbesondere auch auf Konzepten (R21). Darüber hinaus ist evident, dass die Top-level Ontologie im klassifikatorischen Ontologiesystem (R7) niemals isoliert betrachtet werden kann, sondern gerade mit Blick auf das TLO-Engineering immer in ihrer umfassenden Interdependenz mit allen Ontologiearten zu sehen ist. Indem eine *kognitive CPS-Präzision raumzeitlicher Natur* ist, muss die TLO-Konzeption insgesamt wiederum grundsätzlich dem Kriterium des *4D-Ereigniszentrismus* (R9, R23) genügen. Damit sind alle substanzbasierten 3D-TLO-Konzeptionen auch insofern in IoX-Umgebungen als CPSS-inadäquat zu erachten, als sie der *Heavyweight-Ontologie als kognitiver CPS-Präzision* nicht zu entsprechen vermögen. Über diese CPSS-Inadäquanz hinaus sind solche 3D-TLO-Konzeptionen mit der Nichtentsprechung der *Heavyweight-Ontologie* auf Basis der heute gängigen integrierten AI-Agentenarchitekturen auch insgesamt als nicht-universal zu werten, als die *Ontologie an sich* als *Heavyweight-Ontologie* zu verstehen ist. Genügt indessen ein TLO-Ansatz dem Kriterium *universaler Ontologie* (R1) nicht, ist er als solcher generell abzulehnen, indem die TLO-Idee diesem Gedanken in transdisziplinärer Hinsicht (R14) verpflichtet ist.

⁴⁹⁶² Vgl. etwa R.I.M. Young/Gunendran et al. (2007a) sowie Chungoora et al. (2010).

- R13) *Ausdifferenziertes Kategoriensystem*: Superintelligenz ist allein auf Basis umfassenderer Kategoriensysteme einlösbar, die sich durch die zentralen TLO-Kategorien bestimmt zeigen (vgl. Pkt. 6.1.3). Entitäten sind im Sinne der Heavyweight-Ontologie (R12) allein dann unmissverständlich interpretierbar, wenn sie kategorial genau bestimmbar sind. Ein ausdifferenziertes, CPSS-adäquates Kategoriensystem hat dabei nicht nur die Bestimmung von Entitäten als konkrete oder abstrakte Entität zu ermöglichen. Vielmehr sind Entitäten erst dann sachgerecht bestimmbar, wenn sie sich als W1-, W2-, W3- bzw. W4-Entitäten klassifizieren lassen (R8), was sich auf Basis von Subtypen wie W1A, W3P usf. weiter konkretisieren lässt.
- R14) *Transdisziplinarität und IS/KS-Kombination*: Superintelligenz ist weder auf Basis impliziten Wissens noch auf Basis semantischer Silos realisierbar. Vielmehr hat die Funktion von Ontologien wesentlich auf das Moment der *Transdisziplinarität* abzustellen. Allein dann lässt sich eine umfassende Verknüpfung von Ontologien bzw. der Ontologiearten realisieren. Dabei setzt das Transdisziplinaritätsmoment wiederum eine *einheitliche TLO-Referenz* aller Ontologien und damit eine einheitliche techno-wissenschaftliche metaphysische Fundierung in Form einer *Klasse-4-Metaphysik* (R16) voraus, indem es sich genau darüber konstituiert (vgl. Pkt. 3.2.1, Pkt. 4.1, Pkt. 5.1). Die Ermöglichung einer KS-Transdisziplinarität vollzieht sich prinzipiell über sämtliche Wissensbasen in PLM-relevanten Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik oder etwa der Biotechnologie; dabei geht es primär um die transdisziplinäre Integration von Domänenontologien (bzw. Objektbereichen, Diskursuniversen, Wissensgebieten). Mit einer einheitlichen *Top-level Ontologie* als "*ontological backbone*" lässt sich diese sowohl auf den gleichen Welttypus (z.B. W1-Ontologien verschiedener naturwissenschaftlicher Domänen), direkt verwandter Welttypen (z.B. W1- und W4-Ontologien) als auch etwa im CPS-Kontext auf heterogene Welttypen (z.B. W1- und W3-Ontologien) beziehen. Schließlich geht der Transdisziplinaritätsaspekt über die KS-Sphäre hinaus, indem echte Transdisziplinarität verlangt, dass sich etwa KS- mit IS-Domänenontologien kombinieren lassen, womit echte Transdisziplinarität auf eine *IS/KS-Kombination* hinausläuft.⁴⁹⁶³ Analoges gilt auch in der Hinsicht, als *Scientific Ontologies* zunehmend im Wechselspiel *wissenschaftlicher Workflows* stehen, die CEP-basiert (R20) und damit ereigniszentriert (R9) sind.⁴⁹⁶⁴ Die *Top-level Ontologie* ist insofern universal, als sie gleichzeitig die oberste Referenzebene für alle Wissenssysteme (KS) wie für alle Informationssysteme (IS) markiert. Bzgl. der *IS/KS-Kombination* besitzt sie damit in-

⁴⁹⁶³ Insofern hat die TLO-Funktion offenbar weit über das hinauszugehen, was Bhatia et al. (2016: 3) ihr zuschreiben, indem gewiss nicht nur »very general concepts« ihr Gegenstand sind, »that are identical across all the knowledge domains«. Vielmehr geht es um die transdisziplinären *Kategorien* an sich, die einer *metaphysischen Bestimmung* auf Basis einer techno-wissenschaftlichen Metaphysik bedürfen, die gleichzeitig die *IS/KS-Kombination* eröffnet. Richtig stellen Bhatia et al. (2016: 3) fest, dass es die *Top-level Ontologie* ist, die erst die *semantische Interoperabilität* aller nachgeordneten Ontologien eröffnet.

⁴⁹⁶⁴ Vgl. Zhao/Paschke (2013).

sofern eine Doppelfunktion, als es einmal um die transdisziplinäre Integration allen Wissens (KS), und einmal um die semantische Interoperabilität bei der Systemintegration vermittelt des PPR-Schemas geht. Sie muss dabei systematisch auf beide Belange zugeschnitten sein, worin eine Anforderung besteht, die bisher regelmäßig nicht erfüllt wird. Vielmehr haben viele TLO-Theorieanwörter ihren Schwerpunkt nur in einem der beiden Bereiche, womit sie weder universal sind noch ihrer eigentlichen Integrationsfunktion gerecht werden können.

- R15) *Prozessontologie als Prozessmetaphysik*: Superintelligenz ist nicht auf Basis von Substanz- bzw. Objektontologien realisierbar. Substanzen sind mitsamt ihrer Relata für die Ontologie komplexer Systeme inadäquat. Entsprechend sind sämtliche "Furniture-Ontologien" nach Maßgabe der Superintelligenz abzulehnen. Für die Notwendigkeit zur Voraussetzung einer *Prozessontologie* lassen sich neben der allgemeinen Ereigniszentrierung der AI-Ontologie verschiedenste Argumente vorbringen, die mit Verweis auf die vorstehenden Überlegungen mit der erforderlichen Korrespondenz zum Stand wissenschaftlicher Erkenntnis beginnen, über die notwendige technologische Orientierung an *Event Streams* sowie das *AI-Processing* führen und etwa in der prozessontologischen CAS-Struktur von Cyberwelten enden. Dabei ist die richtige Prozessontologie nach Maßgabe der revisionären Klasse-4-Metaphysik (R16) zu bestimmen. Damit steht außer Frage, dass die sachgerechte Prozessontologie keine deskriptive bzw. linguistische sein kann, sondern als *techno-wissenschaftliche Prozessmetaphysik* zu verstehen ist. In Relevanz für die *Smart Factory* stellen Koskela/Kagioglou (2005) in ihrer *Metaphysics of Production* heraus, dass für diese die *Substanzmetaphysik* vollkommen ungeeignet ist, während die *Prozessmetaphysik* die richtige Weltsicht für moderne Produktionsansätze unterbreite (vgl. Pkt. 4.2, Pkt. 5.7, Pkt. 6.1.1).

Vor dem Hintergrund dieser fundamentalen Requirements sind die meta-ontologischen Kriterien genauestens spezifizierbar: Zum einen in der Weise, die die intendierte *Superintelligenz* der dritten AI-Generation nicht von vornherein verschließt. Zum anderen sind mit Verweis auf Pkt. 3.3.2 im Hinblick auf das Moment *universaler Ontologie* die beiden Kriterien der *Allgemeingültigkeit* und des *Integrationsvermögens* entscheidend; es zählt also Feyerabends (1975) "*anything goes*". Neben den entwickelten (i) fünfzehn *fundamentalen Requirements* kommen somit folgende (ii) fünfundzwanzig *meta-ontologische Requirements* hinzu, die in der bisherigen TLO-Debatte nur zum geringen Teil herangezogen werden und dann auch nicht im universalen Sinne der CPSS/SEA-Adäquanz spezifiziert sind:

- R16) *Revisionäre Metaphysik – Ratio-Empirismus, Klasse-4-Metaphysik*: In seiner Schrift "*Formal Ontology and the Revival of Metaphysics*" stellt E.J. Lowe (2007) ungeachtet seiner substanzzentrierten neo-aristotelischen Position fest:

»Our task, to the extent that it involves concepts, is to frame or formulate concepts that are, plausibly, adequate ways of thinking about certain genuinely possible things. To that extent, metaphysics is certainly *revisionary* rather than descriptive, because it is a normative form of inquiry, designed not

to reveal how we do, as a matter of fact, conceptualize various things, but to recommend certain ways of conceiving things as being adequate to the natures of the things thus conceived.«⁴⁹⁶⁵

Mehr noch: Strawsons (1959) überaus zweifelhaft, indessen in umfassender Weise rezipierte Idee *deskriptiver Metaphysik* ist insgesamt entschieden zurückzuweisen, was auch dann gilt, wenn weite Teile der Ontologie in diesem deskriptiven Sinne konzipiert sind. Dafür sind neben der allgemeinen CPSS-Inadäquanz des OLP- wie ILP-Paradigmas die in Pkt. 3.3.2 sowie Pkt. 6.2.2 im Einzelnen dargelegten Gründe anzuführen. Insbesondere ist mit P.M. Simons (2004a) darauf hinzuweisen, dass die *Harmonie-These*, auf der alle sprachphilosophischen bzw. linguistischen Ontologieansätze gründen, grundsätzlich unhaltbar ist (R3). Diese These besagt, dass die natürliche bzw. ideale Sprache mit den Grundstrukturen der realen Welt harmoniert und damit die reale Welt über die Normalsprache erschließbar sei. Darin aber besteht ein grundsätzlicher Irrtum,⁴⁹⁶⁶ der sich etwa darin zeigt, dass die Normalsprache auf 3D-Objekte hinausläuft, während die fundamentalen Strukturen der Welt richtig als 4D-Ereignisse erfasst sind, aus denen sich 4D-Objekte im Sinne der Reproduktion von Ordnungsmustern konstituieren. Das ist wiederum im Zeichen der *Theorie komplexer Systeme* im Sinne eines "system of events" zu verstehen. Dabei zeigen sich 4D-Objekte gleichzeitig in Ereignissen situiert. Mit Heil (2003: 189) gilt entsprechend: »the linguistic tail wagging the ontological dog«. Mit anderen Worten lässt sich die Struktur der Welt nicht an der Struktur unseres Denkens über die Welt ablesen, womit *ontische Kategorien* (R26) einen anderen Status besitzen als *epistemische Kategorien* (R27). Sprache ist darüber hinaus mit Quine (1977) überwiegend vage; die physische Welt ist aber durchaus exakt, womit der linguistische OE-Ansatzpunkt entsprechend für *Heavyweight-Ontologien* (R12) und damit für die AI-Ontologie als solche nicht in Betracht kommen kann. Der OE-Ansatzpunkt muss vielmehr im Sinne der *metaphysica generalis* ein echter ontologischer sein, der bei einer CPSS-adäquaten Ontologie und *Reality Machines* notwendig auf eine rationale Reflexion einer empiristischen Universalsynthese und damit auf den *Ratio-Empirismus* hinauslaufen muss. Dieser setzt den metaphysischen Realismus als Basishypothese voraus (R3). Damit ist evident, dass die CPSS-adäquate AI-Ontologie zwingend als *revisionäre Metaphysik* zu verstehen ist, worin eine Auffassung besteht, die bisher im Allgemeinen kaum geteilt wird. Das ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass in der bisher in weiten Teilen präferierten deskriptiven Metaphysik ein naiver

⁴⁹⁶⁵ E.J. Lowe (2007: 82), Hvh. des Verf.

⁴⁹⁶⁶ Die Außerkraftsetzung bzw. das Scheitern der *Harmonie-These* erklärt sich nicht auf Grundlage der defekten *deskriptiven Metaphysik*, nämlich insofern nicht, als diese These keineswegs an der orthodoxen *Common Sense-Realität* scheitert. Vielmehr ist dafür die *revisionäre Metaphysik* verantwortlich, die im Zeichen des Ratio-Empirismus der *techno-wissenschaftlichen Realität* und dem Fortschritt ihrer Erkenntnisprozesse Priorität einräumt. Dass sich auf Basis der Normalsprache die fundamentalen Strukturen der Realität natürlich nicht klären lassen, belegt Whiteheads Prozessmetaphysik mit ihrem 4D-Ereigniszentrismus, der nicht mit der orthodoxen Grammatik zu vereinbaren ist. Konsequenterweise lehnt Whitehead die sprachphilosophische Position zur Ontologie ab.

Trugschluss besteht, dessen Problematik mit intelligenten Cyber-physischen Systemen in ihrer Interaktion mit der physischen Welt resp. in ihrer unzureichenden Präzision eskaliert. Auch sollte außer Frage stehen, dass die AI-Superintelligenz nicht auf Basis orthodoxer OLP- bzw. Common Sense-Ontologien realisierbar ist. Vielmehr sind diese im Popperschen Sinne gegenüber *Scientific Ontologies* sowie technologischen Ontologien als inferior zu erachten und können ihnen allenfalls im Sinne vereinfachter Alltagsrationalität nachgeordnet sein. Allerdings setzt das dann ihre Korrespondenz voraus, wobei die Bringschuld bei den OLP- bzw. Common Sense-Ontologien liegt, indem diese Korrespondenz eine *monodirektionale* ist, die sich im Sinne der Technopraxis an technologischen Ontologien orientiert. Mit anderen Worten wird der auf Basis des linguistischen OE-Ansatzpunkts entwickelte *rein linguistische Ontologietypus*, der noch bei der Bewältigung von "toy problems" funktionieren kann, in seinem Status völlig überschätzt, wenn es mit *Reality Machines* um komplexe "nontoy worlds" geht.⁴⁹⁶⁷ Auf ihrer Basis erweisen sich sämtliche deskriptive TLO-Ansätze letztlich als unhaltbar, weil sie mit ihrer fehlenden CPSS-Adäquanz nicht dem Kriterium *universaler Ontologie* zu entsprechen vermögen. Ein universales Ontologieverständnis (R1) ist dabei allein erzielbar, wenn der Ratio-Empirismus auf techno-wissenschaftliche Sachverhalte zielt, womit dieser die *techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik* impliziert (vgl. Pkt. 4.1). Diese ist in ihrer Eigenschaft als *Ereignis- bzw. Prozessmetaphysik* nur dann universal, wenn es sich dabei gleichzeitig um eine *Digitalmetaphysik* (R17) handelt. Entsprechend sind alle anderen Metaphysikklassen abzulehnen, insbesondere können mit der strikten Zurückweisung der deskriptiven Metaphysik keine OLP-Ontologien bzw. Common Sense-Ontologien für die AI-Ontologie primär sein, wie es zumeist angenommen wird. In einer integrativen Ontologiekonzeption (R40) sind Common Sense-Ontologien vielmehr nur dann haltbar, wenn sie von der techno-wissenschaftlichen Ontologie im Sinne einer Vereinfachung abgeleitet werden. Demgegenüber führt ihre isolierte Entwicklung schnell zur Inkohärenz, wie es der Gegensatz von 3D-Objekten und 4D-Ereignissen als primäre Kategorie illustriert.

- R17) *Digitalmetaphysik – Cyberworlds, Computing Universe, Platonismus*: Eine Reihe von TLO-Ansätzen weist einen neo-aristotelischen Kern auf und ist auf diesen beschränkt. Damit sind Universalien auf den immanenten Realismus fixiert und der Platonismus bzw. mathematische Realismus wird entsprechend abgelehnt. Eine CPSS-adäquate Ontologie wie eine techno-wissenschaftliche Metaphysik hat sich jedoch nicht nur im Zeichen der Sensorik/Aktorik mit empirisch zugänglichen Sachverhalten der *physischen Welt* auseinanderzusetzen. Insbesondere im Hinblick auf ihre *Cyberwelten* wie auf ihre kausale Steuerungslogik setzt sie vielmehr wesentlich auch mathematische Kategorien im platonistischen Sinne voraus. Es geht dabei um

⁴⁹⁶⁷ Vgl. zur Zulässigkeit von *Normalsprache* R3.

den Leibnizschen Gedanken des Automatenuniversums (R4). In vereinheitlichender Weise ist ein solcher Platonismus auch etwa im Bereich des Quantencomputing in Zuses (1982) *Computing Universe* festzustellen, wobei diese Vereinheitlichung mit zellulären Automaten auf der Komplexitätsforschung beruht, in der entsprechend der Mittler techno-wissenschaftlicher Metaphysik zu sehen ist (vgl. Pkt. 4.3). Der Ratio-Empirismus der Klasse-4-Metaphysik verbindet somit im expliziten Whiteheadschen Sinne die Momente des Rationalismus und Empirismus. Daraus resultiert eine Synthese der platonistischen und aristotelischen Gesichtspunkte und Metaphysiken, die das Whiteheadsche Werk im cyber-physischen Sinne insgesamt verkörpert. Eine universale TLO-Konzeption muss mit ihren TLO-Kategorien entsprechend beidfüßig ausgerichtet sein, um das Kriterium der CPSS-Adäquanz erfüllen zu können. Cyber-physische Systeme (CPS) verlangen in ihrer Dimension der *Cyberwelten* eine Digitalmetaphysik, in ihrer Dimension *physischer Welten* jedoch die techno-wissenschaftliche Metaphysik. Insofern lässt sich eine CPSS-adäquate Ontologie allein auf einer Metaphysik begründen, die eine *techno-wissenschaftliche Klasse-4-Metaphysik als Digitalmetaphysik* verkörpert (R16). Indem Computer in IoX-Kontexten immer mehr in den Mittelpunkt rücken, muss es eigentlich umgekehrt gesehen werden: Im Zeichen eines universalisierten Agentengedankens wird *Metaphysik* unvermittelt zur *Digitalmetaphysik*, der notwendig der *techno-wissenschaftliche* Gesichtspunkt inhärent ist. Dazu muss die *Klasse-4-Metaphysik* im Whiteheadschen Sinne ihre logico-mathematische Basis mit dem Ratio-Empirismus verbinden, indem sie das digitale wie reale Geschehen ontologisch als "*system of events*" auslegt. Dieses lässt sich auf Basis geeigneter Situations- bzw. Ereigniskalküle logico-mathematisch universal erfassen und beschreiben. Das Primat der *Digitalmetaphysik* ist auch insofern gültig, als der "*general world view*" nicht etwa einseitig in Computerwelten vorrückt; mit Bynum/Moor (1998: 8) gilt vielmehr auch umgekehrt: »Computation can be used as a model for metaphysics as well as epistemology«. Die cyber-physischen Grenzen verschwimmen zusehends, wie es nicht nur der CPS-Systemgedanke impliziert, sondern Computer, die mit D. Moore (1992) als "*Reality Machines*" auf CPS-Basis operieren.

- R18) *Agenten- bzw. MAS-Adäquanz, heterogene Agentenarchitektur*: Es wird oftmals missverstanden, wofür das Adjektiv "smart" eigentlich steht, womit Konzepte wie die *Smart Factory* bzw. das *Smart Enterprise* in ihrer Definition unscharf bis umstritten – und letztlich in ihrem Kern unverstanden bleiben.⁴⁹⁶⁸ Die *intelligente Fabrik* meint im Kern, dass Künstliche Intelligenz (AI) auf vernetzte *Cyber-physische Systeme* (CPS) zur intelligenten Steuerung von Produktionssystemen (CPPS/MCPS) im Zeichen des *Adaptive Enterprise Design* als *Sense-and-Respond Model* bezogen wird. Dabei beruht ihre Adaptabilität auf der CAS/MAS-Basis, ist also im Kern

⁴⁹⁶⁸ Vgl. exemplarisch Radziwon et al. (2014).

agentenbasiert,⁴⁹⁶⁹ während ihre Intelligenz im Zeichen hybrider Agentenarchitekturen (R19) maßgeblich unter Rückgriff auf Ontologien (PPR-Framework etc.) realisiert wird.⁴⁹⁷⁰ D.h., dass im Unterschied zur konventionellen Automatisierungstechnologie für die Smart Factory weniger die Prozesszentrierung als solche kennzeichnend ist als vielmehr nach CAS-Maßgabe das Systemverhalten.⁴⁹⁷¹ Die *Smart Factory* setzt dabei im SAW- bzw. CAW-Sinne (R24) entsprechend agentenbasierte Ansätze voraus,⁴⁹⁷² wobei für semantikbewusste Agenten der Rückgriff auf die verschiedensten Ontologien selbstverständlich ist.⁴⁹⁷³ Die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* läuft nicht nur im Kontext der Smart Factory auf eine MAS-Fundierung hinaus, sondern im Grunde bei allen webbasierten Szenarien, denn mit Joshi/Singh (1999: 39) gilt: »the distributed, large-scale, dynamic nature of the Internet speaks to the need for open, flexible, and scalable solutions«, die auch nach ihrer Überzeugung in Multiagentensystemen bestehen. Dabei muss sich eine universal gültige MAS-basierte Ontologie am komplexesten Fall orientieren, der in der heterogenen Agentenarchitektur besteht. Insofern besteht in der Autonomie wie der Heterogenität von Agenten eine Basisanforderung offener, webbasierter MAS.⁴⁹⁷⁴ Die Heterogenität von Agenten ist in IoX-Kontexten bereits dadurch verursacht, dass es verschiedene Typen von Agenten gibt, wie es etwa in der Smart Factory regelmäßig der Fall ist. Andererseits laufen IoT-Agenten in dem Fall auf homogene Agenten hinaus, wenn es um baugleiche PEID-Produkte geht. Indessen besteht der MAS/CAS-Aspekt immer. Ungeachtet der – gerade auch ontologischen – Bedeutung der einzelnen Agentenwelt sind damit die Individualziele in den Kontext von Globalzielen zu setzen.⁴⁹⁷⁵ Auch lassen sich die Freiheitsgrade von MAS-Agenten im Zeichen der *Normative Multi-Agent Systems* (NMA) einengen.⁴⁹⁷⁶ – Indem das *Adaptive Enterprise Design* für alle intelligenten IoX-Systeme maßgeblich ist (R38, R39), wird eine MAS-Adäquanz der Ontologiearchitektur und der TLO-Konzeption zwingend. Moderne CPSS-adäquate AI-Ontologiearchitekturen (R2) sind also im Allgemeinen agentenbasiert, was auf den Gedanken verteilter intelligenter Systeme zurückgeht.⁴⁹⁷⁷ Hier sind etwa *Distributed Ontology-based Web Applications* anzuführen wie auch *Distributed Artificial Intelligence* (DAI) im Generellen.⁴⁹⁷⁸ Für komplexe IoX-Systeme ist der MAS-Adäquanz schon allein deshalb zwingend zu entsprechen, als die

⁴⁹⁶⁹ Vgl. etwa Leitão/Vrba (2011), Vrba (2013) sowie S. Wang/Wan et al. (2016).

⁴⁹⁷⁰ Insofern ist auch klar, dass *Losgröße-1-Szenarien* zwar ein mögliches wie tendenzielles, aber keinesfalls ein konstituierendes Merkmal der *Smart Factory* bilden.

⁴⁹⁷¹ Vgl. Schoop et al. (2002: 2982).

⁴⁹⁷² Vgl. etwa Oztemel/Tekez (2009b).

⁴⁹⁷³ Vgl. Tomaiuolo et al. (2006).

⁴⁹⁷⁴ Vgl. M. Venkatraman/Singh (1999).

⁴⁹⁷⁵ Vgl. etwa Durfee/Lesser (1989).

⁴⁹⁷⁶ Vgl. Rotolo/Van der Torre (2011).

⁴⁹⁷⁷ Vgl. etwa Taboun/Brennan (2016).

⁴⁹⁷⁸ Vgl. etwa Sacerdoti (1978), R. Davis (1980) sowie Nilsson (1981).

Real-Time Big Data Analytics (RTBDA) maßgeblich auf diesem Ansatz beruht,⁴⁹⁷⁹ ohne die wiederum keine Echtzeit-Auswertung sensorbezogener Daten möglich ist, die mit dem IoX-Ansatz im SEI-Sinne vorauszusetzen ist. Insofern steht außer Frage, dass ein IoX-adäquater TLO-Ansatz nicht nur BDA-adäquat zu sein hat, sondern auch MAS-adäquat und somit CAS-adäquat (R4). Diese Elementaranforderung kann kein zukunftsöffener TLO-Theorieanwärter negieren. In CPS-Kontexten steht diese wiederum im Zeichen von *Distributed Event-Based Systems* (DEBS),⁴⁹⁸⁰ die mit SOA fusioniert zur *Event-Driven SOA* (ED-SOA) avancieren.⁴⁹⁸¹ Entsprechend hat jeder TLO-Theorieanwärter auch allen SOA- bzw. ED-SOA-Anforderungen zu entsprechen. Mit dem MAS-SOA-Konnex (vgl. Pkt. 2.2) muss jeder TLO-Theorieanwärter sich an den infrastrukturellen Erfordernissen des *Service-Oriented Computing* (SOC) bewähren, das wiederum vor dem Hintergrund der Architektur verteilter Systeme in IoX-Systemen unmittelbar mit dem *Cloud Computing* sowie mit dem *Grid Computing* korrespondiert.⁴⁹⁸² Letzteres ist gerade auch für das *Scientific Computing* wesentlich,⁴⁹⁸³ womit es bei *Scientific Ontologies* nicht nur um die wissenschaftlichen Inhalte geht, sondern auch um infrastrukturelle Ontologien, die auf den gleichen TLO-Ansatz zu referenzieren haben, wobei dieses Erfordernis bereits bei der Beschreibung semantischer Web Services beginnt. Für das *Scientific Computing* ist die ontologische Voraussetzung von Agenten bzw. die erforderliche MAS-Adäquanz jedes TLO-Theorieanwärters gewiss seit längerem genauso zwingend.⁴⁹⁸⁴ Vor diesem Hintergrund kommt kein CPSS- bzw. IoX-adäquater TLO-Theorieanwärter an einer eingehenden Auseinandersetzung mit allen infrastrukturellen Belangen der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) vorbei. Ferner steht die ED-SOA schließlich mit Verweis auf Pkt. 6.2.1 im Wechselspiel mit dem *Distributed Complex Event Processing* (DCEP). Auch insofern kommen *Complex Adaptive Systems* (CAS) ins Spiel, die ihrerseits im Allgemeinen agentenbasiert sind. CPSS-adäquat ist eine Ontologiekonzeption nur dann, wenn sie über den CAS-Aspekt auch den MAS-Aspekt und damit die Agententheorie in ihrer ganzen Breite berücksichtigt. Dazu gehört insbesondere auch die *Situiertheit von Agenten* in Ereignissen und Kontexten (R24). Ausgehend von Kant ist der Agentengedanke in der Metaphysik seit langem existent. Agenten müssen dabei selbst Teil der Metaphysik sein, sind also im Sinne Whiteheadscher *Subjekt-Superjekte* zu integrieren, was in einer Reihe moderner Metaphysiken wie der Bunge'schen indessen nicht der Fall ist. Andere Metaphysiken, etwa jene Körners (1984), die im Unterschied zu Bunge zentral auf Kant aufbauen, können hingegen mit einem explizit *agentenbasierten* Metaphysikansatz

⁴⁹⁷⁹ Vgl. etwa Kolodziej et al. (2016).

⁴⁹⁸⁰ Vgl. hierzu Mühl et al. (2006).

⁴⁹⁸¹ Vgl. etwa Cristea et al. (2011).

⁴⁹⁸² Vgl. dazu generell Mahmood (2009); vgl. exemplarisch Heredia et al. (2005) und Hadzic/Chang (2005).

⁴⁹⁸³ Vgl. etwa Chin et al. (2005) sowie Humble et al. (2005).

⁴⁹⁸⁴ Vgl. etwa Joshi et al. (1997) sowie Drashansky et al. (1999).

aufwarten. Der Whiteheadsche (1929a) Ansatz integriert demgegenüber alle maßgeblichen philosophischen Strömungen in ihren jeweils berechtigten Argumenten, nämlich neben den platonistischen und aristotelischen Positionen und dem Leibnizschen Automatenuniversum (R4, R17) auch die Kantischen Agenten mit ihren subjektiven Vorstellungswelten. Das geschieht bei Whitehead wohlgerne auf Basis seiner zweiten Kopernikanischen Wende, mit der die klassische *Subjekt-Objekt-Dichotomie* aufgehoben wird. Für die Integrativität von CYPO FOX ist entsprechend maßgeblich, dass W2-Subjekte im Sinne der Whiteheadschen *Subjekt-Superjekte* gleichzeitig W1-Objekte bilden. Anders gewendet ist der Agent bei Whitehead im Heideggerschen Sinne "in der Welt" und "Teil" der Welt, womit die Poppersche Welt 1 gemeint ist, die erst die Welt 2 eröffnet. Indem der Agent bereits bei Whitehead (1929a) im Heideggerschen Sinne in der Welt bzw. in den Weltereignissen situiert ist, läuft jede darauf gründende AI-Ontologiekonzeption an der vielbeachteten AI-Kritik bei H.L. Dreyfus (1972, 1992) völlig vorbei. Insgesamt wird deutlich, dass Whitehead mit seinen zellulären Organismen, die in seiner Leibniz-Referenz als *zelluläre Automaten* aufzufassen sind, nicht nur das CAS-Konzept in prozessmetaphysischer Hinsicht vorwegnimmt, sondern mit dem darauf gründenden Gedanken der *Subjekt-Superjekte* auch das MAS-Konzept.

- R19) *Cognitive Computing und hybride Agentenarchitektur*: Natürlich lässt sich *Superintelligenz* allein durch die Kombination von lokalen bzw. regionalen und globalen Weltmodellen realisieren. Entsprechend bilden das tradierte *Programmable Computing* und das *Cognitive Computing* nicht mehr als zwei Facetten des *Ontological Computing* im Sinne Leibnizens. Dass das *Cognitive Computing* dem *Ontological Computing* immer untergeordnet ist, liegt darin begründet, dass erstes sich auf die Agentenwelt und damit im Grunde auf P.M.S. Hackers (2004a) *Ontology of Belief* bezieht, die prinzipiell immer der Notwendigkeit der *Belief Revision* unterliegt; damit handelt es sich letztlich lediglich um einen kleinen Teilbereich im ganzen Ontologiekomplex, was nicht nur mit Blick auf das transdisziplinäre System aller Ontologien, sondern nicht zuletzt auch vor dem Hintergrund der fundamentalen Ontologie zu sehen ist. Indem die Informatik die *Ontologie* somit in doppelter Funktion auszulegen hat, also als metaphysische Ontologie sowie als Wissensontologie perzeptiv-kognitiver MAS-Agenten, wird deutlich, dass das eigentlich zentrale Moment im *Ontological Computing* besteht. In der Tat ist es das Leibniz-Whiteheadsche *Ontological Computing*, mit dem das *Ubiquitous Computing*, das *Cyber-physical Computing* sowie das *Cognitive Computing* metaphysisch vorweggenommen wird, während es durch andere philosophische Ontologien nicht impliziert ist. Insofern bestimmt die metaphysische Ontologie auch die Ontologiearchitektur, indem wiederum im Leibniz-Whitehead-Paradigma eine MAS-zentrische Ontologiearchitektur angelegt ist und alles andere mit ihm nicht korrespondiert. Das *Cognitive Computing*

ist gerade für das Whiteheadsche *Subjekt-Superjekt* elementar; intelligente Agenten basieren in ihren epistemologischen Prozessen bzw. in ihrer Selbstorganisation notwendig auf diesem. Prozessual betrachtet ist das *Cognitive Computing* vor allem aus dem Grunde essentiell, als das Computing damit erst selbstorganisatorische adaptive Agenten, die permanent aus ihrer Interaktion mit anderen Agenten und im stetigen Vollzug kognitiver Datenanalyse (Digital Analytics) lernen. Der Unterschied zum tradierten *Programmable Computing* besteht somit darin, dass sich solche Systeme kontinuierlich verbessern und im Grunde niemals überholt sind, wobei allerdings häufig übersehen wird, dass dabei strikt zwischen lokalem, regionalem und globalem Weltmodell zu differenzieren ist: Dass ein kognitiver Agent in Relation zu seinem lokalen Umfeld aktuell bleibt, ist nachvollziehbar. Schwieriger wird es bereits im regionalen Kontext, indem es hier bereits auf die Interaktion mit allen entscheidenden regionalen Agenten ankommt. In Bezug auf den globalen Aspekt, nicht zuletzt mit Blick auf die ratio-empirische Weltauffassung als solche, gestaltet sich die Sache sehr viel diffiziler. Reflexionen, die im Zeichen globaler Intelligenz stehen, erfordern auch globale Strukturen, die in dem im zweiten Teil behandelten *Real-Time Enterprise* (RTE) und einer entsprechenden *Smart Enterprise Architecture* (SEA) gegeben sind. Das gilt nicht zuletzt hinsichtlich der gängigen Kombination von *Cognitive Computing* und der RTE-bezogenen *Big Data Analytics* (BDA).⁴⁹⁸⁵ Die Frage des globalen Weltmodells spielt auch wiederum bei McCarthys (1995) "*general world view*" eine wesentliche Rolle und damit für die Top-level Ontologie. Tatsächlich können maschinelle kognitive Agenten noch nicht in tatsächlich sinnvoller, reflexiver Weise eigenständig entscheiden, was meta-ontologisch bzw. kategorial vorauszusetzen ist. Die Idee der *Ontology Negotiation* einer Vielzahl von Agenten,⁴⁹⁸⁶ wie sie im Grundsatz auch jener der an *Folksonomies* ansetzenden *FolksOntology* entspricht,⁴⁹⁸⁷ kann allein für den *Common Sense* bzw. im lokalen bzw. regionalen Kontext gelten; jedoch nicht im globalen Kontext, der im Zeichen von McCarthys (1995) "*general world view*" steht. Prinzipiell gesehen ist zwar auch dies möglich, entspricht jedoch noch lange nicht dem Stand der Praxis, was wiederum vor allem in der TLO-Frage bzw. jener der Ontologiearchitektur begründet liegt. Denn dieses Vermögen setzt den verstandesgemäßen Vollzug einer transdisziplinären Wissenschaftspraxis sowie das Wechselspiel zwischen dieser und spekulativer, d.h. gerade nicht induktiv vollzogener Metaphysik im Whiteheadschen Sinne voraus. Indem dies zirkulär in ratio-empirischer Weise zu vollziehen ist, werden auch maschinelle Agenten dazu eines Tages imstande sein, was indessen die formale Repräsentation allen empirischen Wissens voraussetzt. Das *Cognitive Computing* ist insofern entscheidend, weil es einerseits mit dem *Cognitive Internet of Things*

⁴⁹⁸⁵ Vgl. Hurwitz et al. (2015) sowie F.D. Hudson/Nichols (2016).

⁴⁹⁸⁶ Vgl. Bailin/Truszkowski (2002) sowie Souza et al. (2016).

⁴⁹⁸⁷ Vgl. Van Damme et al. (2007).

(CIoT) das *Cyber-physical Computing* im Sinne lokaler Perzeption bzw. Sensorik, Adaption sowie Aktorik notwendig voraussetzt;⁴⁹⁸⁸ andererseits die *human-machine collaboration* auf eine völlig neue Basis hebt. Denn maschinelle Agenten verstehen auf Grundlage des *Cognitive Computing* nicht nur die natürliche Sprache als solche, sondern auch zunehmend deren situativen Kontext einschließlich eines maschinellen empathischen Vermögens und der damit verbundenen Analysefähigkeit von Gestik und Mimik (Gesichtserkennung usw.). Sie sind in der Kommunikation mit menschlichen Agenten in der Lage, den Kontext beizubehalten und in Erinnerung zu rufen und verstehen es damit gleichzeitig, Wissen in relationaler Weise zu strukturieren, so dass ein sinngemäßer Bezug zwischen Menschen, Organisationen und Artefakten für sie herstellbar ist. Dennoch zählen am Ende immer die Ontologien, indem auch jede Agentenwelt eine ontologische Repräsentation impliziert. Entgegen Kelly/Hamm (2013) bzw. IBM (2015a) löst das *Cognitive Computing* das *Programmable Computing* also keineswegs ab; schon gar nicht in der dort verfochtenen linguistischen Variante. Vielmehr gilt umgekehrt, dass das *Programmable Computing* im Sinne des *Agent-Oriented Programming* (AOP) auf Basis einer *Agent-oriented Programming Language* (APL) eine Aufwertung erfährt. Entsprechend bilden beide zwei wesentliche Facetten des *Ontological Computing*, die in einer *hybriden Agentenarchitektur* auf Grundlage einer evolutionären Prozessmetaphysik parallel zu vollziehen sind: Nur diese kann für integrative IoX-Szenarien richtungsweisend sein, indem es Semantik- bzw. Ontologiefelder gibt, die dynamischem Wandel unterliegen, während andere über möglichst lange Zeiträume gerade notwendig fix bleiben müssen. Sie sind fix, solange darauf gründende Repräsentationen nicht falsifiziert werden. Mit anderen Worten sind fundamentale Ontologien genauso wie *Scientific Ontologies* völlig anders gelagert als *Common Sense Ontologies* oder andere praktische Ontologien, die zu einem großen Teil bzw. ganz auf Konzepten beruhen, die dem dynamischen Wandel sozialer bzw. technologischer Welten ausgesetzt sind. Kelly/Hamm (2013) und viele andere übersehen in grundsätzlicher Weise die zentrale Funktion, die *Referenzontologien* in der Artifizienten Intelligenz zukommt. Sie ziehen aus der Dynamik, die dem *Common Sense* seiner Natur nach inhärent ist, die falschen Schlüsse: Wenn in diesem und in anderen Fällen eine automatische Aktualisierung angezeigt ist, gilt das für eine ganze Reihe von Ontologietypen bzw. -arten gerade nicht. Vor allem gilt dies für die Referenzontologien, es gilt jedoch auch für Anwendungsontologien, deren Semantik mit einer Vielzahl von Systemen und Prozessen verwoben ist. Es lässt sich dazu eine Vielzahl von Bei-

⁴⁹⁸⁸ Entsprechend wird auch die enge Beziehung zwischen *IoT* und *Cognitive Computing* herausgestellt, vgl. Somov et al. (2013), IBM (2015b), F.D. Hudson/Nichols (2016) sowie Sathi (2016); M. Zhang et al. (2012a) sowie Q. Wu et al. (2014) adressieren das *Cognitive Internet of Things* (CIoT) direkt. Fingar (2015: 60) sowie Jamnal et al. (2017) verallgemeinern dieses wiederum zum *Cognitive Internet of Everything* (CIoE).

spielen anführen; allen voran gilt dies etwa für die *Enterprise Ontology* (EO) als integrative Referenzontologie des *Real-Time Enterprise* (RTE). Es gilt jedoch genauso etwa für Steuerungsontologien der *Smart Factory* und viele *Scientific Ontologies*, auf die wiederum andere referenzieren. Wenn es gilt, eine transdisziplinäre *Einheit des Wissens* herzustellen, die für ein echtes kognitives Verständnis maschineller Agenten Voraussetzung ist, muss vielmehr eine Vielzahl grundlegender Axiome wahr bleiben, um diese Einheit zu realisieren. Insofern stellt eine auf *Superintelligenz* angelegte Ontologiearchitektur auch durchaus eine diffizile Sache dar; doch muss es in der AI-Disziplin darum gehen, wenn die Ontologiefrage sachgerecht adressiert wird. Nicht nur im Hinblick auf die fundamentale Ontologie ist es verfehlt, das *Cognitive Computing* jenseits von Ontologien zu sehen, sondern auch insgesamt mit Blick auf die Verschaltung der unterschiedlichsten Ontologietypen bzw. Ontologiearten. Es ist ein elementarer Fehler wenn man meint, Maschinenlernen hätte mit Ontologien nichts zu tun. Es wäre genauso falsch, Ontologien als etwas Statisches zu sehen; vielmehr können Ontologien statisch wie im Zeichen des *Ontology Learning* dynamisch sein; was sie sind bzw. sein müssen, hängt von ihren Inhalten und ihrem Status als Referenz- bzw. Anwendungsontologie ab. Verfechter des heutigen *Cognitive Computing* haben den Ontologieaspekt in keiner Weise richtig verstanden, wenn sie diesen auf den linguistischen *Common Sense* beschränken. Indessen sind es gerade diese, von denen sicher gesagt werden kann, dass auf ihnen keine *Superintelligenz* basieren kann. Vielmehr können sie im *Cognitive Computing* nur eine Funktion erfüllen, nämlich im Sinne von M2H- bzw. H2M-Interaktionen ein gemeinsames Verständnis maschineller und menschlicher Agenten zu gewährleisten, das sich auf die einfache Weltauffassung letzterer bezieht. In der Tat basiert die Intelligenz heutiger kognitiver Systeme wie IBM Watson nicht etwa im Leibnizschen Sinne auf einer integrierten Ontologiekonzeption,⁴⁹⁸⁹ sondern fußt vielmehr primär auf maschinellen Lernalgorithmen mitsamt einer linguistischen Semantik. Von "Ontologie" ist bei IBM (2015a) bzw. Kelly/Hamm (2013) entsprechend erst gar nicht Rede, zumindest bei letzteren ganz vereinzelt von linguistischer Semantik. Wenn bei IBM (2015a) "*a new age of understanding*" in Aussicht gestellt wird, darf dies nicht als wissenschaftliches bzw. metaphysisch-transdisziplinäres Verständnis missverstanden werden. Denn es geht weder um *metaphysische Ontologie* noch um *Scientific Computing*; es geht auch nur bedingt um Verstehen, sondern vielmehr um maschinelle Lernalgorithmen, die u.a. auf ein tiefgreifendes menschliches Sprachverständnis zielen. Technisch basiert Watson einerseits auf dem UIMA Framework zur Analyse von *Terabytes* unstrukturierter Dokumente,⁴⁹⁹⁰ andererseits auf linguistischen Lightweight-Ontologien wie *DBpedia Ontology* (DBPO) bzw. YAGO zur Re-

⁴⁹⁸⁹ Zumindest bewegen sich Bringsjord/Govindarajulu (2016) bzgl. einiger Aspekte in diese Richtung.

⁴⁹⁹⁰ Vgl. IBM (2014); vgl. speziell zum UIMA Framework Ferrucci/Lally (2004).

präsentation von *Common Sense*, wobei zur lexikalischen Stützung ferner auf WordNet zurückgegriffen wird. Demgegenüber setzt die Mustererkennung von Watson rein auf Deep Learning auf.⁴⁹⁹¹ Dass dies nicht in Richtung wissenschaftlich basierter Superintelligenz gehen kann, wird nicht nur mit Blick auf die zweifelhafte Qualität von Wikipedia-Einträgen,⁴⁹⁹² sondern auch mit den *Top-level Kategorien* bei WordNet deutlich, die Entitäten in *living things* (organisms) und *non-living things* (objects) differenzieren. Dass bei Watson noch nicht einmal klassische *Common Sense Ontologies* wie Cyc zum Einsatz kommen, hat wiederum seine Gründe: linguistische Ontologien wie SUMO mit Hunderttausenden von Entitäten oder Cyc mit zwei Millionen Fakten bzw. formalen Axiomen oder WordNet mit zweihunderttausend Begriffen werden manuell erstellt. *Cognitive Computing* erfordert für die Interaktion mit menschlichen Agenten jedoch stets aktuelles *Common Sense Knowledge*, was SUMO und Cyc nicht sicherstellen können. Insofern kommen Ontologien wie DBPO oder YAGO, teils in Kombination mit WordNet zum Einsatz. In Bezug auf den *Common Sense* ist ein solches methodologisches Vorgehen also effizient, allerdings im Hinblick auf eine eventuelle Wechselwirkung mit *4D-Scientific Ontologies* im Sinne Quines gewiss nicht unproblematisch. Das zentrale Problem besteht also in der prinzipiellen Interdependenz aller Ontologie, womit fundamental inkompatible Ontologien generell vermieden werden sollten. In Bezug auf viele ontologische Anwendungsszenarien, etwa PPR-Steuerungsontologien der Smart Factory, besteht das Erfordernis einer automatischen Aktualisierung nicht; zugleich sind hier Fehler, die durch eine automatische Ontologiegenerierung verursacht werden können, unbedingt auszuschließen. Analoges gilt für *Scientific Ontologies*; auf dem gegenwärtigen Stand der Ontologiepraxis kommt man auch bei ihnen kaum um eine manuelle ontologische Bearbeitung umhin, indem die Ontologien techno-wissenschaftlich vollständig korrekt zu sein haben. Es ist also auch in dieser Hinsicht strikt zwischen verschiedenen Welt- bzw. Ontologietypen zu differenzieren, und man sollte dabei nicht meinen, dass man für alle Welten so verfahren kann, wie es bei der einfachsten Welt, der *Common Sense World*, etwa im Hinblick auf die Fehlertoleranz möglich ist. Wenn das *Cognitive Computing* bei Kelly/Hamm (2013) an einer linguistischen Semantik festmacht, wird die Maßgeblichkeit des ontologischen Inkommensurabilitätsproblems übersehen: Ontologien sind nur dann in andere tatsächlich übersetzbar, wenn ihre *Top-level* und meta-ontologischen Dispositionen kompatibel sind. Nimmt man das ganze Spektrum an Ontologien, ist das allerdings eher selten der Fall. Demgegenüber ist ein *Mapping* von *Top-level Kategorien* in

⁴⁹⁹¹ Vgl. IBM (2017).

⁴⁹⁹² Hier sei etwa auf die zahlreichen ungeschulten Ersteller der Informationen, die Mehrdeutigkeitsprobleme der Alltagssprache sowie auf die fehlende Meta-Ontologie hingewiesen. Bei aller beeindruckenden Leistung darauf aufsetzender kognitiver Systeme sind unter solchen Bedingungen dennoch Fehlschlüsse nie auszuschließen.

aller Regel deshalb nicht vollziehbar, weil sich die Kategoriensysteme an sich nicht gleichen und die meta-ontologischen Dispositionen andere sind. Vielmehr wird deutlich, dass sich das Inkommensurabilitätsproblem nur dann beseitigen lässt, wenn an der *Meta-Ontologie* selbst angesetzt wird. Daraus folgt, dass in hybriden Agentenarchitekturen primär die Ontologien und somit die Ontologiearchitektur als solche bestimmend sind. Auf linguistischer Basis lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem nicht lösen; vielmehr wird es durch linguistische Ontologien erheblich verschärft. Tatsächlich markiert das Inkommensurabilitätsproblem kein semantisches, sondern ein *metaphysisches* Problem, das sich entsprechend auch nur metaphysisch lösen lässt. Metaphysik ist die Disziplin, deren Gegenstand in der Klärung der fundamentalen Strukturen *realer* bzw. *möglicher* Welten besteht, die für CPSS-adäquate Ontologien gleichermaßen unabdingbar sind. Mit A.I. Goldman (1987, 2007) besteht dabei eine direkte Relation zwischen *Cognitive Science* und der *Metaphysics of Events*. Vor diesem Hintergrund ist das eigentliche Problem des heutigen *Cognitive Computing* erst darin zu sehen, dass auch die Perzeption und Kognition als solche CPSS-inadäquat sind. In dieser Sache ist zu berücksichtigen, dass es völlig disparate Verständnisse von Perzeption und Kognition gibt. Die *Natural Language Metaphysics* fällt unter die deskriptive Metaphysik, und diese beruft sich auf Kant (1781). Für diesen bildet die Perzeption eine Unterart der Vorstellungen, die die deskriptive Metaphysik wiederum mit dem *Common Sense* assoziiert; Kognition vollzieht sich dann im Sinne Wittgensteins auf Grundlage – und innerhalb der Grenzen – der Alltagssprache. Indessen wird eine solche Position weder durch Leibniz und Whitehead, noch durch Physiker wie A. Einstein geteilt. Für sie alle ist vielmehr das entscheidend, was bei Whitehead (1927, 1929a) als *symbolische Referenz* perzeptiver Erfahrung erörtert wird. Kurzgesagt bezieht sich die Perzeption dann auf Basis zweier distinkter Modi auf sämtliche Automatenklassen und sie steht in direkter Referenz zu realen Prozessen der Informationsverarbeitung, bei denen Objekte Signal für Signal, Bit für Bit erst aus *cyber-physischen Event Streams* emergieren. CPSS-adäquat geht es perzeptiv um eine Universalisierung von J.J. Gibsons (1966, 1979) *Information pickup*; ontologisch um Wheelers (1990) *"It from bit"*; letztlich gründet alles im Leibniz-Whitehead-Paradigma cyber-physischer Digitalmetaphysik. Demgegenüber sind Perzeption und Kognition in aktuellen Ansätzen des *Cognitive Computing* linguistischer Provenienz im Sinne Wittgensteins völlig anders gelagert und gehen damit an der cyber-physischen Natur der Informatik letztlich völlig vorbei. Es besteht somit ein linguistisches Paradoxon: das *Cognitive Computing* muss mit der Alltagssprache menschlicher Agenten und ihrem *Common Sense* gewiss umgehen können, allerdings kann es nicht auf ihr gründen; sie ist wichtig, jedoch sekundär; primär sind die kausalen informationsverarbeitenden cyber-physischen Prozesse. Das AI-Paradigma maschineller Agenten liegt dabei nicht

im *Common Sense*, sondern darin, was *ex definitione* gerade über diesen hinausgeht, nämlich in der *Superintelligenz*. Diese setzt ein echtes Verstehen aller kausalen cyber-physischen Zusammenhänge voraus, d.h. in der Weise, wie sie tatsächlich in wissenschaftlicher Weise im Kontext der richtigen Realitätsauffassung in transdisziplinärer Weise zu erfassen sind. Insofern muss es um sehr viel mehr gehen als um maschinelles Lernen, wobei insbesondere nicht jenes wegweisend sein kann, das sich gar nicht unmittelbar auf die reale Ebene, als vielmehr in Form des *Natural Language Understanding* (NLU) lediglich auf eine mehr oder weniger darauf bezogene naive Sprachebene bezieht. Es geht dann in semantischer Hinsicht weniger um die Realität als solche, wie es dem *Sensing* des *Internet of Everything* eigentlich entsprechen muss, als vielmehr um die Analyse von *Terabytes* unstrukturierter Daten. Maschinelles Lernen ist gerade in evolvierenden Kontexten zweifellos wichtig und steht damit in keinem Widerspruch zur Whiteheadschen Prozessmetaphysik. Dennoch bilden CPSS-adäquate Ontologien einschließlich des *Sensing* zur Gewährleistung der *symbolischen Referenz* das eigentlich entscheidende Moment. Insofern ist die Leibniz-Whitehead-Poppersche Alternative, die in einer ausdifferenzierten integrierten Ontologiearchitektur besteht, vorzuziehen. Dies wird umso mehr erforderlich, als sich die Interaktion wissensbasierter Agenten nicht nur auf solche Welten bezieht, in denen sie unmittelbar eingebunden sind; vielmehr nutzen tatsächlich intelligente Agenten in ausgiebiger Form die verschiedensten externen Wissensbasen. Hierzu gehört im CPS-Kontext sowohl physikalisches Wissen (W1) als auch etwa Aufgabenontologien (W3) oder MAS-bezogenes Wissen (W4), etwa über Strukturen von Agentennetzen usw. Gerade auch auf diese bezieht sich das *Ontology Learning*; d.h. auch diese externen Wissensbasen können prinzipiell stets aktuell bleiben. Damit wird deutlich, dass die Beziehung zwischen der Ontologie und dem *Cognitive Computing* eine ganz andere ist als es der historische Streit um die Agentenstrukturen sowie darauf zurückgehende jüngere Fehlentwicklungen vermuten lassen: *Cognitive Computing* ist nicht nur notwendig *Ontological Computing*, sondern es offenbart vielmehr die eigentliche Ontologieproblematik: Denn alles *Cognitive Computing* ist nur dann sachgerecht möglich, wenn es *gleichzeitig* auf einem CPSS-adäquaten *konzeptuellen* und *semantischen* Modell gründet,⁴⁹⁹³ die nicht nur interdependent, sondern darüber hinaus zirkulär zu verstehen sind:⁴⁹⁹⁴ Mit der Perzeption gründet *Cognitive Computing* notwendig auf der Sensorik und damit auf *Ubiquitous Computing* und *Cyber-physical Computing*. Indem es dabei ein *Autonomic Computing* auf Basis von *Reality Machines* repräsentiert,⁴⁹⁹⁵ muss es auf konzeptuellen und

⁴⁹⁹³ Vgl. dazu auch Haun (2014: 13 f., 29, 148, 152, 250, 327, 330, 383, 459).

⁴⁹⁹⁴ Zirkulär in dem Sinne, als jedes konzeptuelle Modell auf Entitäten basiert, die semantisch explizit in einem umfassenden semantischen Modell spezifiziert sind, vgl. auch Sathi (2016: 89). Es geht damit um die zwei Ontologieebenen, die mit IMKO *OCF* vorauszusetzen sind.

⁴⁹⁹⁵ Vgl. etwa Q. Wu et al. (2012) sowie M. Zhang et al. (2012b).

semantischen Modellen basieren, die *techno-wissenschaftlich* vollständig korrekt sind. Es steht somit außer Frage, dass sachgerechtes *Cognitive Computing* allein auf einer *integrativen Ontologiekonzeption* (R40) aufbauen kann, die auf Basis einer *Multiweltenontologie* bzw. Mehrweltenontologie (R8) operiert: Es setzt für alles *IoX-Computing* ein *universales Modell der Realität* einschließlich eines korrekten Physikmodells genauso voraus wie mit der Mustererkennung die Bit- bzw. Pixel-Zentrierung. Damit ist der Grundstoff der *Information* im Sinne der IMKO *Informationstheorie* gleichzeitig physikalisch-syntaktischer als mit der Byte- und Zeichenebene darauf aufbauend insbesondere auch semantischer Natur. Insgesamt wird damit für das *Cognitive Computing* das IMKO *OCF*, das im Leibnizschen Sinne metaphysische Ontologie und Wissensontologie im Zeichen der Bit-zentrischen Digitalmetaphysik eint, unerlässlich. Denn eine universale Wissensontologie ist im *Cognitive Computing* nicht ohne metaphysische Ontologie möglich. Wenn kognitive Systeme gleichzeitig Alltagssprache menschlicher Agenten verstehen können müssen, folgt daraus, dass es sich dabei nicht um den primären, sondern allein um einen nachgeordneten Ontologietypus handeln kann, worauf wir in Pkt. 8.2 zurückkommen. Rein reaktive Architekturen sind somit genauso abzulehnen wie rein deliberative Architekturen. Oftmals kommt heute aber nur einer der Ansätze zur Anwendung; die Robotik gründet also entweder auf ANN- bzw. vergleichbaren Ansätzen, oder aber etwa mit der *IEEE Ontologies for Robotics and Automation (ORA) Working Group* auf Ontologien.⁴⁹⁹⁶ Ansätze wie die *Core Ontology for Robotics and Automation (CORA)* bzw. die *Positioning Ontology (POS)* weisen dabei eine explizite TLO-Referenz auf.⁴⁹⁹⁷ Demgegenüber kann auch gerade in der Robotik allein die Kombination beider Architekturen im Sinne *hybrider Agentenarchitekturen* universaler Agenten wegweisend sein (vgl. Pkt. 6.3). Eine solch *hybride Agentenarchitektur* ist in Whiteheads perzipierenden *Subjekt-Superjekten* im Grunde angelegt; sie wird möglich, indem auch die Ontologie auf die Fundamente der *Theorie komplexer Systeme* gestellt wird, wie es der Whiteheadsche Ansatz letztlich auch impliziert. Tatsächlich bedeutet eine *hybride Agentenarchitektur* zweierlei: erstens, dass ein Ansatz erforderlich wird, der das Deep Learning auf Basis *künstlicher Neuronaler Netze* (ANN) bzw. verwandte neuere biologische Ansätze wie *hierarchische Temporalspeicher* (HTM) mit dem klassischen *Reasoning* integriert.⁴⁹⁹⁸ Dabei kann letzteres auf verschiedenen Grundlagen stehen; heute handelt es sich dabei um einen semantischen Ansatz, d.h. um Ontologien mit Regeln. Zweitens, dass es neben dem *Lernen* vor allem um das *Verstehen* und damit um eine *Inkontextsetzung* des Erlern-

⁴⁹⁹⁶ Vgl. hierzu Schlenoff (2014) sowie Jorge et al. (2015).

⁴⁹⁹⁷ Vgl. Prestes et al. (2013, 2014) sowie ergänzend Fiorini et al. (2015).

⁴⁹⁹⁸ Während das *Deep Learning* als ANN-Ansatz auf einem simplen biologischen Modell aufbaut, zielen jüngere Ansätze wie das *Hierarchical Temporal Memory* (HTM) auf ein realistisches, am *Neocortex* orientiertes biologisches Modell. Dieser *Biological Neural Network* Ansatz, der auf Jeff Hawkins zurückgeht, steht dabei ebenfalls im Zeichen *komplexer Systeme*, vgl. Hawkins/Blakeslee (2004).

ten gehen muss. Allein auf diese Weise werden die Vorteile beider Ansätze verknüpft bzw. die jeweiligen Nachteile ausgemerzt: die ANN-Vorteile liegen in den vergleichsweise geringen Kosten sowie der Reaktion auf vollkommen neuartige bzw. unvorhergesehene Konstellationen in dynamischen Umwelten. Für mobile Roboter bzw. CPS, etwa spezifische PEIDs ist der letztere Aspekt unabdingbar; insbesondere in diesen Fällen kann ein bloßes *Reasoning* allein kaum ausreichend sein. Demgegenüber besteht der große ANN-Nachteil zuvorderst darin, dass das entstehende Weltmodell ein lokales, und kein globales ist, dass es allein um Lernen, und nicht um Verstehen geht, und dass damit verbunden die erlernten Sachverhalte eine vergleichsweise schlechte Qualität aufweisen. Die Integration beider Ansätze löst alle Nachteile auf und verbindet ihre Vorteile zu einem Verbund, auf dem echte Superintelligenz möglich wird. Das gilt insbesondere dann, wenn alle Ontologien im Zeichen der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* stehen, indem eine konsequente TLO-Referenz gegeben ist. Streng genommen lassen sich erst auf dieser TLO-Basis beide Ansätze sachgerecht kombinieren, was einschließlich der technowissenschaftlichen Korrektheit aller Ontologien, etwa zu naturwissenschaftlichen Sachverhalten gilt. Ferner haben sie dabei beide konsequent auf dem gemeinsamen Paradigma der Komplexitätsforschung aufzubauen, was mit Verweis auf Pkt. 7.3 für die gegenwärtigen TLO-Ansätze unzutreffend ist. Neuere Agentenarchitekturen verbinden zwar das *Deep Learning* mit *Ontologien* zu einem "*Ontology-based Deep Learning*",⁴⁹⁹⁹ allerdings fehlt dabei gerade die alles entscheidende TLO-Referenz sämtlicher Ontologien.⁵⁰⁰⁰ Daneben wird mit Blick auf das Leibniz-Whiteheadsche Moment der Perzeption deutlich, dass die Sensorik solcher hybrider Agentenarchitekturen gerade auch die Notwendigkeit einer neuen, integrierten Informationstheorie impliziert, die im Zeichen der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* auf eine *neue Informationstheorie* hinausläuft. Diese ist richtig verstanden im Zeichen des in Pkt. 6.2.1 erörterten CEP/SCEP-Konnexes, dessen Ereigniszentrismus im Zeichen der techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* als Digitalmetaphysik steht. Denn ihr Ereigniszentrismus ist zum ersten *kategorial-transdisziplinär*, zweitens auf Basis von Signalen bzw. der Sensorik *physikalisch-syntaktisch*, sowie drittens via Bits bzw. Daten auf Basis von Informationen *ontologisch-semantisch*.

- R20) *Ontology-driven Complex Event Processing (OCEP) / Big Data Analytics (RTBDA)*: In IoX-Kontexten geht die Agentenorientierung (R18) im Sinne von *Event Processing Agents* (EPA) etwa auf Basis der *Event Processing Language* (EPL) unmittelbar in den CEP-Gedanken über. Dabei geht es um *Real-Time Big Data Streaming Analytics*; es geht also um Datenströme, die sofort in Echtzeit zu verarbeiten sind. Somit verlangt eine *agentenorientierte TLO-Konzeption* (R18) wiederum zwingend

⁴⁹⁹⁹ Vgl. etwa Petrucci et al. (2016) sowie Phan et al. (2017).

⁵⁰⁰⁰ Während Petrucci et al. (2016) explizit einen *linguistischen* Ontologieansatz auf OWL-Basis verfolgen, legen Phan et al. (2017) genauso explizit das naive Ontologieverständnis Grubers zugrunde.

die Orientierung an *Event Streams* und dem *Ereigniszentrismus* (R9). Analoges gilt mit Blick auf *RFID Events* und anderen sensorbasierten Ereignissen. ODIS-Prozesse werden entsprechend auf dieser ereigniszentrierten Grundlage modelliert, womit sie sich auf *Event-Driven Systems* beziehen, wobei in IoX-Kontexten zum einen eine CEP-BPM-Verkopplung vollzogen wird,⁵⁰⁰¹ zum anderen eine CEP-BR-Verkopplung auf Basis diverser SW-Regelsprachen bzw. Regelstandards (u.a. RuleML, SWRL, RIF, PRR, SBVR, DMN, CL, Prolog). Neben der RuleML als Quasi-Standard ist hier SBVR als OMG-Standard partiell eine Option.⁵⁰⁰² Ziel ist es, IoX-Technologien, CEP/SCEP, BPM-Notationen, BR mit CPSS-adäquaten Ontologien zur Prozessintelligenz des *Sensing Enterprise* zu verschmelzen. Dabei konstituiert die CEP-BPM-Verkopplung das ED-BPM,⁵⁰⁰³ das im Zuge der konzeptuellen Modellierung von ED-SOA-Szenarien im *Sensing Enterprise* von besonderem Belang ist. Für komplexe IoX-Systeme wie die CPPS der *Smart Factory* ist der CEP-Ansatz im Zeichen von Multisensorsystemen Standard und entsprechend ontologisch in jeder Hinsicht vorauszusetzen.⁵⁰⁰⁴ Das *Smart Web* impliziert eine semantische Auslegung des CEP-Gedankens, womit das SCEP impliziert ist (vgl. Pkt. 6.2.1). Dabei ist evident, dass die TLO-Referenz von SCEP-Ontologien in MAS-Kontexten wiederum allein auf ein globales Weltmodell hinauslaufen kann, nämlich auf eine *Top-level Ontologie* als CPSS-adäquate *universale Ontologie* (vgl. Pkt. 6.2.1).⁵⁰⁰⁵ Als solche ist sie mit allen anderen Requirements aufs engste verbunden. Vor allem ist mit R16 eine *revisiönäre Metaphysik* zu fordern, die im techno-wissenschaftlichen Sinne wie als Digitalmetaphysik alle *Requirements* im Zeichen von McCarthy (1995) zu einem "general world view" formiert, auf dessen Basis maschinelle wie natürliche CPSS-Agenten in konzertierter Weise operieren können: Das *Smart Web* ist nicht ohne *Smart Objects* denkbar, die als Whiteheadsche *Subjekt-Superjekte* zu konzipieren sind, in Whiteheadschen *4D-Event Streams* stehen und darin situiert sind, wobei sie in Whiteheads *CAS/MAS-Sinne* intelligent wie adaptiv zugleich sind.

- R21) *Universalien, Tropen, Konzepte*: Eine integrative Ontologiekonzeption (R40) kann sich weder einseitig auf Universalien noch auf Tropen oder Konzepte fixieren. Solche TLO-Konzeptionen entsprechen weder dem SEI-Gedanken noch jenem universaler Ontologie. Vielmehr sind diese sämtlich relevant und auf die einzelnen Welttypen zu beziehen. Konzepte sind etwa im wissenschaftlichen W1A-Typus ausgeschlossen, während sie etwa für W3-Ontologien elementar sind. Umgekehrt sind Universalien für die *Scientific Ontologies* des W1- bzw. W4-Modus elementar, wäh-

⁵⁰⁰¹ Vgl. Schief et al. (2011), M. Weidlich et al. (2011a, 2011b), Becker/Matzner et al. (2012), Bruno (2012), Coffi et al. (2012), Grambow et al. (2012), Roth/Donath (2012) sowie Magoutas et al. (2013).

⁵⁰⁰² Vgl. bzgl. RuleML etwa Paschke/Kozlenkov (2009); vgl. bzgl. SBVR etwa De Roover/Vanthienen (2011a, 2011b) sowie De Roover et al. (2012).

⁵⁰⁰³ Vgl. hierzu etwa Redlich/Gilani (2012).

⁵⁰⁰⁴ Vgl. etwa Babiceanu/Seker (2015, 2016); vgl. hierzu ferner Grauer et al. (2011a, 2011b).

⁵⁰⁰⁵ Vgl. etwa Costantini (2015).

rend sie für W3-Ontologien eher nachrangigen Status besitzen. Setzt man die Suche nach Regelmäßigkeiten bei Langley/Zytkow et al. (1986) bzw. insgesamt den Prozess der *Scientific Discovery* bei Langley/Simon et al. (1987) auf eine neue ontologische Basis, kommt man um Universalien nicht umhin. Indem einerseits auf materielle Entitäten bezogene W1-Universalien einen anderen Status besitzen als W4-Universalien, andererseits subjektive W2-Konzepte einen anderen Status als intersubjektive konsensbasierte W3-Konzepte, ist damit automatisch eine Reihe anderer Anforderungen impliziert, etwa die Mehrweltenontologie (R8), ein ausdifferenziertes Kategoriensystem (R13) oder multiple Wahrmacher (R37).

- R22) *Aktualismus, Possibilismus*: Für ein universales Ontologieverständnis (R1) ist der Gegensatz von Aktualismus vs. Possibilismus besonders problematisch. Technologische Ontologien erfordern etwa bereits für Steuerungszwecke den Possibilismus, während methodologisch streng zu konzipierende *Scientific Ontologies* im Sinne etwa Bunges oder B. Smithens eine Fixierung auf den Aktualismus verlangen. Das gilt auch dann, wenn H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial* etwa mit der AL-Forschung davon abweichende Regelungen benötigen. Auch insofern wird deutlich, dass ein tatsächlich universales Ontologieverständnis (R1) allein Hand in Hand mit einer Mehrweltenontologie (R8) wie insgesamt mit einer integrativen Ontologiekonzeption (R40) realisierbar ist. Bunges bzw. B. Smithens gerechtfertigtes Postulat nach einem strengen Aktualismus bzw. eines streng wissenschaftlichen Modus wird dabei durch den W1A-Modus entsprochen, während Guarinos im ODIS-Kontext ebenso legitime Forderung des Possibilismus etwa durch den W3P-Modus abgedeckt wird. Die Mehrweltenontologie (R8) besitzt dabei eine weitere Funktion, indem es *den* Aktualismus nicht gibt, sondern ein W1A-Aktualismus etwas anderes darstellt als ein W2A-, W3A- oder W4A-Aktualismus. Analog dazu gibt es nicht *den* Possibilismus; vielmehr ist der W1P-Possibilismus ein anderer als der W2P-, W3P- oder W4P-Possibilismus. Es gibt also ganz verschiedene Typen möglicher Welten, bei denen auch noch die F-Modi etwa mit dem W2F- oder dem W3F-Modus zu berücksichtigen sind. Mit Mehrweltenontologien wie CYPO FOX werden exklusivistische Modi möglich, die etwa streng aktualistischer Natur (W1A) sind, ohne dabei eine Vielzahl anderer Einsatzzwecke von Ontologien auszuschließen, wie sie in IoX-Kontexten zu Planungs- resp. Steuerungszwecken auf Basis möglicher Welten (W3P) benötigt werden. Diese gehen wiederum Hand in Hand mit der Prozessontologie (R15), da sie sich explizit auf ein "Werden", speziell auch auf Prigogines (1980a) *From Being to Becoming* beziehen.⁵⁰⁰⁶ Dabei handelt es sich insgesamt um *eine* Realität, womit die verschiedensten Weltmodi immer in Verbindung mit Poppers integrativer Realitätsauffassung zu verstehen sind. Das ist allein schon unter dem Gesichtspunkt der Kausalität unerlässlich (R32). – Bei CPS mit ihren kombi-

⁵⁰⁰⁶ Vgl. Yagi et al. (2005).

nierten physischen und Cyberwelten (R2), bei kombinierten IS/KS-Ontologien (R14), bei hybriden Agentenarchitekturen (R19) oder schließlich insgesamt im Zuge der *Smart Enterprise Integration* (R38) treffen indessen die verschiedensten Ontologietypen und -arten aufeinander, so dass eine einheitliche Top-level Ontologie als "ontological backbone" erforderlich wird, auf deren Basis die Integration von Ontologien streng aktueller und möglicher Welten im Sinne der CYPO-Architektur bewerkstelligbar ist. Indem Cyber-physische Systeme (CPS) physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, lässt sich bei einer IoX-adäquaten Ontologie gewiss nicht von Kontingenzen, Modalitäten und damit möglichen Welten abstrahieren. Nicht nur intelligente CPPS der *Smart Factory* erfordern umfassende Planungsszenarien, sondern sämtliche autonome Systeme. Wenn es nicht nur um mögliche bzw. vorstellbare Zustandsänderungen von Objekten in Zeit und Raum geht, sondern bei Cyber-physischen Systemen vielmehr prinzipiell deren grundsätzliche ereigniszentrische Transformation ontologisch in den Fokus zu nehmen ist, geht die Voraussetzung *möglicher Welten* notwendig mit dem *Perdurantismus* (R23) einher.⁵⁰⁰⁷

- R23) *Vierdimensionalismus bzw. Perdurantismus, inklusive 4D-Common Sense*: CPSS-adäquaten Ontologien liegen Entitäten zugrunde, die als 4D-Entitäten erfasst sind bzw. konzipiert werden (vgl. Pkt. 6.2.5). Diese im prozessmetaphysischen Zusammenhang auf Whitehead (1929a) zurückgehende ontologische Position, die auch durch sämtliche direkte bzw. indirekte Whitehead-Schüler (Russell, Quine, D.K. Lewis, Davidson usw.) vertreten wird, widerspricht der orthodoxen OLP-Position bzw. orthodoxen Common Sense-Ontologien. Demgegenüber setzt sie sich sowohl seit Davidson (1967) im OLP-Bereich als auch mit Verweis auf Pkt. 5.5 bzw. Pkt. 5.7 insgesamt in der Analytischen Philosophie mehr und mehr durch (M. Heller, Sider et al.). Bei *4D-basierten Common Sense-Ontologien*, wie sie sich etwa bei Hayes (1985b) finden, stellt sich das gleiche Bild, wenn sich Hayes explizit auf Whitehead beruft.⁵⁰⁰⁸ Wenn sich wiederum AI-Standardwerke wie jenes Russell/Norvigs (1995) in ihrem 4D-Ereigniszentrismus an Hayes orientieren, steht außer Frage, dass diese Position auf Whitehead zurückreicht. Auch jenseits der deskriptiven Metaphysik ist der Wechsel von der 3D- auf die 4D-Position zu beobachten, wobei sich etwa P.M. Simons direkt auf Whitehead stützt. Darüber hinaus ist dieser Wechsel auch im Bereich der TLO-Theorieanwörter gegenwärtig (GFO). Eine CPSS-adäquate Ontologie läuft dabei sowohl im Zeichen der *Scientific Ontology* als auch im Rahmen technologischer Ontologien auf den Vierdimensionalismus bzw. Perdurantismus hinaus, indem Entitäten in Transformationsprozessen bzw. Lebenszyklen immer raumzeitlich zu denken sind. Darüber hinaus können auch etwa IoT-

⁵⁰⁰⁷ Vgl. hierzu auch West (2002) sowie Andersen/Menzel (2004).

⁵⁰⁰⁸ Vgl. Hayes in Hayes et al. (2002: 13).

Produkte (CPS/PEID) nicht nur zeitliche Teile besitzen, sondern sich über den Zustand ihrer Eigenschaften hinaus verändern. Werden 4D-Trajektorien zugrundegelegt, lassen sich bei mobilen Objekten alle Transformationen bzw. Objektlebenszyklen in physischer Raumzeit im Zeichen der *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) nachhalten. Somit ist der Vierdimensionalismus bzw. Perdurantismus für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) insgesamt gesetzt. Mit Verweis auf Pkt. 6.2.5 sind entsprechend auch moderne EA-Frameworks bereits der 4D-Sichtweise verpflichtet und es wird ebenso bereits die Notwendigkeit gesehen, CM-Modellierungstools auf die 4D-Ebene zu heben. Damit werden zentrale Bereiche der Informatik mit dezidiert metaphysischen Fragestellungen konfrontiert, die nach einem in sich schlüssigen Fundament verlangen. Whiteheads (1929a) *prozessuales Strukturuniversum* bietet hierbei die mit Abstand beste metaphysische Referenzbasis.

- R24) *Situationsbezogenheit/Situiertheit (Situatedness)*: Der ereigniszentrierte Vierdimensionalismus (R9, R23) ist bei einer CPSS-adäquaten Ontologie (R2) im Rahmen der prozessontologischen revisionären Metaphysik (R15, R16) zudem *situationsbezogen* auszulegen. Bereits bei Whitehead (1919) sind Objekte in Ereignissen situiert; bei den durch McCarthy/Hayes (1969) geforderten *metaphysisch adäquaten Repräsentationen* findet sich entsprechend ein *Situationskalkül* (SC), der bei Barwise/Perry (1981b) auf die Basis der *Situationstheorie* gehoben wird, die als mathematische Ontologie zu verstehen ist. Wie eng diese dem ereigniszentrierten Vierdimensionalismus Whiteheads (1929a) verpflichtet ist, wird mit McCarthy (2000) deutlich, wenn für diesen *Ereignisse* und *Situationen* unmittelbar zusammenhängen, indem Ereignisse in Situationen auftreten und wiederum zu neuen Situationen führen. Es geht also um Kontexte, in denen Ereignisse zu sehen sind, wie es bei Whitehead auch konzipiert wird. Die Beachtung der *Situiertheit* von Ereignissen bzw. Objekten ist für die meisten frühen AI-Ansätze jenseits des *Situationskalküls* (SC) nicht selbstverständlich. Nicht zuletzt mit der AI-Kritik bei H.L. Dreyfus (1972, 1992), für den gilt: »situatedness [...] underlies all intelligent behavior«,⁵⁰⁰⁹ ist die Notwendigkeit deutlich geworden, kognitive bzw. situative Aspekte im AI-Intelligenzverständnis stärker zu berücksichtigen. Die Situiertheit gilt dabei sowohl für die Logik als auch für die Ontologie, wobei die *Situation Awareness* (SAW) bzw. *Context Awareness* (CAW) das Erfordernis entsprechender SAW- bzw. CAW-Ontologien impliziert.⁵⁰¹⁰ Hier ist auf universale SAW-Ontologien wie SAWA, CONON oder die *Situation Ontology* zu verweisen. Diese haben nicht nur für mobile PEID-Produkte oder humanoide Roboter Relevanz; vielmehr ist in der *Context Awareness* (CAW) gerade auch ein konstituierendes Merkmal der *Smart Factory* auszuma-

⁵⁰⁰⁹ Vgl. H.L. Dreyfus (1992: 53).

⁵⁰¹⁰ Vgl. hierzu etwa R. Want et al. (2015).

chen,⁵⁰¹¹ das eine unmittelbare TLO-Relevanz aufweist.⁵⁰¹² Insgesamt sind bei IoT- bzw. IoX-Systemen *Computational Contexts* im Sinne von *Context Ontologies* zu berücksichtigen,⁵⁰¹³ die sich auf alle drei Dimensionen des in Pkt. 2.5 erörterten PPRLT-Frameworks erstrecken, also auf raumzeitlich zu erfassende Produkte, Prozesse und Ressourcen. Unter dem GIS-Aspekt des *Ubiquitous Computing* können sie sich ferner auf einen *Point of Interest* (POI) beziehen.⁵⁰¹⁴ Die Situationswahrnehmung bzw. Situationserkennung basiert im Allgemeinen auf dem CEP-Paradigma (R20) und erfolgt in Echtzeit;⁵⁰¹⁵ dieses ist dabei im Zeichen agentenbasierter *Context-Based Event Processing Systems* zu verstehen.⁵⁰¹⁶ Das setzt im Sinne des *Real-Time Enterprise* (RTE) nicht nur die *TLO-EO-Verkopplung* (R39) voraus, sondern impliziert auch umfassende Anforderungen in Bezug auf SEA/SEI-Aspekte (R38). Die Situiertheit bzw. Kontextbezogenheit ist dabei auch für das *Ubiquitous Computing* (R5) insofern von zentraler Relevanz, als für dieses in der räumlichen Lokalität eine zentrale Komponente besteht. Wenn diese bereits für die kontextbasierte *Smart Factory* vorauszusetzen ist,⁵⁰¹⁷ wird wiederum deutlich, dass raumzeitliche *Event Streams* generell den Vierdimensionalismus (R23) implizieren. Das CEP ist dabei im GIS-Sinne als *Spatiotemporal Event Processing* aufzufassen,⁵⁰¹⁸ das mit Pkt. 6.2.5 in universaler TLO-Hinsicht nicht im Zeichen von 3D+T stehen kann, sondern mit den für IoX-Systeme maßgeblichen physischen Sensornetzwerken einen echten Perdurantismus vorauszusetzen hat.⁵⁰¹⁹

- R25) *MAS – Selbstorganisation, Kreativität, endogener Wandel*: In gleicher Weise, wie die Whiteheadschen *Subjekt-Superjekte* der Agentenorientierung entsprechen, korrespondiert die bei Whitehead metaphysisch vorweggenommene Theorie zellulärer Automaten als *Complex Adaptive Systems* (CAS) mit dem Aspekt von Multiagentensystemen (MAS). Für Agenten in CPS-Kontexten sind metaphysisch jene Voraussetzungen zu fordern, die sich bei Whitehead (1929a) finden, nämlich Selbstorganisation, Indeterminismus, Kreativität wie das Moment endogenen Wandels bzw. endogener Neuerung. Diese prozessmetaphysische Fundierung Whiteheads sollte bei der Ontologie- bzw. Agentenarchitektur systematisch berücksichtigt werden, um ihre gegenwärtig zahlreich bestehenden Defizite zu beseitigen. Es darf angenommen werden, dass diese Defizite vor allem darauf zurückgehen, dass die Ontologie- bzw. Agentenarchitekturen bisher im Allgemeinen gerade nicht auf der Grundlage eines in sich geschlossenen metaphysischen Fundaments entwickelt werden. Indem PLM-

⁵⁰¹¹ Vgl. etwa Alexopoulos et al. (2014) sowie Dhuieb et al. (2016); vgl. hierzu auch Y. Chen/Hu (2013).

⁵⁰¹² Vgl. etwa Alexopoulos et al. (2014: 379 f.).

⁵⁰¹³ Vgl. Mills/Goossenaerts (2005) sowie Cristea et al. (2013).

⁵⁰¹⁴ Vgl. Strang/Linnhoff-Popien (2003).

⁵⁰¹⁵ Vgl. etwa Stojanovic/Artikis (2011).

⁵⁰¹⁶ Vgl. Etzion/Magid et al. (2011).

⁵⁰¹⁷ Vgl. Westkämper et al. (2005).

⁵⁰¹⁸ Vgl. Etzion/Zolotorvesky (2010).

⁵⁰¹⁹ Vgl. K. Moody et al. (2010: 119 f.); vgl. hierzu im Einzelnen Römer/Mattern (2004, 2005).

Systeme als Innovationsplattform zu erachten sind, erfordern sie eine Ontologie- bzw. Agentenarchitektur, die systematisch auf die Whiteheadschen Momente der *Selbstorganisation, Kreativität wie des endogenen Wandels bzw. der endogenen Neuerung* zugeschnitten ist. Die mit Prigogine (2000a, 2003) in einem offenen Universum unterstellt, dass die Zukunft nicht gegeben ist, weder in der Natur noch im Sozialen. Das bezieht sich auch hier auf wissenschaftliche, technologische und praktische Sachverhalte gleichermaßen. Erste werden etwa durch die "New Physics" ähnlich konzipiert, wenn diese neben der Komplexität etwa mit Prigogines Theorie dissipativer Strukturen an selbstorganisatorischen Aspekten festmacht. Bzgl. der Technopraxis geht es demgegenüber um selbstorganisatorische Aspekte, die im CAS/MAS-Zusammenhang stehen, etwa um PLM-basierte Innovationsprozesse oder um jene, die sich im Zuge intelligenter Produktionssysteme in der *Smart Factory* vollziehen.⁵⁰²⁰

- R26) *W1/W4 – Semantic E-Science, objektives Wissen, ontische Kategorien*: Eine CPSS-adäquate Ontologie hat primär auf physischen Welten aufzubauen, indem PEID-Produkte als CPS Bestandteile der physischen Welt (W1) bilden und mit dieser mitunter umfassend interagieren (z.B. Automobile). Wenn darüber hinaus CPSS-adäquate Ontologien in komplexen Systemen wie Verkehrsleitsystemen oder im Katastrophen- resp. Krisenmanagement Einsatz finden, wird deutlich, dass diese etwa bei CPSS auch soziale Verhaltensmuster zum Gegenstand haben (W4). Sowohl in W1- als auch in W4-Fällen geht es damit um empirisch orientierte Ontologien, die unter die *Scientific Ontologies* fallen, da sie objektives Wissen verkörpern und auf ontischen Kategorien basieren. Jenseits dieses Zusammenspiels von Wissenschaft und Technologie sind diese ontischen Kategorien auch für die *Semantic E-Sciences* vorauszusetzen, mit denen das Wissen klassischer Wissenschaften in formalen Weltmodellen semantisch explizit spezifiziert wird. Mit Langley/Simon et al. (1987) lässt sich mit dem Gedanken der AI-basierten *Scientific Discovery* darauf aufsetzen.
- R27) *W2 – Belief Systems, subjektives Wissen, epistemische Kategorien*: Die meisten 3D- bzw. substanzorientierten TLO-Konzeptionen sind nicht agentenorientiert, wobei sie oftmals noch der überholten *Subjekt-Objekt-Dichotomie* unterliegen. Das geht bei einigen TLO-Ansätzen (etwa BFO oder BWW) mit dem Umstand einher, dass sie als Monoweltenontologien rein an ontischen, nicht auch an epistemischen Kategorien orientiert sind. Solche TLO-Konzeptionen gehen an den AI-Zwecken in verteilten Systemen letztlich vollkommen vorbei. Vielmehr ist festzustellen, dass moderne AI-Ontologien in ihrer Agentenorientierung auch entsprechende kategoriale Implikationen mit sich bringen. Wesentlich ist dabei, was Rescher (2003a: 349) im Rahmen seiner Epistemologie feststellt, nämlich der bereits in Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* angelegte Umstand, dass die Agentenwelt nicht mit der ontischen

⁵⁰²⁰ Vgl. etwa Dobrescu/Florea (2013), Leitão (2013) sowie S. Wang/Wan et al. (2016).

Welt gleichzusetzen ist, wenn es um agentenbezogene *Belief Systems* geht: »The limits of our knowledge may be the limits of *our* world, but they are not the limits of *the* world. We do and must recognize the limitations of our cognition«. Indem intelligente CPS als *Reality Machines* mit ihrer Sensorik/Aktorik (R2) immer *agentenbasiert* (R18) sind,⁵⁰²¹ steht außer Frage, dass jede CPSS-adäquate Ontologiekonzeption ebenfalls dieser Agentenorientierung bedarf. Dabei impliziert der CAS-Aspekt (R4) von CPS automatisch eine MAS-Konzeption (R18). Superintelligenz ist allein dann realisierbar, wenn im Sinne hybrider Agentenarchitekturen (R19) subjektive Agentenwelten (W2) samt Submodi (W2A, W2P, W2F) separat abgegrenzt werden. W2-Ontologien liegen dabei epistemische Kategorien zugrunde. Insofern gibt es keinen echten Widerstreit zwischen *ontischen* und *epistemischen* Kategorien, wie er durch P.M. Simons (2010c) implizit gezeichnet wird. Vielmehr gilt Feyerabends (1975) "*anything goes*", wonach eine integrative Ontologiekonzeption (R40) beide Modi beherrschen können muss, wobei es ein umfassendes Zusammenspiel zwischen ihnen gibt. Im Zuge der CPSS-Adäquanz besteht dieses notwendig im *W2/W1-Abgleich zur Belief Revision* (R29) sowie in der *W2/W3-Transformation* (R33). Beides, insbesondere auch letzteres gilt für sämtliche Agentenklassen, was im Kontext von Superintelligenz mit Langley/Simon et al. (1987) auf den Gedanken der AI-basierten *Scientific Discovery* hinausläuft; also auf Prozesse, in die mehr oder weniger allein maschinelle Agenten involviert sind. Mit der MAS-Adäquanz (R18) stehen W2-Ontologien immer in Relation zu W4M-Ontologien, also dem strukturalen MAS-Gefüge und allem Wissen darüber (agentenbezogene Netzwerkanalyse: Positionen, Relationen, Trustworthiness usw.). Bereits mit Blick auf ein Ontologie-Mapping sind W2-Ontologien, indem sie spezifisch subjektive Agentenwelten repräsentieren, entsprechend zu indizieren, so dass sie sich spezifischen Agenten zuschreiben lassen.⁵⁰²²

- R28) *W2 – Kritischer Realismus, begrenzte Rationalität, Fallibilismus*: Wie werden ontologische Sachverhalte durch das erkennende Subjekt epistemologisch erfasst und inwiefern lassen sich diese überhaupt erfassen? Es ist naheliegend, die Entwicklung eines sachgerechten, d.h. CPSS-adäquaten W2-Verständnisses im Zeichen der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* zum einen an Whiteheads *Subjekt-Supersjekt* festzumachen, zum anderen an Poppers *Drei-Welten-Lehre*. Darauf ist aus dem Grunde mit Nachdruck hinzuweisen, weil W2-Aspekte in der bisherigen Ontologiedebatte über Jahrzehnte falsch entwickelt worden sind. Mit Blick auf eine *integrative* Ontologiekonzeption (R40) muss objektiv gesagt werden: grundlegend falsch. Der Kardinalfehler besteht dabei darin, dass man den W2-Modus als solchen und nur als solchen entwickelt, nicht aber in seiner Stellung in einer *Mehrweltenontolo-*

⁵⁰²¹ Diese Verallgemeinerung ist insofern zulässig, als es im Sinne des Pendants zur physikalischen Sensorik/Aktorik nicht nur *virtuelle Sensoren*, sondern auch *virtuelle Aktoren* gibt.

⁵⁰²² Vgl. hierzu Jureta et al. (2006).

gie (R8). Das hängt unmittelbar damit zusammen, dass im Grunde alle bisherigen Ontologiekonzeptionen als *Monoweltenontologie* konzipiert sind, während die CPSS-Adäquanz im Sinne kognitiver Roboter als in die reale physische Welt inkorporierte *Smart Embedded Systems* bereits automatisch die Notwendigkeit einer W2-W1-Interaktion in Echtzeit und damit schon eine *Zwei-Welten-Ontologie* als Mehrweltenontologie impliziert. Selbstfahrende Automobile etwa können physikalische Gesetzmäßigkeiten nicht außer Kraft setzen, sondern sind vielmehr systematisch genau auf diese mit allen Eventualitäten in den unterschiedlichsten geographischen bzw. topographischen Regionen auszurichten. Daraus resultiert ein komplexer techno-wissenschaftlicher Zusammenhang, der gewiss einen kritischen Realismus und keinen Konstruktivismus verlangt, der neben epistemischen Kategorien des Agenten ontische Kategorien wie einen metaphysischen Realismus voraussetzt. Indem in praxi die verschiedensten IoT-Produkte regelmäßig miteinander vernetzt sind, gilt dies für alle IoT-Produkte prinzipiell. Dann ist evident, dass IoT-Produkte mitnichten auf einer isolierten W2-Ontologiearchitektur basieren können – und natürlich auch nicht auf dem linguistischen OE-Ansatzpunkt, der die fundamentalen Strukturen der Realität in den OLP-Sprachstrukturen bzw. im *Common Sense* sucht. Vielmehr fordert der techno-wissenschaftliche Kontext intelligenter, agentenbasierter IoT-Produkte in ihrer Eigenschaft als CPS, mit ihren W3-Artefakten und in ihrer W4-MAS-Vernetzung zwingend eine integrierte Ontologiekonzeption als *Mehrweltenontologie* ein, die letztlich auf CYPO FOX hinausläuft. Demgegenüber werden in *Monoweltenontologien*, die im Allgemeinen durch die nachfolgend diskutierten TLO-Theorieanwärter zugrundegelegt werden, die anderen Ontologiemodi systematisch ausgeschlossen. Teilweise bleibt überhaupt unklar, welcher Ontologiemodus die jeweilige Ontologiekonzeption tatsächlich repräsentiert. Damit bleiben aber die gewichtigen qualitativen Unterschiede, die zwischen den diversen Ontologietypen bestehen, unberücksichtigt. – Wenn etwa W2-Ontologien ausnahmslos auf den *epistemischen* Modus (R27) fixiert sind und nichts anderes zulassen, ist das nicht nur in Bezug auf W1- bzw. W4-Aspekte in methodologischer Hinsicht kritisch, sondern gerade auch in Bezug auf W3-Konzepte. Denn bei einer W2-Monoweltenontologie lässt sich nicht mehr zwischen subjektiven und intersubjektiven bzw. objektivierten Ontologien unterscheiden. Dabei korrelieren epistemische Ontologien mit subjektiven, nicht aber mit intersubjektiven Ontologien. Letzteren liegt vielmehr im Sinne der Konsenstheorie bereits ein entsprechender Wahrmacher zugrunde, was die subjektive W2-Ontologie in die intersubjektive bzw. objektivierte W3-Ontologie überführt. Dieser Wahrmacher ändert zwar nichts an der Tatsache, dass es sich weiter lediglich um Kantische Hilfskategorien handelt, jedoch besitzt die betreffende Ontologie mit dieser Transformation nicht mehr einen epistemologischen, sondern einen *methodologischen* Status. Aus der internen Ontologie als Agentenwelt wird somit

eine teilbare externe Ontologie, die in der W3-Technopraxis zu verorten ist. – Der im Hinblick auf eine CPSS-adäquate Ontologie bestehende Kardinalfehler einer Fixierung auf epistemische Kategorien mitsamt ihrer verfehlten Konzeption als Monoweltenontologien geht einher mit einer mehr oder minder ausgeprägten Neigung zum Konstruktivismus, wie sie in Pkt. 6.2.6 diskutiert worden ist. Ontologen, die auf einen Konstruktivismus fixiert sind, vom Bezug zur Außenwelt abstrahieren oder die meinen, dass sich über die Struktur der Sprache die fundamentalen Strukturen der Realität erschließen ließen, sind einer Reihe von Irrtümern aufgesessen. Sie haben die Maßgeblichkeit der revisionären Metaphysik nicht im Ansatz verstanden, ohne die sich keine Ontologie sachgerecht entwickeln lässt. Wenn in der AI-Disziplin *Belief Systems* bemüht werden, kommt man in CPSS-adäquaten "*nontoy worlds*" nicht umhin, diese auf ein Subjektverständnis zu beziehen, mit dem sich die tradierte *Subjekt-Objekt-Dichotomie* genauso wie der *Cartesische Dualismus* überwinden lässt. Darin besteht bei *intelligenten CPS-Objekten*, die im Sinne ihrer agentenbezogenen internen Ontologien eine *Innenwelt* besitzen, jedoch in unmittelbarer Interaktion mit der physischen *Außenwelt* stehen, offensichtlich eine Grundnotwendigkeit, wenn sie zugleich als intelligentes Subjekt wie als materielles Objekt zu verstehen sind. Bereits in solchen grundlegenden Hinsichten kommt man nicht um ein Studium der Metaphysik umhin, wenn es um die Frage einer CPSS-adäquaten Ontologie geht. Dann steht außer Zweifel, dass das Subjektverständnis mit Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* richtig konzipiert ist. Demgegenüber wird in der agentenbasierten AI-Diskussion zumeist ein Subjektverständnis als opportun erachtet, das eher an den extremen Idealismus G. Berkeleys (1710) erinnert. Für ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis besteht jedoch auch darin ein fundamentaler Irrtum, der für hochautomatisierte AI-Systeme inakzeptabel ist und fatale Konsequenzen nach sich ziehen kann. Whiteheads (1929a) *Subjekt-Superjekt* impliziert wiederum den *metaphysischen Realismus* als fundamentale Hypothese (R3), indem es "in der Welt" und "Teil" der Welt ist, wie man es im Sinne der CPSS-Adäquanz (R2) auch voraussetzen muss. Genauso setzt auch Poppers *Drei-Welten-Lehre* den metaphysischen Realismus als fundamentale Hypothese voraus – allerdings kaum ein TLO-Theorieanwärter.⁵⁰²³ Schon damit sind sie defekt, indem sie auf dieser Grundlage das Kriterium der CPSS-Adäquanz bereits von Beginn an konterkarieren. Mit White-

⁵⁰²³ Eine Ausnahme bildet die BWW-TLO, die sich explizit zum *metaphysischen Realismus* bekennt; selbst Smithens BFO-TLO distanziert sich von einem echten metaphysischen Realismus und argumentiert in ihrer phänomenologischen Fundierung methodologisch. Obzwar die Sowa-TLO explizit auf der Whiteheadschen Prozessmetaphysik aufbaut, macht sie um die Frage des metaphysischen Realismus einen großen Bogen – zu umstritten erscheinen die Positionen im Widerstreit zwischen Realismus und Konstruktivismus. Indessen kommt man im Kontext einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption nicht um eine Auseinandersetzung mit dieser Debatte umhin, was auf CAS/MAS-Grundlage zwangsläufig zum Schluss führen muss, dass der *metaphysische Realismus* als fundamentale Basishypothese für eine CPSS-adäquate Ontologie notwendig vorauszusetzen ist. Mit Whitehead und Popper ist dies problemlos möglich; entsprechend sind die fundamentalen Strukturen der Realität im CPS-Sinne zu klären.

head und Popper wird deutlich, dass der W2-Modus allein dann richtig konzipiert ist, wenn dieser in engster Relation zum W1- und W3-Modus entwickelt wird. Im MAS-Kontext kommt der CYPO W4-Modus noch hinzu. Diese Relationalität der vier Welten ist allein schon in kausaler Hinsicht zu berücksichtigen, was für eine CPSS-adäquate Ontologie, die immer eine integrierte metaphysische Wissensontologie darstellt, zwingend zu fordern ist. Vor diesem Hintergrund wird zum einen deutlich, dass jeder Konstruktivismus falsch ist, weil es nicht nur eine Außenwelt gibt, sondern diese auch mit naturwissenschaftlichen Mitteln objektiv erkennbar ist. Würde man gegen diese These votieren, müsste man auch die Möglichkeit eines prognostizierbaren Verhaltens Cyber-physischer Systeme (CPS) negieren, da auch diese als solche "in der Welt" bzw. "Teil" der Welt sind, konkret: der objektiv erfahrbaren Realität. Darüber hinaus haben linguistische Ontologen ein weiteres Rückzugsgefecht anzutreten, indem festzustellen ist, dass ihre *Harmonie-These* einer Wunschvorstellung, aber nachweisbar nicht der Wirklichkeit entspricht: orthodoxe OLP-Ontologien bzw. orthodoxe Common Sense-Ontologien und damit die deskriptive Metaphysik kann für sich nicht die Notwendigkeit etwa des Ereigniszentrismus (R9) oder des Perdurantismus (R23) erkennen, wie sie CPSS in IoX-Umgebungen zwingend einfordern. Der linguistische OE-Ansatzpunkt auf Basis der *Harmonie-These* war schon immer grundsätzlich falsch (vgl. Pkt. 3.3.2), nur wird im CPS-Kontext dieses Scheitern mehr als offensichtlich. Somit stellt sich die Frage, welches metaphysische Fundament vor diesem Hintergrund für die AI-Disziplin samt Epistemologie und Methodologie das richtige ist. Diese Frage ist einfach zu beantworten: Richtig ist die *Prozessmetaphysik* Whiteheads (1929a), richtig ist ihr *kritischer Realismus*, der mit Pkt. 6.2.6 an die Stelle des Konstruktivismus wie des naiven Realismus zu treten hat; richtig ist das davon unmittelbar ableitbare Kriterium *begrenzter Rationalität*, wie es bereits für Whitehead selbstverständlich ist und durch H.A. Simon umfassend herausgearbeitet wird. Mit Rescher (2003a) wird dabei deutlich, dass eine unmittelbare Verbindung zwischen der Methodologie und der Metaphysik besteht, wie sie bereits Popper mit seinem *Kritischen Rationalismus* sieht: der *metaphysische Realismus* ist Voraussetzung für den Fallibilismus, weil dieser die Existenz und Erkennbarkeit der Außenwelt postuliert. Entsprechend ist mit dem metaphysischen Realismus ein ontologischer wie epistemologischer Realismus gemeint. Insgesamt wird deutlich: *Kritischer Realismus*, *begrenzte Rationalität* und *Fallibilismus* setzen eine *erkennbare objektive Realität* voraus. Indem diese Einsichten in den Reihen der Informatik bzw. der AI-Ontologen alles andere als selbstverständlich sind, wird deutlich, dass die ontologische Revolution der Informatik nicht zu vollziehen ist, ohne dass viele landläufig vertretene, in der Tiefe aber oftmals wenig durchdachte Ansichten in der Ontologiedebatte entsprechend grundsätzlich korrigiert werden. Ohne eine in sich geschlossene metaphysische Basis ist

eine solche Korrektur allerdings kaum vollziehbar. Dabei wird mit Pkt. 4.2 im Einzelnen deutlich, warum die Diskussion auf das Whiteheadsche (1929a) System zu beziehen ist, indem es zu diesem keine wirkliche Alternative gibt. Generell gesagt handelt es sich um die einzige techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik, die nicht nur dem Kriterium der CPSS-Adäquanz samt Agentenorientierung entspricht, sondern auch faktisch das metaphysische Fundament des 4D-Ereigniszentrismus wie der CAS/MAS-Orientierung moderner AI-Ontologieansätze manifestiert.

- R29) *W2/W1-Abgleich zur Belief Revision bzgl. physischer W1-Realität*: Im Bereich der Superintelligenzforschung ist evident, dass die Agentenwelt (W2) vor allem auch in den ontologischen Kontext der physischen Welt bzw. der materiellen Realität (W1) zu setzen ist, die sich im Sinne von *Scientific Ontologies* eingehend definieren lässt.⁵⁰²⁴ Dabei geht es primär um den Abgleich der Agentenwelt bzw. der W2-Ontologie und damit um das, was in der AI-Forschung seit langem als "*belief revision*" bezeichnet wird. Diese wird mit De Blanc (2011) vor allem beim Auftreten *ontologischer Krisen* erforderlich, wie es mit Yampolskiy (2016: 61) auch explizit im Kontext der Superintelligenz hervorgehoben wird, wenn es um die Diskrepanz zwischen *interner Ontologie* des Agenten und der *externen Welt* geht. Entsprechend wird mit Yampolskiy (2016) implizit auch ein *metaphysischer Realismus* vorausgesetzt (R3). Eine Revision der Agentenwelt läuft jenseits des lokalen MAS-Mappings (R31) im Kontext verschiedener externer Ontologien auf den Abgleich zwischen lokalem Weltmodell des Agenten und globalen Weltmodellen hinaus. Der hier im Vordergrund stehende Abgleich mit W1-Weltmodellen ist der primäre; jener mit W3- (R30) bzw. W4-Weltmodellen (R31) ein sekundärer. Insgesamt ist bereits an dieser Stelle festzustellen, dass die subjektive Agentenwelt das *Belief System* verkörpert, das als interne Ontologie immer *subjektives Wissen* repräsentiert. Bereits intersubjektive bzw. objektivierte Ontologien fallen nicht mehr darunter, indem diese auf Basis von Konsens als Wahrmacher geprüft sind, und als externe Ontologien teilbar werden. Insofern gilt: *Belief System = Agentenwelt = W2-Ontologie*. Somit bezieht sich auch die *Belief Revision* immer auf die interne Ontologie, also auf eine spezifische Agentenwelt, bei der eine ontologische Krise besteht. Vor diesem Hintergrund relativiert sich die Bedeutung des *Belief Systems*, auf das sich orthodoxe AI-Konzeptionen beschränken, deutlich. Zwar besitzt es nach wie vor zentrale Stellung, weil es die Reaktionen bzw. Aktionen des jeweiligen Agenten maßgeblich bestimmt. Auch besteht in ihm das maßgebliche Agens allen Wandels, indem es etwa für Imagination genauso entscheidend ist wie im Popperschen W2-W3-Sinne für die Generierung objektiven Wissens (R33). Dennoch relativiert sich sein Status in einer integrierten Ontologiekonzeption (R40). Denn jenseits der Feststellung

⁵⁰²⁴ Vgl. etwa Soares (2015a: 7): »However, the problem is made more difficult by the fact that the ontology of the goals will not actually perfectly match the ontology of reality: how are the atoms identified in a model of reality which runs on quantum mechanics?«.

möglicher Fehler im globalen Weltmodell verläuft die *Belief Revision* allein in eine Richtung, indem sie immer die *interne Ontologie* zum Gegenstand hat. Korrigiert wird also die Weltsicht eines einzelnen Agenten, und dieses Erfordernis kann in einer integrierten Ontologiekonzeption von ganz verschiedener Seite kommen, konkret von W1-, W3- oder W4-Ontologien. Dabei gilt: die W2-Ontologie bildet im Sinne der *Belief Revision* im Allgemeinen das schwächste Glied bei CYPO FOX, indem sich die agentenbezogene *interne Ontologie* an die neuen Realitäten aller drei anderen Welten, also der Welt 1, Welt 3 bzw. Welt 4 anzupassen hat. Eine spezifische W2-Ontologie hat als lokales Weltmodell den W1-Ontologien zu entsprechen, aber nicht umgekehrt. Die W2-Ontologie hat den W3-Ontologien und ihren etwaigen Änderungen (z.B. neue TO-Regeln) zu entsprechen, aber nicht umgekehrt. Die W2-Ontologie hat in der Interaktion mit anderen Agenten die Fakten der W4-Ontologien in Betracht zu ziehen, aber nicht umgekehrt. Wenn in der AI-Disziplin an die Stelle von einfachen *Belief Systems* eine CPSS-adäquate integrierte Ontologiekonzeption (R40) tritt, hat das umfassende Konsequenzen für die Agentenarchitektur. Mit der CAS/MAS-bezogenen integrierten CYPO-Agentenarchitektur interagieren Agenten nicht mehr auf Grundlage isolierter *Belief Systems*, sondern auf Basis der integrierten CYPO FOX, mit der sich die Interdependenz aller Welten im cyber-physischen Kontext umfassend berücksichtigen lässt.

- R30) *W2/W3-Abgleich zur Belief Revision bzgl. technologischer W3-Realität*: Die W3-Realität der Technopraxis ist eine im Konsens der jeweiligen Beteiligten objektivierte und damit eine intersubjektive. Typische Beispiele bilden spezifische betriebliche "Realitäten", also etwa konkrete Prozeduren bzw. Routinen, die sich wiederum durch entsprechende Ontologiearten stützen lassen, etwa durch Aufgabenontologien (TO). Die W3-Realität der Technopraxis ist zwar wesentlich durch Technologien und damit durch technologische Ontologien vorbestimmt, jedoch letztlich immer Sache einer spezifischen betrieblichen bzw. organisationalen Praxis. Diese findet ontologisch ihren Niederschlag in den praktischen Ontologien. Entsprechend spielen in der Technopraxis nicht nur Referenzontologien eine Rolle; vielmehr bildet sie wissenschaftlich die primäre Sphäre aller Anwendungsontologie. Denn diese ist auf die spezifischen Belange der jeweiligen Technopraxis adaptiert. Der *W2/W3-Abgleich zur Belief Revision* ist somit zuvorderst auf solche Spezifika fixiert, also etwa auf konkrete TO-Spezifika, die für den jeweiligen Agenten von Relevanz sind.
- R31) *W2/W4-Abgleich zur Belief Revision bzgl. sozialer W4-Realität*: Die W4-Realität baut auf der W3-Realität auf, indem die Welt 3 die Welt der Artefakte ist, unter die auch alle Institutionen als explizite Regelwerke fallen. Der *W2/W4-Abgleich zur Belief Revision* bezieht sich jedoch nicht auf diese W3-Artefakte als solche (R30), sondern vielmehr unmittelbar auf die Interaktion mit anderen MAS-Agenten. Die Notwendigkeit einer solchen MAS-Interaktion resultiert aus der Funktionsweise von

Artificial Societies, was sich anschaulich am Beispiel der *Swarm Intelligence* (R35) illustrieren lässt. Beim *W2/W4-Abgleich zur Belief Revision* ist zwischen globalen und lokalen Weltmodellen zu differenzieren: während dem Abgleich mit W4A-Ontologien globale Weltmodelle zugrundeliegen, gestaltet sich die Sache im MAS-Bereich differenzierter. Hier haben wir es mit zwei Ontologietypen zu tun. Erstens mit den erwähnten lokalen Weltmodellen, die spezifisch subjektive Agentenwelten repräsentieren und entsprechend zu indizieren sind, so dass sie sich spezifischen Agenten zuschreiben lassen (R27). Auf diese bezieht sich ein Ontologie-Mapping, das die diversen CAS-relevanten lokalen Agentenwelten bzw. die jeweilig aktivierten Teile daraus zum Gegenstand hat. Somit verweist ein solches MAS-Ontologie-Mapping auf die indizierten W2-Ontologien als lokale Weltmodelle untereinander. Zweitens berührt dieser Vorgang über den W2-Modus hinausgehend auch technisch die W4-Ontologie, nämlich die W4M-Ontologie, indem diese Auskunft gibt über die empirisch feststellbare CAS- bzw. MAS-Struktur (R35),⁵⁰²⁵ die im Sinne objektiv-faktischen Wissens wiederum ein globales Weltmodell repräsentiert.

R32) *W2/W1-, W2/W3-, W2/W4-Kausalität*: Mit R29, R30 und R31 zeichnet sich bereits im Kontext der *Belief Revision* ab, dass die vier Welttypen der CYPO-Architektur nicht isoliert für sich stehen, sondern interdependent sind. Das gilt sowohl im Hinblick auf die Wissensontologie als auch damit verbunden im Hinblick auf die metaphysische Ontologie, also für die integrierte metaphysische Wissensontologie insgesamt. Wenn auch jede Welt unter jeweiligem Gesichtspunkt auf eine spezifische Realität abstellt, geht es natürlich insgesamt um die *eine* Realität. Der Umstand, dass ein spezifischer, raumzeitlich verstandener Agent eine eigene subjektive Realität besitzt, die ggf. durch Possibilia bzw. Fiktionen ergänzt ist, bildet im Sinne der Überwindung der *Subjekt-Objekt-Dichotomie* als Faktum einen Bestandteil dieser *einen* Realität, auch wenn die Agentenwelt nicht unmittelbar zugänglich ist. Analoges gilt für spezifische organisationale Realitäten der Technopraxis. Mit Whiteheads *Subjekt-Superjekt* wie in Poppers *Drei-Welten-Lehre* wird die Realität genau in dieser Weise konzipiert. Dabei gründet Poppers integrative Realitätsauffassung auf dem Kausalitätsgedanken. W2-Agenten sind in die natürliche physische Welt (W1) eingebunden und vermögen diese über durch sie geschaffene technologische Artefakte (W3) kausal zu ändern. Gleichzeitig besteht eine kausale Wechselwirkung zwischen W2-Agenten und der sozialen Welt (W4), wie sie auch gerade im MAS-Kontext deutlich wird. Darüber hinaus bestehen zwischen allen vier Welten enge Interdependenzen. Dazu gehört auch die W3-W4-Interdependenz, indem Artefakte wie Institutionen soziales Verhalten regeln, während umgekehrt die Dynamik sozialen Verhal-

⁵⁰²⁵ Unter *prozeduralen* Aspekten kann dieses Mapping auf W3M-Ontologien aufsetzen, die einen nicht-empirischen *technologischen* MAS-Modus repräsentieren.

tens sich in veränderten Institutionen niederschlägt. Auch diese Interdependenz ist zweifellos für agentenbasierte Ansätze maßgeblich.

- R33) *W2/W3-Transformation (Generierung objektiven Wissens)*: In der *W2/W3-Transformation* besteht der Poppersche Grundgedanke des *Kritischen Rationalismus*, indem subjektives Wissen über strenge methodologische Regeln in *objektives Wissen* transformiert wird. Somit geht es um die Integration von subjektiven und objektiven Ontologien. Die Poppersche Transformation stellt auf *Scientific Ontologies* ab, für die der kritische Realismus, deduktive Hypothesen und der Fallibilismus maßgeblich sind. Mit der *Semantic E-Science* ist auch Poppers strenger Kritischer Rationalismus für die AI-Disziplin überaus relevant, was bisher nicht hinreichend reflektiert wird. Indessen besteht auch darin ein zentrales Kriterium der Superintelligenz, was dann deutlich wird, wenn es um die Frage der Automatisierung dieser Transformation im MAS-Sinne geht, die über die Welt 4 führt. Wie unter R27 erwähnt, ist ein solches Procedere auf Basis maschineller Agenten mit Langley/Simons et al. (1987) Vision einer AI-basierten *Scientific Discovery* seit langem angedacht. Die *W2/W3-Transformation* ist von ähnlicher Relevanz, wenn es um die intersubjektive Generierung objektivierte Wissens geht, das lediglich auf Konsens als Wahrmacher (R37) basiert.
- R34) *W3 – Workflows, ODIS Engineering Artefakte, PPRLT-Framework*: Im Sinne von R6 ist die CM-Funktion der TLO weiter zu konkretisieren. Sie kann eine CM-Funktion nur dann sachgerecht besitzen, wenn diese im SEI-Sinne realisiert wird. D.h. sie ist in den EA-Kontext zu stellen. Damit gilt wiederum, dass die CM-Adäquanz auch hinsichtlich der Teilmodellierung besteht. Indem jede Organisation einen Output besitzt, der sich als Produkte bzw. Services verstehen lässt, wird das in Pkt. 2.5 erörterte PPR-Framework für die TLO zentral. Darüber hinaus ist das PPR-Framework für komplexe IoX-Systeme insofern notwendig vorauszusetzen, indem es im IoT-Zusammenhang wie im Kontext der *Smart Factory* zumeist um aktive bzw. intelligente Systemprodukte geht, die mit ihren Servicebestandteilen als hybride Leistungsbündel bzw. als *Product Service Systems* (PSS) zu verstehen sind.⁵⁰²⁶ Mit IoT-Produkten ist das PPR-Framework CPSS-adäquat auszulegen, womit es im 4D-Sinne (R23) als *PPRLT-Framework* zu konzipieren ist. In CM-Prozesshinsicht werden damit BPM-Aspekte für jeden TLO-Ansatz elementar. Analoges gilt hinsichtlich der gängigen Standards (insbes. OMG). Bzgl. ODIS hat die TLO die *BPM-Workflow-Integration* zu berücksichtigen, insbesondere im Hinblick auf die Prozessintelligenz. Damit hat jeder universale TLO-Theorieanwarter auf die *ODIS-Artefakte* der Technopraxis (Konzepte) abzustellen. Gängige OMG-Notationen wie BPMN, SBVR oder UML müssen auf TLO-Basis evaluierbar sein. Das PPRLT-Framework ist auch für das Referenzszenario zentral, indem *Closed-loop U-PLM-Systeme* nicht ohne ein solches Steuerungsparadigma realisierbar sind. Dabei geht es

⁵⁰²⁶ Vgl. etwa Borangiu et al. (2014), insbes. pp. 171 ff.

um die Ermöglichung einer umfänglichen semantischen IS-Interoperabilität über sämtliche PLM-relevanten Prozesse hinweg. Ferner ist der TLO-Ansatz mit Pkt. 3.3.1 im Zeichen der gesamten *Ontologieklassifikation* (R7) zu entwickeln; Superintelligenz ist nicht allein auf TLO-Basis realisierbar, sondern erst auf Basis eines transdisziplinären *Systems von Ontologien*. Insofern lässt sich die TLO-Debatte auch nicht auf den TLO-Aspekt verkürzen; vielmehr ist die Ontologiefrage wie das Inkommensurabilitätsproblem systematisch auf das ganze System von Ontologien zu beziehen (vgl. Pkt. 3.3.1). Die Frage der *Smart Enterprise Integration* (SEI) und ihre Realisierung auf EO-Basis (R39) im Kontext des PPRLT-Frameworks bezieht sich damit im universalen EA-Sinne auf *jede* Organisation bzw. auf jedes MAS. Dabei ist zu beachten, dass BPM-Notationen – etwa S-BPM,⁵⁰²⁷ vor allem aber auch die BPMN-Notation als Quasi-Standard – ihrerseits seit langem *agentenbasierte* Aspekte thematisieren (R18).⁵⁰²⁸

R35) *W4 – MAS-Interaktion, Artificial Societies, Swarm Intelligence*: Die *Ontologie sozialer Realität* wird seit langem thematisiert, etwa durch Mulligan (1987) oder Searle (1995). Im Grunde ist sie auch bereits Gegenstand bei der Whitehead-Schülerin Emmet (1958), die Whiteheads Prozessmetaphysik auf den sozialen Bereich anwendet.⁵⁰²⁹ Offensichtlich geht es dabei auch hier um einen Ratio-Empirismus, der in einer W4-Ontologie als *empirischer* Modus mündet, der speziell auf die institutionellen Belange und Rationalitätskonzepte sozialer Welten abstellt. Dabei wird deutlich, dass es gerade auch in diesem Bereich nicht nur eine aktuelle Welt (W4A) gibt, deren Gegenstand das Verhalten natürlicher Agenten ist. Vielmehr ist zum einen ein darauf bezogener Possibilismus (W4P) erforderlich, der mögliche Welten im Sinne denkbarer sozialer Konstellationen, etwa bzgl. der Struktur und interaktiven Relationen in Netzwerkbeziehungen von Agenten zugänglich macht. Indessen sind maschinelle Agenten in ihrer MAS-Interaktion genauso der empirischen Analyse zugänglich, indem sich etwa für sie genauso eine soziale Netzwerkanalyse vollziehen lässt.⁵⁰³⁰ Entsprechend ist ein gesonderter Modus maschineller MAS-Agenten abzugrenzen (W4M), der der empirischen Analyse der Interaktionsbeziehungen etwa im Sinne einer sozialen Netzwerkanalyse verpflichtet ist. Auch in diesem Fall baut dabei die Welt 4 auf W3-Artefakten auf, die etwa in gemeinsamen Zielsystemen oder etwa in geteilten Ontologien bestehen können. Der W4M-Modus hat alle Formen von *Artificial Societies* unter empirischen Gesichtspunkten zum Gegenstand, etwa wenn es um Aspekte wie *Swarm Intelligence* geht. Mit der in CPS-Kontexten allgemein gegebenen MAS-Eingebundenheit maschineller Agenten ist das Agentenver-

⁵⁰²⁷ Vgl. hierzu A. Fleischmann et al. (2012).

⁵⁰²⁸ Vgl. etwa Jennings et al. (1996, 2000), Norman et al. (1997), O'Brien/Wiegand (1997), Endert et al. (2007), Onggo (2012), Ceballos et al. (2015) sowie Küster et al. (2015).

⁵⁰²⁹ Vgl. hierzu auch Klausner (1983).

⁵⁰³⁰ Vgl. im Kontext agentenbasierter *event-based systems* etwa Aasman (2008).

halten in den Kontext der sozialen Agenteninteraktion zu stellen. Insofern steht nicht nur außer Frage, dass die AI-Disziplin nicht um die Abgrenzung eines gesonderten W4-Modus umhinkommt, sondern auch, dass eine W2-W4 Interdependenz besteht, die durch die W3-W4-Interdependenz (Regulae) flankiert wird.

- R36) *Mehrebenenontologie, Emergenz, multiplikative TLO-Konzeption*: Reality Machines echter autonomer Intelligenz setzen nicht allein den Zugriff auf externe Ontologien voraus, sondern auch deren Ordnung. Transdisziplinarität (R14) und die *Hierarchisierung aller Ontologie*, speziell auch der Wissensontologien, bilden dabei keinen zwingenden Gegensatz. Autonome AI-Systeme benötigen vielmehr im Zuge des Zugriffs auf externe Ontologien Kenntnis darüber, welche Wissensontologien zu welcher ontologischen Schicht im Sinne des Schichtengedankens Hartmanns gehört, auf dem Ontologen wie Poli mit Verweis auf Pkt. 6.2.7 im Kontext der Informatik aufbauen. Auf dieser Basis erkennen bereits erste TLO-Ansätze die Wesentlichkeit des Gedankens der *Mehrebenenontologie*, in dem in solchen *Ontology Levels* ein genuines Moment der integrierten *Mehrweltenontologie* (R8) besteht.⁵⁰³¹ Mit der *Mehrebenenontologie* wird insbesondere im Bereich der Domänenontologien (DO) jene Ordnung eingezogen, die für stabile Inferenzprozesse unerlässlich ist. Als metaphysische Ontologie, die den fundamentalen Strukturen der Realität gilt, wird mit einer solch emergentistischen Mehrebenenontologie darüber hinaus dem Moment der Evolution Rechnung getragen. Auf Basis der *Mehrweltenontologie* wird deutlich, dass sich die raumzeitliche Verortung von Entitäten multiplikativ gestalten kann, wie es für eine CPSS-adäquate Ontologie (R2) vorauszusetzen ist. D.h., dass *Raumzeit-Regionen* mit Entitäten verschiedener Welttypen belegt sein können, die kausal zusammenwirken. Exemplarisch sei die Materie einer physisch existenten Fertigungsanlage (W1) angeführt, die auf Basis von Artefakten (W3) operiert, also etwa auf Basis von Workflows oder Aufgabenontologien. Analoges trifft auf Systemprodukte, speziell auf IoT-Produkte (PEID) zu. Entsprechend setzt eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption eine *multiplikative TLO-Konzeption* voraus, wie sie CYPO FOX als emergentistische Mehrebenenontologie repräsentiert.
- R37) *Multiple Wahrmacher (Truthmakers)*: Indem in einer integrativen Ontologiekonzeption (R40) die verschiedensten Ontologietypen zusammenspielen, werden auch multiple Wahrmacher mitsamt ihrer Verhältnisbestimmung erforderlich. Wahrmacher (Truthmaker) sind generell erforderlich, um die Qualität von Ontologien überprüfen zu können bzw. um überhaupt zu objektivem bzw. objektiviertem Wissen gelangen zu können. Übernehmen maschinelle Agenten mit Langley/Simons et al. (1987) AI-basierter *Scientific Discovery* Prozesse der Wissenschaftsentwicklung, sind methodologisch ähnlich strenge Regeln anzulegen wie bei natürlichen Agenten. Mit *Scientific Ontologies* einerseits und *Reality Machines* bzw. CPSS-adäquaten On-

⁵⁰³¹ Vgl. zu diesen *Ontology Levels* auch Soares/Fonseca (2009).

tologien andererseits steht außer Frage, dass sich die AI-relevanten Wahrmacher nicht auf die *Kohärenz- und Konsenstheorie* beschränken können. Vielmehr spielt die *Korrespondenztheorie* eine maßgebliche Rolle. Indem *Scientific Ontologies* gegenüber praktischen Ontologien primären Status besitzen, ist auch die *Korrespondenztheorie* gegenüber der *Konsenstheorie* als Wahrmacher primär. Demgegenüber spielt die *Kohärenztheorie* immer eine Rolle, insbesondere auch im mathematischen Zusammenhang; indessen ist sie als Wahrmacher in empirischen Kontexten allein nicht hinreichend. Indem es mit R40 gilt, die Ontologien zu integrieren, wird auch die Integration der Wahrmacher im Sinne ihrer Verhältnisbestimmung erforderlich. Unter Maßgabe des metaphysischen Realismus nimmt die Korrespondenztheorie die primäre, die Kohärenztheorie die sekundäre, und die Konsenstheorie als schwächster aller Wahrmacher die tertiäre Position ein.

- R38) *SEA/SOA-Adäquanz, EA-Lebenszyklusorientierung, Enterprise Engineering*: In der *Smart Enterprise Integration* (SEI) besteht aus vielfältigen Gründen ein kategorischer Imperativ der Informatik, der gerade auch im IoT-Kontext gegeben ist.⁵⁰³² Im Wesentlichen geht dies darauf zurück, dass ihr Kulminationspunkt im Wissen besteht und überlegene AI-basierte Systeme eine vollumfängliche semantische Interoperabilität einfordern. Insofern wird deutlich, dass es nicht wegweisend sein kann, Ontologien für spezielle Anwendungen isoliert zu entwickeln, ohne dabei das große Ganze, das ein systemisches Ganzes ist, im Blick zu haben. Vielmehr ist jede einfachste Ontologie vor dem Hintergrund einer *Ontologiekonzeption als Totalentwurf* zu entwickeln. In diesem Sinne ist CYPO FOX als TLO-Synthese auch als SEI-Zielarchitektur zu verstehen, d.h. im Zeichen eines vollumfänglich semantisch interoperablen Totalentwurfs. Hinter diesem hat immer die Idee eines universalen Ontologieverständnis (R1) und einer integrativen Ontologiekonzeption (R40) mit der Top-level Ontologie als "*ontological backbone*" zu stehen. Eine Orientierung am SEI-Totalentwurf ist somit aus dem Grunde unerlässlich, als ansonsten in praxi eine *ontologische Änderungsproblematik* auftritt, die etwa jene um die Notationen der Prozessmodellierung (z.B. Transformation von EPC in BPMN) vollends in den Schatten stellen wird. Obschon die Änderungsproblematik bzgl. der Modellierungsnotationen bei weitem nicht an den fundamentalen Charakter der TLO-Konzeption heranreicht, ist schon sie in praxi kaum bewerkstelligbar.⁵⁰³³ Daraus resultiert wiederum eine po-

⁵⁰³² Vgl. etwa Oracle (2015).

⁵⁰³³ Die *Änderungsproblematik* resultiert daraus, dass der große Änderungsbedarf durch die Fachabteilungen kaum absorbiert werden kann. Zwar gibt es automatisierte Lösungen, doch vermögen diese letztlich wenig zu überzeugen, was nicht nur (semantischer) Unklarheiten bzw. Fehlern in den Legacy-Modellen geschuldet ist. Vielmehr sind die Prozesse auf Basis der BPMN-Notation an sich ganz anders zu modellieren, indem auf Basis von Web Technologien ganz neue Optionen bestehen. Die Reflexion und das Neuaufsetzen der Prozesse lassen sich aufgrund der erforderlichen Kompetenzen und der genauen Kenntnis interner Zusammenhänge darüber hinaus kaum an Dritte delegieren. Zumeist lässt sich dies nur durch wenige Schlüsselakteure bewerkstelligen, die jedoch dem eigentlichen Tagesgeschäft genauso verpflichtet sind. – Indessen wird eine potentielle Änderungsproblematik im Bereich der *Top-level Ontolo-*

tentiell inferiore Prozessintelligenz, indem sich die Möglichkeiten der moderneren BPMN-Notation in SW-Kontexten somit für Organisationen, die mit EPC im Lock-in verfangen sind, nicht nutzen lassen. Werden TLO-Ansätze in SEI-Szenarien eingesetzt, besteht die TLO-Referenzbasis im Grunde für die gesamte Intelligenz der Systeme, wie sie mit Abb. 3 im Zuge der Ontologieklassifikation deutlich wird. Sie ist dabei nicht nur Referenzbasis sämtlicher Ontologiearten, sondern auch der CM-Sphäre und steht damit insgesamt im Kontext der *Smart Enterprise Architecture* (SEA). Sie besitzt damit Auswirkungen auf die Wahl von CM-Tools oder die Entscheidung für bestimmte Notationen usf. Mit Blick auf die Änderungsproblematik steht außer Frage, dass von vornherein genau zu evaluieren ist, ob etwa die ontologischen Kategorien ontische oder epistemische sind, ob mit möglichen Welten gearbeitet wird oder nicht, und ob die CPSS-adäquate Datenmodellierung auf 3D- oder 4D-Entitäten aufsetzen sollte. Mit anderen Worten ist die Entscheidung für einen TLO-Ansatz in der Tiefe genauestens zu evaluieren. Indem keine qualifizierte TLO-Diskussion an den SEI- bzw. SEA-Aspekten vorbeikommt (et v.v.), und für deren prozessuale Verkopplung mit allen Ontologiearten die *Enterprise Ontology* (EO) als Kernontologie (CO) entscheidend ist, besteht in ihrer unmittelbaren Anschlussfähigkeit im Sinne der TLO-Referenz eine gesonderte Anforderung (R39).⁵⁰³⁴ Diese ist dabei wiederum in den Kontext dezidiert MAS-zentrierter EI-Frameworks zu stellen (R18).⁵⁰³⁵ – Im Zuge des TLO-Engineerings ist zu berücksichtigen, dass im Grunde alle Objekte im Fluss der Zeit dem Wandel, der Transformation bzw. der Veränderung unterliegen. Objekte sind somit als *Objektlebenszyklus* aufzufassen, der ontolo-

gie jedoch noch um einiges schwieriger ausfallen, indem ihre fundamentalen Aspekte im Grunde die gesamte *Smart Enterprise Architecture* (SEA) berühren, einschließlich aller digitalen Zusammenhänge um Produkte, Prozesse und Ressourcen (PPR-Framework). Aufbauend auf der *Lock-in Problematik*, in der sich seit einigen Jahren viele Konzerne und Organisationen mit ihren – einst – SAP-nahen, jedoch mittlerweile überholten, auf Grundlage von Keller et al. (1992) teils seit dieser Zeit eingesetzten EPK-Prozessmodellen befinden [SAP setzt seit einigen Jahren selbst auf die BPMN-Notation], sollte die potentielle *Änderungsproblematik* im TLO-Kontext von Beginn an reflektiert werden. Denn TLO-Änderungen dürften in praxi genauso kaum mehr absorbierbar sein, sobald sämtliche Systeme, Datenmodelle, Prozesse usf. ontologiebasiert sind, und dabei einer impliziten bzw. expliziten TLO-Referenz unterliegen. Das legt nahe, sämtliche der zahlreichen fundamentalen TLO-Fragen von Anfang an gut zu durchdenken, was am besten zu vollziehen ist, wenn man sie mit möglichen bzw. zu erwartenden Anforderungen der nächsten Jahrzehnte konfrontiert. Will man in dieser Sache sicher gehen, konfrontiert man sie mit der in Pkt. 6.3 erörterten intendierten *Superintelligenz* der dritten AI-Generation und fokussiert das *Requirements Engineering* konsequent auf entsprechend universalisierte TLO-Anforderungen.

⁵⁰³⁴ Grundsätzlich kann ein vollständiger EO-Ansatz die Funktion einer *EA Ontology* übernehmen, wie sie bei Cretu (2012) oder bei Sunkle et al. (2013) diskutiert wird; vgl. hierzu auch Caplinskas et al. (2003). D. Chen/Doumeings/Vernadat (2008: 658) sprechen das Problem der Koexistenz von *EA Ontology* und EO direkt an, wonach für erste gelte: »this ontology is needed to allow a clear understanding of the universe of discourse in this domain«. – Genau darauf zielt jedoch die EO, wobei die fundamentalen Kategorien im Zuge der *TLO-EO-Verkopplung* aus dem TLO-Ansatz stammen. Umgekehrt gilt jedoch mit D. Kang et al. (2010b: 1457): »Without Enterprise Architectures, it is difficult to grasp the whole features of enterprises. Therefore, enterprise ontologies without consideration for Enterprise Architectures are liable to be incomplete and fail to describe whole enterprises«. Dabei ist allerdings zwischen der CM- und der AI-Sphäre zu differenzieren.

⁵⁰³⁵ Vgl. etwa Dossou et al. (2012).

gisch im Sinne des kritischen Realismus abbildbar zu sein hat. Das gilt analog für das PPR-Framework, indem nicht nur von Produktlebenszyklen (PLC) und Prozesslebenszyklen,⁵⁰³⁶ sondern auch von Ressourcenlebenszyklen auszugehen ist. Das läuft auf das Erfordernis eines *Ontology Lifecycle Management* hinaus.⁵⁰³⁷ Entsprechend ist ein *Enterprise Life Cycle* (ELC) zugrunde zu legen,⁵⁰³⁸ wie es im Zuge tradierter, bereits ontologiebasierter EA-Frameworks (z.B. AIF oder GERAM) geschieht. Insgesamt besteht in der *EA-Lebenszyklusorientierung* nicht nur ein Argument für den Perdurantismus, sondern auch für eine modulare Architektur speziell der TLO-Konzeption, die nicht nur an sich eng auf fundamentale Aspekte zu begrenzen ist, sondern sich aus einzelnen TLO-Modulen zusammensetzen sollte (R46). Darüber hinaus ist festzustellen, dass sich diese *Lebenszyklusorientierung* nicht allein als passiver Prozess gestaltet, sondern vielmehr aktive Eingriffe verlangt.

- R39) *TLO-EO-Verkopplung zum SEI-Vollzug komplexer IoX-Systeme*: Für Zwecke der *Smart Enterprise Integration* (SEI) bildet der TLO-Ansatz als solcher allein die *fundamentale* Referenzbasis. Indessen kann dieser für sich genommen dem Integrationsgedanken gar nicht gerecht werden. Zwar referenziert die CM/AI-Integration (R6) auf den TLO-Ansatz, doch sind die operativen Integrationsprozesse in erster Linie an der *Enterprise Ontology* (EO) als primärer Kernontologie (CO) festzumachen. Analoges gilt für die IS/KS-Integration, wenn diese wesentlich an Workflows orientiert ist. Die CM/AI-Integration ist also primär auf das *Enterprise Model* (EM) der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) bezogen, das mit der *Enterprise Ontology* (EO) korrespondieren muss,⁵⁰³⁹ indem nicht nur Interdependenz zwischen dem konzeptuellen und semantischen Modell besteht, sondern erstes in letztes systematisch zu überführen ist. Dabei steht außer Frage, dass in allen fundamentalen Aspekten im Sinne McCarthys (1995) auf ein einheitliches cyber-physisches Weltmodell zu referenzieren ist, das in den heterogenen TLO-Ansätzen zu suchen ist. Somit wird deutlich, dass kein sachgerechtes TLO-Engineering möglich ist ohne eine eingehende Auseinandersetzung mit der EO-Problematik; dabei ist diese wiederum für sich in keiner Weise hinreichend. Vielmehr ist diese allein unter Integrationsaspekten der Technopraxis wie für die Integration ODIS-spezifischer Ontologiearten (MO, TO, AO, technopraktische DO) wesentlich und für die IS/KS-Integration genauso unerlässlich. Als primäre Kernontologie (CO) ist die *Enterprise Ontology* (EO) also im Zuge des Vollzugs der *Smart Enterprise Integration* (SEI) für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* unabdingbar. Entsprechend ihrer maßgeblichen Bedeutung als

⁵⁰³⁶ Diese sind wiederum als Teil eines gesamten BPM Life Cycle zu sehen, der die vier Phasen der Prozessstrategie, des Prozessdesign, der Prozessimplementierung sowie das Prozesscontrolling umfasst; vgl. zu einer etwas anderen Abgrenzung der vier BPM-Phasen Kannengiesser (2008). Im Zeichen des PPR-Frameworks hängen die Produkt-, Prozess- und Ressourcenlebenszyklen unmittelbar zusammen.

⁵⁰³⁷ Vgl. hierzu Obrst (2010: 27 f.).

⁵⁰³⁸ Vgl. dazu auch Confessore et al. (2010).

⁵⁰³⁹ Vgl. etwa Rajabi et al. (2013).

zentrale TLO-Facette besteht hier mit Pkt. 8.4 ein umfassenderer Forschungsbedarf. Das gilt gerade auch dann, wenn diese Forderung in der TLO-Debatte alles andere als selbstverständlich ist. Dieses Erfordernis gilt auch insofern, als komplexe IoX-Systeme im MAS-basierten BDA-Ansatz (R18) notwendig auf das *Real-Time Enterprise* (RTE) hinauslaufen, für das wiederum die EO-Konzeption samt TLO-Referenz Grundvoraussetzung ist. Natürlich hängt die Echtzeitsteuerung und ein entsprechendes Monitoring mit Verweis auf den zweiten Teil nicht nur unmittelbar mit den modellierten Prozessen zusammen, sondern im Sinne des CYPO PPRLT-Frameworks mit dem *Enterprise Model* (EM) insgesamt. Dieser Zusammenhang wird auch durch den EMDSS-Ansatz bei Ba et al. (2008) betont, der den engen Bezug von *Enterprise Modeling* (EM) und *Decision Support System* (DSS) unterstreicht. Indessen ist dieser in IoX-Systemen im Zeichen des BDA-Ansatzes auszulegen. Niemand wird bestreiten, dass eine im Zeichen von Messpunkten eingesetzte Sensorik in IoX-Systemen im Grunde den BDA-Aspekt unmittelbar impliziert, indem ein solcher Einsatz ohne Auswertung wenig Sinn macht.⁵⁰⁴⁰ – Mit dem TLO-basierten *Real-Time Enterprise* (RTE) wird Haeckels (1995, 1999) IBM-Vision des *Adaptive Enterprise Design* als *Sense-and-Respond Model* auf eine völlig neue, nämlich auf eine *technologische* Basis gehoben; auf eine IoX-Struktur, die im Zeichen der *Sensorik/Aktorik* auf CPSS-adäquaten *Reality Machines* mitsamt MAS-Technologie aufbaut (R2). Dies korrespondiert mit der unmittelbar auf Haeckel bezugnehmenden *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI),⁵⁰⁴¹ die mit ihrem *Event Processing* sowie ihrer BPM- wie CEP-Verbindung ebenfalls im Zeichen des *Ereigniszentrismus* sowie der *Event Streams* (R9) steht. Am RTE-Konzept hat sich jede *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu orientieren, wobei sich dieses im Referenzszenario der *Closed-loop U-PLM-Systeme* auf alle drei Dimensionen des in Pkt. 2.5 erörterten PPR-Frameworks bezieht: in PLM-MOL-Phasen auf die CPS-Aspekte PEID-basierter IoT-Produkte, in PLM-BOL-Phasen der *Smart Factory* auf die CPPS-Aspekte der Produktion wie der vorgelagerten Entwicklung. Dabei geht es in allen PLM-Phasen (vgl. Abb. 1) um Prozesse und Ressourcen, die im RTE-Konzept in Echtzeit gesteuert und überwacht werden. Dabei spielen in U-PLM-Systemen auch *Scientific Ontologies* eine Rolle, wenn es um das Engineering komplexer Produkte in PLM-relevanten Industrien wie der Luft- und Raumfahrt, der Biotechnologie oder der Medizintechnik geht. Somit steht die PLM-CO und damit das EO-Konzept tatsächlich in Bezug zu *sämtlichen* Ontologiearten und -typen, womit die zentrale Relevanz der *TLO-EO-Verkopplung* deutlich wird. Haeckels (1995, 1999) *Sense-and-Respond Model* ist im RTE-Kontext in der Weise auszulegen, dass es im Zeichen des PPRLT-Frameworks in Raumzeit-Regionen an relevanten Messpunkten PPR-Daten auf Basis physischer wie vir-

⁵⁰⁴⁰ In diesem Kontext ist es wenig sinnvoll, zwischen *Smart Data* und *Big Data* zu differenzieren.

⁵⁰⁴¹ Vgl. hierzu Schiefer/Seufert (2005, 2010), Saurer et al. (2006), Schiefer et al. (2007, 2009) sowie Obweiger et al. (2011).

tueller Sensoren generiert. Diese werden in Echtzeit analysiert, entscheidungsrelevant (DSS) aufbereitet und bilden schließlich im AI-typischen kybernetischen Sinne die Basis eventueller aktiver Eingriffe in die reale Welt, die sich wiederum über physische bzw. virtuelle Aktoren vollzieht. Somit steht außer Frage, dass das *Sense-and-Respond Model* im Grunde sämtliche *fünfzig Requirements* impliziert: vom *universalen Ontologieverständnis* (R1) angefangen über die CPSS-Adäquanz (R2), den Gedanken der *Heavyweight-Ontologie als kognitiver CPS-Präzision* (R12), die MAS-Adäquanz (R18), 4D-Datenmodellen (R23) bis hin zu den nicht minder entscheidenden SEA/SEI-Aspekten (R38). Dabei ist klar, dass im Zeichen realer Weltmodelle sowohl der *Aktualismus*, als im Zuge von DSS-, BI- bzw. BDA-Aspekten im Sinne entsprechender Analyse- und Planungsmodelle auch der *Possibilismus* als Weltmodus benötigt wird. CPS fordern also tatsächlich beide Weltmodi parallel ein (R22), was wiederum allein auf Basis einer *Mehrweltenontologie* (R8) bewerkstelligbar ist – die bei einer MAS-Systematik auf CYPO FOX hinausläuft (vgl. Pkt. 3.5). Tatsächlich wird das *Sense-and-Respond Model* erst auf dieser neuen, *technologisch* konzipierten CPS- und damit CAS/MAS-Basis in RTE-Szenarien mit der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* im Zeichen von CYPO FOX richtig ausschöpfbar, indem *superiore Echtzeitsysteme* möglich werden, die wettbewerbsentscheidend sind. Die IoX-Ontologie bezieht sich im Sinne der Ontologieklassifikation in Pkt. 3.3.1 (vgl. Abb. 3) jedoch dabei notwendig auf das *ganze System von Ontologien* (R7); also auf alle Referenz- (RO) und Anwendungsontologien (AO): auf die *Core Ontology* (CO) zur Integration, auf die *Domain Ontology* (DO) als Speicher wissenschaftlichen, technologischen oder praktischen Domänenwissens, auf die *Method Ontology* (MO) etwa im DSS-Kontext, auf die *Task Ontology* (TO) etwa im Rahmen von Workflows, auf die *Application Ontology* (AO) im Zuge aller betrieblichen Adaptionen bzw. von Eigenentwicklungen jenseits des RO-Gedankens. Zwar findet sich eine solche Ontologieklassifikation bereits in Guarinos (1998) deskriptiver Metaphysik; systematisch angewandt, insbesondere im CPSS-adäquaten Sinne des realistischen OE-Ansatzpunkts, wird sie jedoch nirgends: Dann aber kann die *Top-level Ontologie* eigentlich nicht viel mit der *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu tun haben, worin jedoch letztlich ihr zentraler Sinn und Zweck besteht. Denn eine separate KR-Behandlung gibt es *in praxi* nicht, nur im durch Hayes' (1979) zu Recht attackierten *Labor der "toy problems"*, die jedoch für integrierte Informations- und Wissenssysteme in IoX-Umgebungen, und damit für *"real lifeworlds"* nicht ausschlaggebend sind. Die Ausführungen im fünften und sechsten Teil haben zwar offenbart, dass die Klärung aller meta-ontologischen wie kategorialen Fragen mitsamt dem Streit um die deskriptive vs. revisionäre Metaphysik im TLO-Engineering überaus tiefgehende philosophische Diskussionen verlangt. Ohne eine erschöpfende Klärung der weitreichenden Streitpunkte lässt sich die ontologische Revolution der

Informatik in der Praxis nur bedingt beginnen, indem die großen Schwierigkeiten spätestens dann sichtbar werden, wenn es jenseits von Insellösungen um das große Ganze einer *ontologiebasierten Enterprise Architecture* geht; wenn also heterogene Systeme mit verschiedensten Ontologietypen und -arten über die geschlossene digitale Wertschöpfungskette hinweg semantisch vollumfänglich zu integrieren sind. Dann jedoch kommt mit R38 die *ontologische Änderungsproblematik* ins Spiel, deren Umfang dann abschätzbar wird, wenn man sich mit Pisanelli et al. (2002: 125) in Erinnerung ruft: »no computerized systems in this century will ever be designed without an ontological approach«. Mit anderen Worten ist bereits heute absehbar, dass die *ontologische Änderungsproblematik* jedes bisherige Legacy-Problem in den Schatten stellen wird, wenn von einer TLO-Referenz abgesehen wird; wenn man versäumt, die fundamentalen TLO-Fragen im Sinne universaler Requirements für alle Integrations- und Anwendungsszenarien soweit wie möglich *einheitlich* zu klären, um einen echten Quasi-Standard zur *Top-level Ontologie* zu begründen. Somit liegt es nahe, alle fundamentalen Ontologiefragen bereits im Vorhinein zu durchdenken. Das sollte mit dem Ziel der Entschärfung der Änderungsproblematik im Zuge der TLO-Referenz unbedingt *explizit* vollzogen werden. Ansonsten würden fundamentale Dispositionen ohnehin *implizit* vorausgesetzt, womit sich die Änderungsproblematik nochmals erheblich verschärfen würde: So ist bei unklarer fundamentaler Basis kaum ein Ontologie-Mapping nachgeordneter Ontologiearten sachgerecht vollziehbar, das demgegenüber auf *heterogener* TLO-Basis unter Kompatibilitätsaspekten mindestens sofort beurteilt werden kann, während es sich bei *homogener* TLO-Basis unmittelbar wie problemlos vollziehen lässt. Somit kann die Notwendigkeit der erwähnten weitreichenden metaphysischen Debatte, die auch die Epistemologie, Methodologie, Logikkalküle usw. zwangsläufig mit umschließt, gewiss keinen Freischein bedeuten, die nicht minder wichtigen Fragen der *Enterprise Architecture* (EA) bzw. der *Enterprise Integration* (EI) zu vernachlässigen oder gar – wie zumeist üblich – einfach vollkommen auszublenden. Nicht umsonst sind seit langem EA-Referenzmodelle wie GERAM verfügbar, die den Ontologieaspekt mehr oder weniger umfänglich berücksichtigen. Dass sie es bereits tun, unterstreicht dieses Erfordernis nochmals, wobei absehbar ist, dass solche Referenzmodelle mit Blick auf das *Smart Enterprise* gänzlich ontologiebasiert sein werden, wobei insbesondere IoX- und damit CPSS-Aspekte zu berücksichtigen sind. Mit Pisanelli et al. (2002) geht es implizit genau darum, d.h. um die Implementierung des *gesamten Systems von Ontologien*, das mit Blick auf alle fundamentalen Fragen selbstverständlich von der TLO-Basis als oberster Ontologieebene der Informatik zu entwickeln und erschließen ist. Mehr noch: Pisanellis et al. (2002) Feststellung macht ohne eine solche fundamentale TLO-Basis letztlich wenig Sinn, indem ein *System von Ontologien* kein chaotisches System ist, sondern in Sicherstellung vollumfängli-

cher Interoperabilität (R1) wie Transdisziplinarität (R14) vielmehr eine Systematik verlangt, die allein in der fundamentalen TLO-Ebene als *universaler Ontologie* (R1) gegeben sein kann. Dennoch ist zu beobachten, dass in der TLO-Debatte der Streit um die Top-level Ontologie nicht nur isoliert von der EA-Problematik, sondern mehr oder weniger auch isoliert von allen anderen Ontologiearten ausgetragen wird. Das aber kann kaum sinnvoll sein, indem es den erforderlichen Blick auf eine sachgerechte Spezifizierung der TLO-Requirements verschließt, worin ein weiterer Faktor für die Existenz des TLO-Inkommensurabilitätsproblems auszumachen ist. Es gilt also, sämtliche Ontologiearten wie die EA/EI-Problematik in die TLO-Debatte systematisch einzubeziehen, woraus im Gegenzug folgt, für alle Ontologiearten im Sinne des *realistischen OE-Ansatzpunkts* (vgl. Pkt. 3.3.2) die TLO-Referenz als zwingendes Erfordernis vorauszusetzen, was unter Integrationsgesichtspunkten die EO-Referenz mit beinhaltet. Der SEI-Gedanke impliziert also die erwähnte *TLO-EO-Verkopplung*, indem alle nachgeordneten Ontologien auch auf die Kernontologie als operativen Integrator zu referenzieren haben. Ansonsten bleibt das Ziel der Realisierung einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität Vision, was jedoch nicht nur im U-PLM-Referenzfall bei hochautomatisierten Systemen kaum gewollt sein kann. Eine solche TLO-Referenz *sämtlicher* Ontologien ist allein schon zur Bestimmung der Frage nach den zentralen Kategorien unabdingbar, die konkret mit dem *4D-Ereigniszentrismus* (R9, R23) zu beantworten ist. Entsprechend ist es als eine der vordringlichen TLO-Aufgaben zu erachten, den SEI-Vollzug im Sinne von McCarthys (1995) "*general world view*" im Zeichen der integrierten metaphysischen Wissensontologie auf eine kohärente Basis zu stellen. Inwiefern dies den einzelnen TLO-Theorieanwärtinnen gelingt, ist im Zuge der folgenden exemplarischen TLO-Evaluierung zu klären. Wenn das Ziel des *Real-Time Enterprise* (RTE) notwendig im Zeichen der *TLO-EO-Verkopplung* auf die *Smart Enterprise Integration* (SEI) hinausläuft, ist zur Realisierung des SEI-Vollzugs parallel eine Evaluierung der *EO-Theorieanwärtinnen* vorzunehmen. Diese haben dabei im Sinne der TLO-Referenz nicht nur mit allen hier dargelegten *fünfzig TLO-Requirements* konform zu gehen, sondern sind vor dem Hintergrund eines eigenen *EO-bezogenen Requirements Engineering* (RE) auf Basis *universaler EO-Requirements* in IoX-Kontexten zu evaluieren. Indem die *TLO-EO-Verkopplung* als *TLO-EO-Interdependenz* aufzufassen ist, baut jede cyber-physische *Smart Enterprise Integration* (SEI) somit auf zwei RE-Spezifikationen und darauf gründenden Evaluierungsprozessen auf. – Eine IoX-adäquate kombinierte TLO-EO-Konzeption ist dezidiert *ereigniszentriert*, indem sie im sensorbasierten CEP-Paradigma steht (vgl. Pkt. 6.2.1); im Zeichen des *Realtime IoX-Monitoring* (vgl. Pkt. 2.5) läuft sie bei IoT-Produkten bzw. dem U-PLM als IoX-PLM zwingend auf den RTE-Gedanken hinaus (vgl. Teil 2). Dieser steht entsprechend bereits explizit im Zentrum von Luckhams (2012) CEP-Ansatz, der in

seiner Semantik mit Pkt. 6.2.1 als SCEP-Ansatz wiederum etwa mit Teymourian (2014) *TLO-basiert* konzipiert wird. Somit steht mit dem SCEP-Ansatz wie mit der CPS-Charakteristik der unterschiedlichsten IoT-Produkte – vom selbstfahrenden Automobil über IoT-basierte Werkzeugmaschinen bis zu einfachen Wearables – außer Frage, dass im Zeichen der kategorialen Transformation von Daten in Wissen wie in jenem realer fundamentaler Weltmodelle die *Top-level Ontologie* im *Real-Time Enterprise* (RTE) immer im Spiel ist – und zwar im Sinne des "*general world view*" für *AI-basierte Reality Machines* in grundlegender Weise. – Unter Hinweis auf die *EA-Lebenszyklusorientierung* (R38) unterliegt auch der Prozess der CM/AI-Integration ständiger Evolution und kann als solcher im Zeichen des *Enterprise Life Cycle* (ELC) niemals als abgeschlossen erachtet werden. Insofern wird es erforderlich, die RTE-Konzeption um ein *Enterprise Engineering* zu komplettieren. Insgesamt sollte deutlich geworden sein, dass keine TLO-Konzeption ohne diese EO-Anschlussfähigkeit im SEI-Vollzug auskommen kann, indem sie als Kernontologie (CO) automatisch auch Kernbestandteil der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist. Unter konzeptuellem Gesichtspunkt ist die alles entscheidende *TLO-EO-Verkopplung* dann als erfüllt zu erachten, wenn ein EO-Entwurf vorliegt, der in seiner TLO-Referenz *systematisch* auf die jeweilige TLO-Konzeption zugeschnitten ist und mit ihr korrespondiert. Das aber ist nur möglich, wenn letztere umgekehrt die EO-Anschlussfähigkeit überhaupt zulässt. Entsprechend hat die TLO-Konzeption die erforderliche *TLO-EO-Verkopplung* bereits vorwegzunehmen, womit das TLO-Engineering vor dem Hintergrund des SEA/SEI-Gedankens (R38) zu spezifizieren ist.

- R40) *Integrative Ontologiekonzeption via "ontological backbone"*: Die TLO muss das "*common formal framework*" stellen, das alles integriert. Hierzu gehört die durchgängige Integration von wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien und entsprechender Kriterien wie strenge Wissenschaftlichkeit und empirisch strikt überprüfbarer realfaktischer Realitätsrepräsentation.⁵⁰⁴² Damit verbunden zählt dazu die Referenzfunktion für sämtliche in Pkt. 3.3.1 abgegrenzte Ontologiearten, einschließlich der Integration von Referenz- und Anwendungsontologien. Ferner gehört dazu die ontologische Integration aktueller und möglicher Welten (z.B. Innovationsprozesse), wobei Ontologien zwar fast immer in irgendeiner Form auf eine Realitätsrepräsentation zielen, diese Voraussetzung sich aber entgegen Jansen (2008a) weder in Wissenschaft noch in Technopraxis als absolut setzen lässt. Daneben zählt dazu die Integration objektiven (W1A, W4A, W4M), subjektiven (W2) sowie objektivierten (W3) Wissens; die Integration multidisziplinärer Daten, Informationen und Wissen im Sinne der *Low-Level Information Fusion* (LLIF) und *High-Level Information Fusion* (HLIF). Weiter strebt die integrierte Ontologiekonzeption nach Integration aller Klassen intelligenter Automaten, semantischer Maschinen und

⁵⁰⁴² Diese ist mit Ceusters/Manzoor (2010) etwa für das Paradigma des *Referent Tracking* obligatorisch.

Agentensysteme. Damit ist sie der Integration von klassischer Ontologie (W1-Real-sphäre) und epistemischer Ontologie (W2-Agentensphäre) verschrieben. Sie sucht Cyber-physische Systeme (CPS) in ihrem Wesen zu absorbieren, indem sie an der Integration zum einen von *real-physischen* Welten im Sinne ereigniszentrierter situativer SAW- bzw. kontextueller CAW-Ontologien (Multisensorsysteme; Signale und Messdaten), zum anderen von *virtuellen* Welten bzw. Wissenswelten (Wissensontologien) ansetzt. Mit den disparaten Ontologietypen zielt sie darüber hinaus auf die Integration *öffentlicher*, auf gemeinsame Wissensteilung und Standardisierung abstellender Ontologien (*Scientific Ontologies*) einerseits, wie *privater* Ontologien (partiell technologische Ontologien, praktische Ontologien) andererseits, die mit Blick auf die Realisierung wissensbasierter Wettbewerbsvorteile im Allgemeinen gerade nicht öffentlich geteilt und standardisiert werden.

Mit den oben erörterten vierzig konzeptuellen Anforderungs- bzw. Evaluierungskriterien sollte deutlich geworden sein, dass eine sachgerechte metaphysische Fundierung für die Spezifizierung sämtlicher Kategorien wie meta-ontologischer Aspekte unerlässlich ist. Die feststellbaren Mängel in dieser Sache, die im Grunde alle bis heute entwickelten Ontologiekonzeptionen betreffen, gehen unmittelbar auf den Umstand zurück, dass sie nicht auf Basis einer sachgerechten Metaphysik durchdacht sind, die eine entsprechende Systematik eröffnet. Alle Ontologie, wie wir sie heute kennen, ist unter CPS- bzw. IoX-Gesichtspunkten entweder grundsätzlich defekt oder zumindest maßgeblich defizitär. Kein Ontologieansatz, das wird die TLO-Analyse im Folgenden exemplarisch offenbaren, kann der intendierten *Superintelligenz* der dritten AI-Generation genügen. Anders gewendet lässt sich keiner dieser Ontologieansätze dauerhaft verteidigen, woraus folgt, dass zu einem nicht zwangsläufig entfernten Zeitpunkt die *Smart Enterprise Architecture* (SEA) in praxi wieder aufgebrochen werden muss, wenn man einsieht, dass ihre Fundamente falsch gelegt wurden. Was das heißt, ist jedem Systemarchitekten klar. Demgegenüber darf von Ontologiekonzeptionen, die den obigen vierzig Requirements genügen, erwartet werden, dass sie langfristig stabil sind, indem sie der CYPO-Ontologiearchitektur entsprechen.

Indessen kann sich die TLO-Evaluierung allein unter konzeptuellen Gesichtspunkten auf die obigen vierzig Anforderungs- bzw. Evaluierungskriterien beschränken. Geht es hingegen um die Auswahl zum direkten Praxiseinsatz, kommt noch eine dritte Gruppe von Kriterien hinzu, die in den im Folgenden diskutierten (iii) zehn *praktischen Anforderungs- bzw. Evaluierungskriterien* bestehen. Partiiell werden diese auch bereits im Rahmen der IEEE Standard Upper Ontology Working Group (IEEE SUO WG) zugrundegelegt. Allerdings ist dabei zu beachten, dass diese zehn Kriterien für die Frage des konzeptuellen TLO-Engineerings allein von nachrangiger Bedeutung sind. Daraus folgt, dass ein TLO-Ansatz, der bei den folgenden zehn praktischen Evaluierungskriterien – mindestens relativ zu konkurrierenden TLO-Ansätzen – punktet, unter konzeptuellem Gesichtspunkt vollkommen defekt sein kann. Tatsächlich ist genau das festzustellen: gerade die am weitesten

verbreiteten TLO-Ansätze sind unter CPS- bzw. IoX-Gesichtspunkten die defektesten. Sie weisen die meisten bzw. grundsätzliche Mängel auf, was sich allerdings erst in der tieferen Analyse im Zeichen der *Superintelligenz* der dritten AI-Generation zeigt. Dabei wird die relative Aussagekraft der praktischen Evaluierungskriterien durch den Umstand komplettiert, dass sich gerade umgekehrt aus den in praxi am wenigsten verbreiteten Ansätzen eine Reihe wertvoller Einsichten zur sachgerechten Konzeption der *Top-level Ontologie* gewinnen lässt. Somit sollten aus dem Abschneiden der TLO-Theorieanwärter bei diesen praktischen Kriterien nicht die falschen Schlüsse gezogen werden, wie es in bisherigen TLO-Analysen, die an der Oberfläche bleiben und nicht in die metaphysische Tiefe gehen, beobachtbar ist. Darauf basierende Empfehlungen sind als fragwürdig zu beurteilen.⁵⁰⁴³

Andererseits ist die Relativierung der folgenden zehn praktischen Evaluierungskriterien natürlich nicht in der Weise zu interpretieren, dass sie für die Evaluierung der TLO-Theorieanwärter unwesentlich wären. Gewiss sind sie wesentlich, nur sind sie gegenüber den obigen vierzig konzeptuellen Evaluierungskriterien von nachgeordneter Relevanz. Diese besitzen sie indessen nicht nur im Zuge der praktischen Auswahl, sondern bereits im Zuge des TLO-Engineerings: Reflektiert man nämlich diese zehn praktischen Kriterien in konzeptueller Hinsicht, wird deutlich, dass sich auch aus diesen eine Reihe wichtiger Schlussfolgerungen ableiten lässt. Diese sind im Zuge eines TLO-Neuentwurfs wesentlich zu berücksichtigen, damit sich dieser überhaupt potentiell als Quasi-Standard durchsetzen kann. Ist die Realisierung eines solchen Quasi-Standards von vornherein unerreichbar, weil wesentliche Faktoren der Diffusion bzw. der praktischen Anwendung unberücksichtigt geblieben sind, könnte man sich den großen TLO-Entwicklungsaufwand ersparen. Denn das für die *Smart Enterprise Integration* (SEI) zu realisierende Ziel einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität ist letztlich nur auf Basis eines solchen Quasi-Standards erreichbar. Hinsichtlich der Frage, ob ein TLO-Theorieanwärter tatsächlich das Potential zum erforderlichen Quasi-Standard besitzt, sind gemäß der zehn praktischen Evaluierungskriterien folgende Aspekte zu klären:

R41) *Reifegrad (Maturity)*: Vor dem Hintergrund der Evaluierung der vierzig vorstehenden Requirements ist bei der Antwort auf die Frage nach dem Reifegrad zu differenzieren zwischen (i) einem substanziellen Reifegrad im Vergleich der TLO-Theorieanwärter, der den *Reifegrad als Stand des individuellen TLO-Reifeprozesses* versteht und (ii) einem davon unabhängigen *faktischen CPSS/SEA-Reifegrad*, der die Reife der TLO-Theorieanwärter speziell vor dem Hintergrund der evaluierten universalen Requirements beurteilt. Dazu gehören insgesamt etwa folgende Fragen: Inwiefern lässt sich der TLO-Ansatz bereits für die verschiedensten Anwendungen (CM/AI) nutzen (R6)? Welche Anwendungen konnten bereits gezeigt werden? Wie schnell

⁵⁰⁴³ Bspw. kommt Penicina (2013) zum Schluss, dass sich die BWW-TLO am besten zur Analyse von BPMN2 eigne; dabei bleiben allerdings sämtliche Aspekte einer IoX- bzw. CPSS-adäquaten Analyse, die zur Realisierung einer AI-basierten Prozessintelligenz zwingend zu berücksichtigen sind, außen vor.

- und mit welchem Aufwand lässt sich der TLO-Ansatz praktisch einsetzen? Inwiefern besteht in dem jeweiligen TLO-Ansatz noch ein Weiterentwicklungspotential?
- R42) *Robustheit*: Inwiefern zeichnet sich der TLO-Ansatz als Heavyweight-Ontologie aus? Besteht Potential zur Verbesserung der Robustheit? Inwiefern besteht Robustheit bzgl. der Anforderungen, die aus konzeptuellen Evaluierungskriterien bzw. aus CYPO FOX als integrierter Ontologiekonzeption (R40) resultieren?
- R43) *Technische Dokumentation, verfügbare Schulung/Support*: Wie umfassend sind die einzelnen TLO-Kategorien dokumentiert? Wie eingehend ist die Wahl der meta-ontologischen Entscheidungen begründet? Inwiefern ist das Zusammenspiel der gesamten Ontologiearchitektur im Einzelnen dargelegt? Gibt es dazu Schulungen? Gibt es insgesamt webbasierte Schulungen (z.B. MOOC) zum in Frage stehenden TLO-Ansatz im Generellen wie auf dessen Grundlage zum *TLO-basierten Ontology Engineering* im Speziellen? Gibt es dazu Hochschulkooperationen, um angehende *Ontology Engineers* entsprechend auszubilden? Auf welchem Wege lassen sich Unklarheiten durch dritte Anwender beseitigen; ist ein Support – ggf. auch als kommerzieller Service – verfügbar?
- R44) *Potential breiter Akzeptanz (Diffusion)*: Inwieweit ist der TLO-Ansatz bereits verbreitet (Diffusion)? Ist der TLO-Ansatz hinreichend variabel einsetzbar (CM sowie AI)? In welcher Art von Ontologieanwendungen wird er bereits genutzt? Ist der TLO-Ansatz hinreichend komplex in seiner Anwendung, so dass er allen Anwendungserfordernissen Rechnung tragen kann? Ist der TLO-Ansatz aber auch hinreichend einfach in seiner Anwendung, so dass eine breite Nutzung im Zuge der alles umgreifenden *Smart Enterprise Integration* (SEI) möglich wird? Gibt es dazu bereits automatisierte Tools, die die breite Masse von Anwendern im *TLO-basierten Ontology Engineering* durch den ontologischen Entwicklungsprozess leiten, diesen maßgeblich vereinfachen und helfen, Fehler (z.B. Kategorienfehler) zu vermeiden?
- R45) *Domänenadäquanz, exemplarische Anwendungen*: Inwiefern wird der TLO-Ansatz tatsächlich den verschiedensten Anwendungs- und Integrationsszenarien bzw. den unterschiedlichsten wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Domänen gerecht? Wie adäquat ist der TLO-Ansatz im Zeichen inhaltlicher Korrespondenz zur Entwicklung wissenschaftlicher, technologischer und praktischer Domänenontologien? Inwiefern entspricht der TLO-Ansatz mit seinen Kategorien im Anwendungskontext dem Stand der Wissenschaften (z.B. Evolution, Emergenz, Komplexität, Raumzeit usw.)? Korrespondiert er mit den wissenschaftlichen Schlüsseltheorien (z.B. Relativitätstheorie, Quantenphysik), deren Wissen es in *Scientific Ontologies* (Semantic E-Sciences) wie mindestens indirekt in Ontologien der Technopraxis zu repräsentieren gilt? Inwiefern entspricht der TLO-Ansatz dem Stand der Technologien (z.B. komplexe Systeme)? Inwiefern lässt sich der TLO-Ansatz auch für

- praktische Domänenontologien nutzen? Handelt es sich um eine Systemontologie, mit der sich physische resp. virtuelle Systeme adäquat repräsentieren lassen?
- R46) *Kompatibilität, Modulare Architektur, Wartbarkeit*: Besteht tatsächlich Kompatibilität zu allen nachgeordneten Ontologiearten (CO, DO, MO, TO, AO, vgl. Abb. 3)? Bestehen Überschneidungen mit typisch fachlichen, etwa DO-Kategorien? D.h. ist der TLO-Ansatz wirklich sachgerecht auf rein fundamentale Sachverhalte, also auf TLO-Kategorien und meta-ontologische Aspekte beschränkt? Oder weist er – potentiell konfliktionär – etwa auch Kategorien auf, die disziplinärer Natur sind und somit eigentlich Teil nachgeordneter Ontologien sind? Indem gilt: »Rather than developing large monolithic ontologies, complex systems will be supported by ontologies that can be decomposed into modules«,⁵⁰⁴⁴ bleibt zu klären: Ist die TLO-Architektur auch an sich *modular* gestaltet,⁵⁰⁴⁵ damit einzelne Komponenten bzw. Module austauschbar sind? Ist bei der TLO-Architektur insgesamt eine Wartbarkeit gegeben und ist ggf. im Sinne des Ratio-Empirismus eine etwaig erforderliche Anpassung der TLO-Architektur mit vergleichsweise geringem Aufwand vollziehbar?
- R47) *Formalsprachliche Flexibilität*: In welcher Ontologiesprache liegt der TLO-Ansatz vor? Wie verbreitet und stabil ist die jeweilige formale Sprache? Eignet sich die Ontologiesprache auch für die Zwecke aller nachgeordneten Ontologiearten? Lässt sich der TLO-Ansatz grundsätzlich in eine andere Ontologiesprache transformieren?
- R48) *Verknüpfbarkeit mit EA-Frameworks, CM-Methoden, Notationen*: Ist auf Basis des TLO-Ansatzes eine darauf gründende CM/AI-Kopplung (R6) bereits zum SEI-Vollzug praktisch realisierbar? Ist der TLO-Ansatz in einer Weise konzipiert, in der er die einheitliche Referenzbasis für beide Sphären (CM/AI) im Zeichen der erforderlichen Korrespondenz von *Enterprise Models* (EM) und *Enterprise Ontologies* (EO) im SEI-Vollzug stellen kann? Gibt es *EA-Frameworks, CM-Methoden und Notationen*, die mit dem TLO-Ansatz in kategorialer wie meta-ontologischer Hinsicht korrespondieren und sich mit diesem für Zwecke der praktischen Umsetzung des SEI-Vollzugs verknüpfen lassen?⁵⁰⁴⁶
- R49) *Eigentumsrechte, Lizenzierung, Nutzungskosten*: Bei wem liegen die Eigentumsrechte? Bestehen proprietäre Einschränkungen bei der Nutzung? Handelt es sich um Open Source Code? Ist die Nutzung mit Nutzungskosten verbunden? Wie erfolgen Änderungsprozesse und durch wen werden diese gesteuert (z.B. Steering Committee)? Inwieweit lässt sich von dritter Seite darauf einwirken?⁵⁰⁴⁷

⁵⁰⁴⁴ Vgl. Deshayes et al. (2007: 266).

⁵⁰⁴⁵ Dies wird auch etwa durch Teymourian (2014) im Zuge der Diskussion einer SCEP-orientierten *Top-level Ontologie* gefordert, vgl. Pkt. 6.2.1.

⁵⁰⁴⁶ Bzgl. dieser Korrespondenz ist etwa kritisch zu prüfen, ob die durch Sowa in der konzeptuellen Modellierung verfochtenen *Conceptual Graphs* tatsächlich der Sowa-TLO als prozessontologischem 4D-Ansatz standhalten.

⁵⁰⁴⁷ Vgl. hierzu ergänzend Söderström (2007).

R50) *Investitionssicherheit*: Wird der TLO-Ansatz durch eine private oder öffentliche Standardisierungsinstitution entwickelt bzw. weiterentwickelt? Sind sein langfristiger Bestand und seine Weiterentwicklung gesichert; besteht also eine größere "Community", die diesen TLO-Ansatz dauerhaft in professioneller Weise pflegt und ggf. anpasst? Gibt es bereits kommerzielle Angebote als ergänzende Services dritter Dienstleister, mit denen die langfristige Investitionssicherheit unterstrichen würde? Diese Aspekte sind nicht zuletzt mit Blick auf die in Pkt. 1.1 erörterte fundamentale Änderungsproblematik von Relevanz, die in praxi in Sachen der Ontologiearchitektur berücksichtigt werden sollte.

Wie eingangs dargelegt, konstituieren diese *fünfzig Requirements* zugleich die Antwort auf McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*", wenn es um eine moderne, zur *Superintelligenz* zukunfts offene Informatik geht. In dieser Antwort besteht der eigentliche "Gold Standard", der im Sinne einer solch *universalen* TLO-Konzeption selbstverständlich erfüllbar ist. Davon sehen aber heute im Grunde alle TLO-Ansätze ab, denn ansonsten wären sie anders konzipiert. Der faktische "Gold Standard" besteht in jenem TLO-Theorieanwärter, der an diese *fünfzig Requirements* weitestgehend heranreicht. Aufgrund der zahlreichen Defizite und Defekte kann dies, wie in der weiteren Analyse sichtbar wird, jedoch von keinem TLO-Ansatz behauptet werden. Wohl aber lässt sich das Feld ganz genau bestimmen, indem es möglich wird, bessere und schlechtere TLO-Ansätze zu identifizieren. Insgesamt ist auf dieser Basis die Evaluierung und Selektion adäquater TLO-Theorieanwärter in sachgerechter Weise möglich. Demgegenüber wurde sie bisher – wenn überhaupt – nur sehr oberflächlich vollzogen. Vor allem aber eröffnet sich auf dieser Basis die Option, das TLO-Inkommensurabilitätsproblem in den Griff zu bekommen. Denn mit den *fünfzig Requirements* ist die SEI-Zielarchitektur für jede CPSS/SEA-adäquate *Top-level Ontologie* im Sinne von CYPO FOX als integrierter metaphysischer Wissensontologie bestimmt. Dabei ist klar, dass sich die notwendige TLO-Synthese nicht dadurch erreichen lässt, indem man einfach den Umfang der Problematik reduziert.⁵⁰⁴⁸ Die eigentliche Crux des Inkommensurabilitätsproblems besteht vielmehr darin, dass der Einsatz von Top-level Ontologien in allen Anwendungsfällen explikativer Ontologie einerseits unerlässlich ist, andererseits in offenen, verteilten Systemumgebungen komplexer IoX-Systeme ein Konsens hinsichtlich des metaphysischen Rahmenwerks zwingend wird:

»Utilizing a standardized upper ontology schema [...] as a reference ontology can overcome many alignment issues, but the construction and utilization of an upper-level reference ontology requires that people agree on a certain metaphysical framework (e.g., realist vs. conceptualist) and corresponding semantic structure.«⁵⁰⁴⁹

Im U-PLM-Referenzszenario der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* ist eine *aktive TLO-Selektion* schon aus dem Grunde unabdingbar, als es in praxi dauerhaft kaum sinnvoll erscheinen kann, U-PLM-Systeme auf zwei oder mehreren widersprüchlichen *Top-level Ontologien* gründen zu lassen. Denn das widerspräche ihrem Selbstverständnis als Integra-

⁵⁰⁴⁸ Vgl. dazu exemplarisch etwa Grüninger et al. (2014).

⁵⁰⁴⁹ Vgl. Little/Sambhoos/Llinas (2008: 1894).

tionsplattform in der *Smart Enterprise Integration* (SEI), die im Sinne des PLM-Zyklus die *Smart Factory* mit umfasst. Mit dem Ziel einer *vollumfänglichen semantischen Interoperabilität* ist also dauerhaft allein ein einziger TLO-Ansatz anzustreben. Beim Einsatz von Top-level Ontologien in CPS-basierten integrierten Smart Web Szenarien wird ihre kombinierte CM- und AI-Funktion im postklassischen Sinne erforderlich, wie sie in Pkt. 3.2.4 umrissen wurde. Damit wird offensichtlich ein TLO-Ansatz benötigt, der sowohl für die Zwecke der konzeptuellen Modellierung als im Sinne der Prozessintelligenz damit direkt verbunden auch für die Zwecke der Wissensrepräsentation die universale Referenzbasis stellen kann. Demgegenüber besitzen die meisten *Top-level Ontologien* entweder in der CM-Sphäre oder in der AI-Sphäre ihren Schwerpunkt, womit von einer solchen Durchgängigkeit, wie sie SEI-Szenarien erfordern, gegenwärtig kaum gesprochen werden kann.

Eine *TLO-Einheitslösung* ist im Allgemeinen für sämtliche ontologische Anwendungs- und Integrationsszenarien zu fordern. Wenn Guarino (1997c) oder Smith/Ceusters (2010) für diese Einheitslösung votieren, bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass sie dabei selbst allen Anwendungs- und Integrationsszenarien gerecht werden. Entsprechend muss mit Pkt. 8.4 im Zuge weiteren Forschungsbedarfs gelten, die konkurrierenden TLO-Ansätze im Detail darzustellen, zu vergleichen und insbesondere in Bezug auf ihre CPSS/SEA-Adäquanz rigoros zu evaluieren. Diese Evaluierung der *IoX-Adäquanz* erfolgt insofern, als jeder TLO-Theorieanwärter im Zeichen einer *CPSS/SEA-Kritik* zu untersuchen ist. Damit ist grundsätzlich die meta-ontologische Spezifizierung bei intendierter *Superintelligenz* der dritten AI-Generation in Pkt. 6.3 gemeint, wobei die CPS-Seite in verteilten IoX-Umgebungen ubiquitärer Systeme neben der strittigen Realitätsfrage die CAW/SAW-Aspekte wie die vier divergenten Welttypen akzentuiert, während die SEA-Seite vor allem die IS/KS- sowie die CM/AI-Integration fokussiert. Ferner gehören dazu CYPO FOX als integrierter Ontologiekonzeption (vgl. Pkt. 3.5) sowie das *Complex Event Processing* (CEP), das in IoX-Kontexten zu einer semantischen Variante (SCEP) avanciert (vgl. Pkt. 6.2.1). Closed-loop U-PLM-Systeme stellen für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* auch insofern ein geeignetes Referenzszenario dar, als für die Ontologie von U-PLM-Systemen *de facto* die unterschiedlichsten TLO-Ansätze als oberste Referenzebene ins Spiel gebracht werden. Im PLM-Kontext wird im Grunde auf nahezu alle *Top-level Ontologien* referenziert. Auch in diesem spezifischen Fall gilt, dass bislang noch nicht untersucht wurde, welcher TLO-Ansatz für U-PLM-Systeme tatsächlich der adäquateste ist.

Auf Basis des teils widersprüchlichen großen Spektrums an Anforderungen wird deutlich, dass von einer IoX-Adäquanz bei einer *Top-level Ontologie* nur dann gesprochen werden kann, wenn diese nicht nur dem Kriterium *universaler Ontologie*, sondern auch jenem einer *integrierten Ontologiekonzeption* entspricht. Bei beiden Aspekten handelt es sich um ganz selbstverständliche Forderungen, die an eine Top-level Ontologie als oberster Referenzebene zu stellen sind. Insofern muss ein allgemeingültiger TLO-Ansatz bzw. ein im konkreten Fall IoX-adäquater TLO-Ansatz nicht nur ein universal gültiges Kategorien-

system aufweisen können, sondern er muss gleichzeitig auf alle vier Welten von CYPO FOX anwendbar sein bzw. diese repräsentieren können. Denn alle vier Welten sind von maßgeblicher CPST- bzw. IoX-Relevanz, wenn es bei der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* gleichzeitig um den Innovationsaspekt wie um den Präzisionsaspekt geht, wenn gleichzeitig wissenschaftliche wie technologische resp. praktische Ontologien relevant sind. Entsprechend lässt sich die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* allein als integrierte W1-, W2-, W3- und W4-Ontologie konzipieren, wobei sich diese Integration nur auf Basis einer adäquaten *Top-level Theorie* bewerkstelligen lässt, die diese integrierende Funktion vollziehen kann. Insofern ist das eigentlich zentrale Evaluierungskriterium in dem jeweiligen *Integrationsvermögen* der einzelnen TLO-Theorieanwärter auszumachen (R40). Dies deckt sich mit der Anforderung nach Allgemeingültigkeit von Ontologiebegriff und -konzeption (R1). Somit ist speziell zu untersuchen, inwiefern die bisher vorgelegten TLO-Theorieanwärter allen vier Welttypen gerecht werden, da die *Top-level Ontologie* als oberster Ontologieansatz der Informatik diese Integrationsleistung vollbringen können muss.

7.3 Exemplarische Darlegung der IoX-Defizite und Defekte von TLO-Ansätzen

»Designing a top-level ontology is difficult. It probably will not satisfy everyone who must use one. There always seem to be some problematic cases. [...] However, using a standard top-level ontology should help in connecting ontologies together.«

— David L. Poole/Alan K. Mackworth (2010: 576)

Um zu evaluieren, inwiefern ein spezifischer TLO-Ansatz tatsächlich der in Pkt. 7.2 erarbeiteten Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwärter entsprechen kann, wäre dieser mit allen *fünfzig Requirements* zu konfrontieren. Um das Feld der TLO-Theorieanwärter zu klären, müsste demnach eine solche Evaluierung für jeden TLO-Ansatz gesondert durchgeführt werden. Das bleibt im Rahmen dieser Abhandlung jedoch ein unmöglich durchzuführendes Unterfangen. Dennoch muss jeder potentiell IoX-relevante TLO-Theorieanwärter allen *fünfzig Requirements* in adäquatem Maße entsprechen, wobei es gewiss wichtigere und weniger wichtigere Evaluierungskriterien gibt. Es kann an dieser Stelle auch ohne Darlegung im Einzelnen behauptet werden, dass kein einziger der bestehenden TLO-Theorieanwärter tatsächlich als IoX-adäquat identifiziert werden kann. Im Folgenden werden die IoX-Defizite und Defekte verschiedener TLO-Ansätze exemplarisch dargelegt und daran ist bereits hinreichend ersichtlich, dass die bestehenden TLO-Theorieanwärter nicht als IoX-konform gelten können. Dabei sind die Probleme der Ansätze von grundsätzlicher Art, etwa indem fast alle Ansätze primär objekt- und nicht ereigniszentriert sind, sie mit Blick auf ihre Realitätsauffassung mit den CPS-Anforderungen inkompatibel sind oder auf der falschen Metaphysik aufbauen. Auch wenn sich die Analyse auf partielle Gesichtspunkte erstreckt, wird erstmals tatsächlich auf das ganze Spektrum der TLO-Ansätze eingegangen. In der Tat ist es im Rahmen einer generellen Ontologiediskussion wenig

zweckmäßig, sich allein auf die am weitesten verbreiteten TLO-Ansätze beschränken zu wollen: Wie jede genauere Analyse zeigt, weisen gerade diese Ansätze wie BFO, DOLCE oder BWB die größten Probleme auf, während unbekanntere Ansätze wie jene von AI-Experten wie Sowa, Russell/Norvig oder Partridge weitaus weniger Anlass zur Kritik bieten. Dennoch sind auch sie letztlich IoX-inadäquat. Insofern die Diffusion des jeweiligen TLO-Ansatzes gerade kein Selektionskriterium bilden kann, wird die Evaluierung der TLO-Ansätze umso wichtiger: Quasi-Standards von *Top-level Ontologien*, die sich durch freie Diffusion, also ohne jede kritische Tiefenevaluierung herausbilden, würden Ineffizienzen und letztlich irgendwann eine Lock-in-Situation für die Informatik implizieren, wenn alle Ontologiesysteme, Datenmodelle, Methoden, Systeme usw. durch sie bestimmt sind. Für eine exemplarische Evaluierung ist es ein zusätzlicher Anhaltspunkt, die potentiell IoX-relevanten TLO-Theorieanwärter in drei Gruppen zu klassifizieren, auf die sich eine Reihe von Problemen *in toto* erstreckt:

- (1) Substanz- bzw. objektzentrische Ansätze, die grundsätzlich als "Furniture"-Ontologien zu verstehen sind (3D-Objekte), auch wenn sie eine prozessuale Komponente aufweisen und teils stark divergieren {BFO, BWB, DOLCE etc.};
- (2) Prozesszentrische bzw. ereigniszentrische Ansätze {GFO in neuerer Variante, Russell/Norvig, Sowa, BORO 4D-Ontology etc.};
- (3) Fusionierte Ansätze {UFO, SUMO etc.}.

Die Auswahl der *fünfzig Requirements* für die TLO-Theorieanwärter ist im Zeichen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* nachvollziehbar und wurde im Sinne ihrer CPSS/SEA-Adäquanz in den vorauslaufenden sechs Teilen genau begründet. Wie in Pkt. 8.4 herausgestellt, besteht insofern weiterer Forschungsbedarf, als sie im Einzelnen auf jeden der IoX-relevanten TLO-Theorieanwärter in allen Details zu projizieren sind.⁵⁰⁵⁰ Im Folgenden werden sie exemplarisch auf verschiedene TLO-Theorieanwärter bezogen:

Ad (R1) [*Universales Ontologieverständnis zur semantischen Interoperabilität*]: Der philosophische Ontologiebegriff, der sich anfangs bei Mealy (1967) oder McCarthy/Hayes (1969) findet, wird insbesondere durch Gruber (1993, 1995) verworfen und schließlich bei Guarino (1998) gar umgedreht: der Ontologiebegriff wird hier für die *Ontologie der Informatik* reklamiert, während bei der philosophischen Ontologie von einer *Konzeptualisierung* gesprochen werden sollte. Diese Umkehrung lässt sich gewissermaßen als Klimax der konfusen De-

⁵⁰⁵⁰ Dies kann bei einer *spezifischen* Anforderungsspezifikation ggf. um eine Gewichtung der Evaluationskriterien ergänzt werden; geht es hingegen um eine *universale* Anforderungsspezifikation, sollte jedoch davon abgesehen werden, um die Evaluierung nicht zu verfälschen und sie in einer generischen Form zu belassen. Dann wäre also bei jedem Evaluierungskriterium allein festzustellen, ob das Evaluierungsergebnis im universalen IoX-Kontext positiv, negativ oder neutral zu werten ist. Diese grundsätzliche Bewertung lässt sich dann als Basis für die Beurteilung eines einzelnen TLO-Ansatzes im Kontext eines spezifischen Anwendungs- und Integrationsszenarios heranziehen und um eine individuelle Gewichtung der einzelnen Kriterien ergänzen. Tatsächlich ergibt sich auch ohne Gewichtung der Kriterien ein überaus klares Bild zur IoX-Adäquanz bestehender TLO-Theorieanwärter.

batte um die Ontologie der Informatik interpretieren. Denn zeitgleich wird der Ontologiebegriff wie jener der Konzeptualisierung in der Informatik weiterhin in der klassischen Weise vertreten. Bei DOLCE handelt es sich um einen rein *linguistisch-kognitiven* Ansatz; bei diesem geht es darum, die allgemeinen linguistischen und kognitiven *Beschreibungen* der Realität zu erfassen,⁵⁰⁵¹ was in diesem linguistischen Ansatz letztlich auf einer Stufe steht mit der Erfassung der *Beschreibungen* nicht-realer Welten: »DOLCE [...] allows for objects of thought to be basic units of its ontology«.⁵⁰⁵² Ziel ist es »to capturing the categories and concepts underlying language and cognition«,⁵⁰⁵³ wobei sich die Sprache auf *natürliche Sprache* bzw. auf den "*Commonsense*" bezieht.⁵⁰⁵⁴ Die DOLCE-Objekte sind qua Denkobjekte also genau jene, die in der *natürlichen Sprache* und im "*Commonsense*" vorausgesetzt werden. Insofern steht DOLCE in einer gewissen Tradition zum Gruberschen (1993, 1995) Ontologieverständnis. Auch wenn dieses die Kritik Guarinos (1997b, 1998) findet,⁵⁰⁵⁵ geht es letztlich nur um Kritik am Detail, nicht um Fundamentalkritik, wie sie B. Smith (2004) unterbreitet. Vielmehr sieht Guarino sein Ontologieverständnis lediglich als Präzisierung der Gruberschen Definition:⁵⁰⁵⁶ »An ontology is a logical theory accounting for the *intended meaning* of a formal vocabulary, i.e. its *ontological commitment* to a particular *conceptualization* of the world«.⁵⁰⁵⁷ So stehen auch bei Guarino (1997b, 1998) die Konzeptualisierung und mit ihr epistemologische Konstruktionsakte im Vordergrund; die Ontologie wird also in keiner Weise als *metaphysische* noch als *streng empirische* Ontologie gesehen. Bei B. Smith wird sie hingegen in gewisser Verwandtschaft zu Carnap und Quine als streng empirische, jedoch nicht als metaphysische Ontologie aufgefasst. Demgegenüber wird sie bei einer dritten Gruppe weder als linguistische noch als streng empirische, sondern vielmehr als metaphysische Ontologie verstanden, wobei sich dies auch noch auf gänzlich disparate Metaphysikansätze erstreckt. So bezieht sich die metaphysische Ontologie etwa der BORO-TLO auf eine *Klasse-2-Metaphysik*, jene der BWW-TLO auf eine *Klasse-3-Metaphysik* und schließlich jene von Sowa auf eine *Klasse-4-Metaphysik*. Dabei steht Sowa in der Tradition der *Logical Machines* von Peirce und Whiteheads Prozessmetaphysik; Peirce wie Whitehead sind als Verfechter einer an der mathematischen Logik orientierten techno-wissenschaftlichen Metaphysik zu sehen. Vor diesem Hintergrund versteht Sowa (2000: 51) die *Ontologie* generell als *Weltmodell*,

⁵⁰⁵¹ Vgl. auch Sinha/Mark (2010).

⁵⁰⁵² Vgl. Seyed (2009a: 1).

⁵⁰⁵³ Vgl. Sinha/Mark (2010).

⁵⁰⁵⁴ Vgl. auch Seyed (2009a).

⁵⁰⁵⁵ Vgl. hierzu auch Guarino/Giaretta (1995).

⁵⁰⁵⁶ Ibid.

⁵⁰⁵⁷ Vgl. Guarino (1998: 7).

konkret als »the study of existence, of all the kinds of entities – abstract and concrete – that make up the world«. ⁵⁰⁵⁸ Dabei gilt auch für Sowa der *Ratio-Empirismus* der Whiteheadschen Kosmologie: »The two sources of ontological categories are observation and reasoning. Observation provides knowledge of the physical world, and reasoning makes sense of observation by generating a framework of abstractions called *metaphysics*«. ⁵⁰⁵⁹ Entsprechend betrachtet Sowa die Ontologie im metaphysischen Sinne als *Kategorienlehre*, die *mögliche Welten* mit umschließt. Sowa (1995: 669) differenziert sorgfältig zwischen formaler Logik und formaler Ontologie, wenn er feststellt, dass Logik ohne Ontologie *Nichts über irgendetwas* aussagt. ⁵⁰⁶⁰ Somit gilt für Sowa insgesamt:

»The subject of *ontology* is the study of the *categories* of things that exist or may exist in some domain. The product of such a study, called *an ontology*, is a catalog of the types of things that are assumed to exist in a domain of interest \mathcal{D} from the perspective of a person who uses a language \mathcal{L} for the purpose of talking about \mathcal{D} . The types in the ontology represent the *predicates, word senses, or concept and relation types* of the language \mathcal{L} when used to discuss topics in the domain \mathcal{D} . An uninterpreted logic [...] is *ontologically neutral*. It imposes no constraints on the subject matter or the way the subject may be characterized. By itself, logic says nothing about anything, but the combination of logic with an ontology provides a language that can express relationships about the entities in the domain of interest.« ⁵⁰⁶¹

Sowa baut zwar auf der *Klasse-4-Metaphysik* von Whitehead auf, und es handelt sich bei ihm im Grunde um eine integrierte metaphysische Wissensontologie. Sowa hat im Zuge seiner AI-Forschung für IBM Research somit erkannt, wie Ontologie richtig zu konzipieren ist. Allerdings bleibt zum einen das Kategoriensystem SOWAs schwer verständlich, womit er in guter Tradition zu Whitehead steht. Zum anderen gelingt ihm der Übergang zur Wissensontologie insofern nicht richtig, als bei Sowa (2000) weder systematisch zwischen Welt- bzw. Ontologietypen differenziert wird, wie es bei CYPO FOX der Fall ist. Entgegen CYPO stellt Sowa auch nicht auf Multiagentensysteme und deren ontologische Erfordernisse ab; genauso fehlen andere wesentliche Aspekte wie etwa die TLO-EO-Verkopplung und damit die ED-SOA-Orientierung der Top-level Ontologie. – Demgegenüber sind die Defekte bei der BWW-TLO um einiges größer und schwerwiegender. Auch hier wird eine metaphysische Ontologie zugrunde gelegt, jedoch handelt es sich dabei zum einen um eine *Klasse-3-Metaphysik*, zum anderen nicht um eine durchgängig integrierte metaphysische Wissensontologie. Für die BWW-TLO ist vielmehr auf Basis der Bunge'schen Ontologie der metaphysische Realismus entscheidend:

»In order to describe the real world system in a model, we must specify what exists in this world. Ontology is the branch of philosophy that deals with what exists, or is assumed to exist.

⁵⁰⁵⁸ Vgl. identisch Sowa (1999: 307).

⁵⁰⁵⁹ Vgl. Sowa (2000: 51).

⁵⁰⁶⁰ Indem sich Sowa (1995: 669) hier auf die Top-level Kategorien bezieht und er selbst auf einer metaphysisch fundierten Top-level Ontologie aufbaut, kann "Ontologie" hier im Sinne der *metaphysica generalis* verstanden werden.

⁵⁰⁶¹ Vgl. Sowa (2000: 492).

An ontological model makes specific assumptions about what exists and how things behave.⁵⁰⁶²

Die BWW-TLO macht mit Wand/Weber speziell am philosophischen Ontologiebegriff bei Angeles (1981: 198) fest; hier wird Ontologie mit speziellem Fokus auf die Erfordernisse der konzeptuellen Modellierung verstanden als »[t]hat branch of philosophy which deals with the order and structure of reality in the broadest sense possible«.⁵⁰⁶³ Insofern wird auch nicht streng auf den Bunge-schen materialistischen Existenzbegriff bzw. *Scientific Realism* rekurriert:

»Ontology is the branch of philosophy that deals with theories about the structure and behavior of the worlds that humans perceive. Ontologists seek to articulate the fundamental types of phenomena that exist in the world and the relationships that can arise among these different types of phenomena.«⁵⁰⁶⁴

Die BORO-TLO ist demgegenüber moderner als die BWW-TLO; sie vertritt keine 3D-Ontologie, sondern bereits eine 4D-Ontologie, die ebenfalls im Unterschied zur BWW-TLO auch mögliche Welten zulässt. Sie setzt wie Sowa und die BWW-TLO ebenfalls explizit auf einer Metaphysik auf; allerdings handelt es sich dabei um die *Klasse-2-Metaphysik* der Analytischen Philosophie. Insofern geht es auch nicht um ein revisionäres Ontologieverständnis als vielmehr wie bei der DOLCE-TLO oder der BFO-TLO um ein deskriptives Ontologieverständnis.⁵⁰⁶⁵ Insgesamt wird deutlich, dass bereits das Ontologieverständnis das in Pkt. 1.2 erörterte elementare TLO-Inkommensurabilitätsproblem bedingt. Ferner wird nochmals ersichtlich, dass das Ontologieverständnis der Informatik völlig unklar und widersprüchlich ist und bereits bzgl. *RI* die Ontologiedebatte als konfus zu bezeichnen ist. Dabei ließe sich dies noch anhand dutzender anderer Ansätze belegen. Dieser Missstand ist umso mehr zu beklagen, als kein einziger Ontologieansatz zunächst in systematischer Weise fragt, welches Ontologieverständnis die Informatik tatsächlich benötigt. Wie bereits in Pkt. 7.1 dargelegt, wird ein *Requirements Engineering* in dieser Sache nicht vollzogen. Indessen lässt sich *RI* nur dann sachgerecht bestimmen, wenn bei der *cyber-physischen Digitalmetaphysik* der Informatik begonnen wird. Ohne diese Diskussion, wie sie im vierten Teil erfolgt ist, bleibt ein *universales Ontologieverständnis zur semantischen Interoperabilität* kaum realisierbar.

Ad (R2) [*Reality Machines, CPSS-Adäquanz, Sensorik/Aktorik*]: CPS bzw. CPPS sind als *Reality Machines* in die physische Welt eingebunden, für die sämtliche physikalischen Gesetzmäßigkeiten gelten. Insofern hat jede CPSS-adäquate Ontologie auf einem Physikmodell aufzusetzen, das jedoch in seiner Breite außerhalb der klassischen physikalischen Disziplingrenzen liegt. Denn dieses hat sämtliche Varianten des *Internet of Everything* bzw. von komplexen IoX-Sys-

⁵⁰⁶² Evermann/Wand (2001: 354).

⁵⁰⁶³ Vgl. Wand/Weber (1989b), Wand/Storey/Weber (1999) sowie Parsons/Wand (2000).

⁵⁰⁶⁴ Wand/Weber (2004: iii).

⁵⁰⁶⁵ Vgl. etwa West (2011: 113 ff.).

temen abzudecken, wie sie mit Verweis auf Pkt. 1.1 etwa in Form des *Internet of Living Things* (IoLT), des *Internet of Chemical Things* (IoCT), des *Internet of Nano Things* (IoNT), oder bspw. des *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) gegeben sind. Auch die "New Physics" eröffnen zahlreiche neue metaphysische Dispositionen, die insgesamt eine metaphysische Grundlegung unabdingbar machen. Linguistische Ontologien sind mit der *Subjekt-Prädikat-Objekt-Struktur* der Normalsprache kaum für eine umfassende Beschreibung solcher Physik- bzw. Metaphysikmodelle geeignet, indem sie in ihrer Grundform streng objektzentrisch sind, wie es zwar dem Alltagsverstand, nicht jedoch der physikalischen Erkenntnis entspricht. Zudem dürfen linguistische Ereignisse nicht mit physikalischen Ereignissen verwechselt werden, indem letztere in einem umfassenden physikalischen Kontext stehen. Entsprechend sind linguistische TLO-Ansätze wie DOLCE für CPS bzw. CPPS und damit für die Smart Factory kaum geeignet, indem sie in ihrem Kern nicht auf ein dezidiertes Physikmodell ausgelegt sind.⁵⁰⁶⁶ Insofern sollte es verwundern, dass DOLCE die Referenzbasis der W3C SSN Ontology stellt, indem die Sensorik in diesem physikalischen Zusammenhang, und nicht in einem linguistischen, steht. SAW- und CAW-Ontologien müssen mit Blick auf physische Welten zwingend auf einem solchen Physikmodell aufbauen; ansonsten sind sie CPSS-inadäquat. Prestes et al. (2013, 2014) ziehen im Zeichen von Robotik und Automation die SUMO-TLO der DOLCE-TLO vor, bei der sie auch tatsächlich einige Schwächen bei der CPS-Anwendung feststellen. Daneben wird SUMO auch als TLO-Basis herangezogen, um die semantische Interoperabilität zwischen verschiedenen *Sensor Network* Domänen zu erhöhen.⁵⁰⁶⁷ Darüber hinaus nutzt AVILUS als PLM-CO-Ansatz Fragmente der SUMO-TLO im Kontext der Smart Factory.⁵⁰⁶⁸ Indem es hier um physische Sensorik geht, gilt grundsätzlich gleiche Kritik wie bei DOLCE, indem es sich auch bei der SUMO-TLO um einen linguistischen TLO-Ansatz handelt, der damit im Kern nicht auf ein dezidiertes Physikmodell ausgelegt ist. Auch die Cyc-Ontologie birgt als linguistischer Common Sense-Ansatz diese Problematik in sich; diese wird schon daran offenbar, dass die Cyc-Ontologie streng zwischen materiellen (*Tangibles*) und immateriellen (*Intangible*) Entitäten differenziert,⁵⁰⁶⁹ während bei ihr *Ereignisse* und *Prozesse* allein

⁵⁰⁶⁶ Dieser Widerspruch wird etwa bei Boella/Lesmo/Damiano (2004: 317) deutlich, wenn dort im Kontext von DOLCE gerade vorausgesetzt wird: »it is not relevant that the description refers to the world 'as it is' (true ontology, in the classical view), but what is important is that it represents the world as it is conceived by sentient beings (epistemology)«. DOLCE ist dabei allein diesem Modus verschrieben.

⁵⁰⁶⁷ Vgl. Eid et al. (2007).

⁵⁰⁶⁸ Vgl. hierzu Schreiber/Zimmermann (2011).

⁵⁰⁶⁹ Für *materielle Entitäten* gilt: »*TangibleObject* – Any thing that does have mass-energy and has no intangible aspects. Intangibles have no tangible aspect; conversely, Tangibles have no intangible aspect«, vgl. Lenat/Guha (1990: 183). Demgegenüber ist für *immaterielle Entitäten* festzustellen: »Intangible – This is

auf erstere abstellen.⁵⁰⁷⁰ Damit ist evident, dass die Cyc-Ontologie ebenfalls CPSS-inadäquat ist. All diese linguistischen Ansätze wie DOLCE, SUMO oder Cyc sind gewiss nicht im CPS-Rekurs entwickelt worden, womit sie auch nicht auf diesen angewendet werden sollten. Demgegenüber sind die *Ereignisse* und *Prozesse* bereits bei Russell/Norvigs *4D Upper Ontology* von den entsprechenden Cyc-Entitäten fundamental verschieden, womit sie zueinander auch inkommensurabel sind. Die 4D-Prozesse bei Sowa basieren mit Whitehead (1929a) auf dem gleichen Physik- bzw. Metaphysikmodell. Wie Russell/Norvigs *4D Upper Ontology* stellt indessen auch Sowa nicht dezidiert auf CPS, CPSS oder CPSS ab. Vielmehr bietet bisher kein einziger TLO-Ansatz systematische Erwägungen hinsichtlich Cyber-physischer Systeme (CPS), was schließlich darin mündet, dass ihre Ontologiearchitektur weder CPS- noch MAS/CAS-adäquat ist. Insgesamt betrachtet sind vielmehr sämtliche TLO-Theorieanwärter als CPSS-inadäquat zu werten, wobei die aristotelischen bzw. die linguistisch geprägten Ansätze für diese Zwecke *per se* indiskutabel erscheinen müssen.

Ad (R3) [*Metaphysischer Realismus, reale Weltmodelle, realistischer OE-Ansatzpunkt*]: Das TLO-Inkommensurabilitätsproblem zeigt sich bereits dadurch bedingt, dass bestimmte TLO-Ansätze einen *metaphysischen Realismus* voraussetzen, andere hingegen explizit nicht. Damit verbunden basieren einige auf einem realistischen OE-Ansatzpunkt, andere hingegen auf einem linguistischen. Dabei besteht nicht einmal innerhalb der jeweiligen Positionen eine Homogenität bzw. eine Kommensurabilität; vielmehr kann sich etwa ein linguistischer OE-Ansatzpunkt sehr unterschiedlich darstellen. So baut Russell/Norvigs *4D Upper Ontology* auf Hayes' *Naïve Physics* bzw. auf der *Qualitative Process Theory* bzw. *Qualitative Physics* auf, während die Cyc-Ontologie auf profanem bzw. wissenschaftlich unklarem *Common Sense* gründet. Lenat/Guha (1990) setzen bei ihrer Cyc-Ontologie keinen ontologischen bzw. metaphysischen Realismus voraus, sondern sprechen vielmehr im linguistischen Sinne von einer "*consensus reality*". Demgegenüber besitzt auch DOLCE ein *linguistisches Ontologieverständnis*, das jedoch im Kontext der Analytischen Philosophie steht und damit wiederum gänzlich anders geartet ist als die vorgenannten. Als ein solcher TLO-Ansatz bleibt DOLCE gegenüber metaphysischen Existenzaussagen neutral,⁵⁰⁷¹ es wird somit weder ein *metaphysischer Realismus* noch – wie bei der BFO-TLO – ein rein methodologisch verstandener *ontologischer Realismus* vorausgesetzt. Die BFO besitzt zwar ein realistisches Ontologieverständnis, reklamiert für sich

any Thing that has no mass (or, more precisely, no mass-energy). Intangibles cannot be "weighed," even in principle«, vgl. Lenat/Guha (1990: 182).

⁵⁰⁷⁰ Demnach gilt: *Events* sind "temporal objects", genauer »[t]he temporal analogue of TangibleObject«; *Processes* sind »[t]he temporal analogue of TangibleStuff«, vgl. Lenat/Guha (1990: 203).

⁵⁰⁷¹ Vgl. auch Sinha/Mark (2010).

als deskriptive Metaphysik jedoch gerade keinen metaphysischen Realismus. Bereits der Umstand, dass die BFO im Gegensatz zu DOLCE dennoch eine *objektive Realität* methodologisch als gegeben voraussetzt, lässt die durch Smith/Ceusters (2010: 181) vertretene These des gleichen philosophischen Ursprungs beider TLO-Ansätze hinfällig erscheinen – auch wenn beide deskriptive Metaphysiken verkörpern. Demgegenüber wird im Zuge der GFO ein *"integrativer Realismus"* vertreten, der explizit zu dem als defekt erachteten Realismus von Smithens BFO abgegrenzt wird.⁵⁰⁷² Mit Ausnahme der Neukonzeption der GFO handelt es sich bei allen genannten Ansätzen *nicht* um klassisch philosophische Ontologien, die auf der ontologischen These von der Existenz einer bewusstseinsunabhängigen Außenwelt gründen. Diese Position, die mit dem realistischen OE-Ansatzpunkt einhergeht, wird demgegenüber durch die Sowa-TLO, die BWW-TLO sowie die BORO-TLO eingenommen. Diese drei Ansätze verkörpern also metaphysische Ansätze, die sich jedoch in anderen Hinsichten fundamental unterscheiden. Wie bereits unter *RI* erwähnt, handelt es sich bei Sowa um eine *Klasse-4-Metaphysik*; bei der BWW im Rekurs auf Bunge's *Scientific Metaphysics* um eine ratio-empirische *Klasse-3-Metaphysik*, sowie bei der *BORO 4D-Ontology* um eine explizite Metaphysik, die im Rekurs auf Sider primär deskriptiver Natur ist und als solche letztlich als *Klasse-2-Metaphysik* zu verorten ist. Insgesamt ist evident, dass das Kriterium der CPSS-Adäquanz der Ontologie die Gültigkeit des *metaphysischer Realismus* voraussetzt.

Ad (R4) [*CAS-Orientierung, Theorie komplexer Systeme, Automatenuniversum*]: Die erforderliche CAS-Orientierung bzw. Fokussierung auf die *Theorie komplexer Systeme* ist dann richtig verstanden, wenn diese nicht nur im Zeichen der *Automatentheorie* bzw. der *Theorie zellulärer Automaten*, sondern auch des *Automatenuniversums* steht, das bei Leibniz wiederum einen platonistischen Kern besitzt. Insofern wird mit Verweis auf den vierten und fünften Teil deutlich, dass alle neo-aristotelisch geprägten TLO-Theorieanwörter dem ontologischen Komplexitätsgedanken insofern nicht genügen können, als dieser ausgehend vom Substanzgedanken bzw. Hylemorphismus ein *materialistischer*, nicht jedoch ein *strukturalistischer* ist. Tatsächlich sind TLO-Ansätze wie BFO oder OCHRE in keiner Weise zentral auf *komplexe Systeme* ausgerichtet, wie sie etwa im Zeichen dissipativer Systeme stehen. Bei Bunge bzw. der BWW-TLO spielen sie eine Rolle; allerdings gerade nicht im strukturalistischen Sinne bzw. jenem der Strukturwissenschaften. Bunge hebt auch die Universalität der Automatentheorie explizit hervor; seine Metaphysik korrespondiert jedoch etwa mit seinem Materialismus oder seinem trägerbezogenen Ereignisverständnis gerade nicht mit ihr. Im Zusammenhang mit Russell/Norvigs *4D Upper Ontology* wird

⁵⁰⁷² Vgl. Herre/Benking (2013).

zwar Komplexität wie auch die Automatentheorie thematisiert, da diese für die AI-Disziplin tatsächlich von elementarem Belang sind. Allerdings baut dieser TLO-Ansatz nicht systematisch auf der Theorie komplexer Systeme bzw. der Komplexitätsforschung auf. Mit der Orientierung an Whitehead (1929a), der genauso wie Leibniz zuvorderst der platonischen Tradition verpflichtet ist, steht die Sowa-TLO in der Komplexitätsfrage zwar an sich am besten da. Bei ihm ist auch genauso wie bei Russell/Norvig in Whiteheadscher Tradition von Komplexität die Rede. Doch jenseits der bloßen Thematisierung von Komplexität bleibt auch bei Sowa kein Raum für die Komplexitätsforschung. Vor allem werden *komplexe Systeme* nicht als ratio-empirischer Mittler bemüht, genauso wenig erfolgt ein systematischer Bezug auf die Automatentheorie als AI-Kerntheorie. Entsprechend haben auch *Complex Adaptive Systems* (CAS) bei Sowa keine Relevanz, obschon sie diese mit Blick auf Multiagentensysteme (MAS) haben sollten. Zusammengefasst ist die metaphysische Basis bei Sowa gerade auch unter dem Komplexitätsaspekt die beste, jedoch wird diese Grundlage nicht systematisch für eine sachgerechte Ontologiekonzeption bzw. Ontologiearchitektur genutzt. Somit bleibt insgesamt festzuhalten, dass kein einziger TLO-Ansatz die systematische Orientierung an der *Theorie komplexer Systeme* sucht, wie es jedoch im CAS/MAS Sinne für IoX-Systeme vorauszusetzen ist.

Ad (R5) [*Ubiquitous Computing*]: IoX-Systeme stehen vollends im Zeichen des *Ubiquitous Computing*, und werden bereits bei Gershenfeld (1999a) auf genau dieser Basis entwickelt. Allerdings ist kein einziger der bisher vorgelegten TLO-Theorieanwärter systematisch am *Ubiquitous Computing* orientiert. Dabei ist festzustellen, dass dieses eine Vielzahl metaphysischer Dispositionen impliziert, etwa in Bezug auf die CPSS-Adäquanz, mögliche Welten, die ED-SOA-Architektur, bis schließlich hin zu 4D-basierten *Real-Time Locating Systems* (RTLS).

Ad (R6) [*Integration von CM- und AI-Ontologien*]: Im Grunde besitzen sämtliche TLO-Theorieanwärter einen klaren Schwerpunkt, der zumeist entweder auf die CM-Ontologie oder die AI-Ontologie ausgelegt ist, und bei letzterer oftmals auch noch spezifischen AI-Zwecken verpflichtet ist. So liegt der Fokus der BWW-TLO sehr einseitig auf CM-Aspekten und sie findet in diesem Kontext am häufigsten Anwendung. Auch die GFO versteht sich primär als CM-Ontologie, tendiert jedoch daneben bereits stärker als die BWW-TLO in Richtung AI-Ontologie. Demgegenüber liegt der Fokus von Russell/Norvigs *4D Upper Ontology* genau umgekehrt auf der AI-Ontologie, während sie im CM-Kontext im Grunde keinen Belang hat. McCusker et al. (2011) bemühen zwar die BFO-TLO explizit im CM-Kontext, allerdings ist sie in Wirklichkeit als sehr spezielle AI-Ontologie zu verstehen, nämlich als eine, die im Grunde ausschließlich auf *Scientific Ontologies* zielt. Für CM-Zwecke ist die BFO genau deshalb ungeeignet,

weil sie im Gegensatz zur BWW-TLO gerade nicht metaphysisch ist, und damit auch nicht *an sich* nach den Grundstrukturen der Realität fragt. Ihr Ziel ist zwar die Realitätsrepräsentation, doch gestaltet sich dies letztlich als gänzlich anderes Unterfangen, indem die reale Existenz von Entitäten jeweils im Einzelnen untersucht wird. Für die Beschreibung ganzer Diskursuniversen muss ein solcher Ansatz jedoch als unpassend erscheinen, indem im Substanzsinne an Einzeldingen (bzw. deren Typen) festgemacht wird, nicht aber an einer Strukturidee im Ganzen. Indessen ist die DOLCE-TLO für CM-Zwecke noch weniger geeignet, weil ihre Kategorien keine ontischen Seins-Kategorien, sondern vielmehr epistemische Denk-Kategorien sind. Gegenüber der BFO besitzt dies zwar den Vorteil, dass sich damit jegliche Diskursuniversen modellieren lassen, also auch mögliche Welten. Indessen ist für CM-Zwecke zuvorderst die Realitätsfrage bzw. Realitätsmodellierung entscheidend, und für DOLCE ist dabei noch nicht einmal eine objektive Realität selbstverständlich, was jedoch als CPSS-Inadäquanz zu werten ist. Denn Cyber-physische Systeme (CPS) haben im physikalischen Sinne von einer objektiv gegebenen Realität auszugehen. DOLCE versteht sich entsprechend in erster Linie auch als AI-Ontologie, selbst wenn Guarino (2014b) betont, dass die konzeptuelle Modellierung tatsächlich von der formalontologischen Analyse profitieren kann. Doch das kann sie nur, wenn die formale Ontologie an sich dem *realistischen OE-Ansatzpunkt* folgt und nicht dem linguistischen. Es sei auch in dieser Sache auf den Widerspruch zwischen dem physikalischen Ereigniszentrismus und dem linguistischen Objektzentrismus verwiesen. Auch dies ist nur erkennbar auf Basis einer superioren revisionären Metaphysik wie der Sowa-TLO, nicht aber mit einer deskriptiven Metaphysik wie sie DOLCE oder BFO verkörpern. Tatsächlich lässt sich die Frage der konzeptuellen Modellierung sämtlicher Domänen transdisziplinär nur im Wechselspiel mit den fundamentalen Strukturen aller Welten behandeln. Insofern liegen in CM-Hinsicht tatsächlich die BWW-TLO bzw. die Sowa-TLO richtig, von denen auch die einzig nennenswerten Impulse in dieser Sache kommen. Denn die BWW-TLO wird zwar im CM-Kontext als Referenzbasis mit Abstand am meisten bemüht; allerdings geht die Sowa-TLO darüber hinaus, indem Sowa (1984) *konzeptuelle Graphen* entwickelt, die als Notation im Gegensatz zur Bungeschen Ontologie *mögliche Welten* zulassen. Entsprechend werden sie bei Sowa auch für darauf basierende Ontologien zur *Knowledge Representation* (KR) vorausgesetzt.⁵⁰⁷³ Über reine ontologische Modellierungssprachen wie IDEF5 hinausgehend, gelingt Sowa mit seinen *Conceptual Graphs* (CG) bereits eine gewisse CM-AI-Integration,⁵⁰⁷⁴ die bei allen anderen TLO-An-

⁵⁰⁷³ Vgl. Sowa (1984: 173).

⁵⁰⁷⁴ Vgl. zum Unterschied zwischen IDEF5 und CG P.C. Benjamin et al. (1994: 67).

sätzen in dieser Weise nicht gegeben ist. Insgesamt ist die Einseitigkeit der TLO-Ansätze gerade auch mit Blick auf die *Integration von CM- und AI-Ontologien* zu kritisieren; sie sind in dieser Sache als inferior zu werten, weil die Strukturen des Wissens mit den Strukturen der jeweiligen Diskursuniversen korrespondieren müssen. Das allerdings ist allein auf Basis einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* möglich (IMKO OCF, vgl. Pkt. 3.4).

Ad (R7) [*Ontologieklassifikation als System von Ontologien*]: Die meisten TLO-Ansätze sind allein auf genau *eine* andere Ontologieart fixiert, nämlich auf *Domänenontologien* zur Wissensrepräsentation; bei der BWW-TLO kann man gar behaupten, dass der TLO-Ansatz mit seiner CM-Fixierung im Grunde für sich steht, ohne dass die Verkopplung mit einem *System von Ontologien* gesucht wird. In Bezug auf Russell/Norvigs *4D Upper Ontology* ist festzustellen, dass der TLO-Ansatz zwar gegeben ist, jedoch kaum als systematischer Ausgangspunkt für OE-Zwecke Einsatz findet. Einige TLO-Ansätze sind bereits auf eine interdisziplinäre Organisation von Domänenontologien angelegt, indem sie domänenübergreifende Kernontologien einsetzen. Das ist bei der BFO im Kontext der OBO-Foundry genauso der Fall wie bei der GFO mit der GFO-Bio als biologischer Kernontologie. Mit Blick auf die Integration des TLO-Ansatzes mit dem *System von Ontologien*, wie es in Abb. 3 dargestellt ist, kann DOLCE als reifster TLO-Ansatz gewertet werden. DOLCE fungiert nicht nur als Referenzbasis einer Reihe unterschiedlicher Domänen, etwa für Rechtsontologien,⁵⁰⁷⁵ für biomedizinische Ontologien,⁵⁰⁷⁶ aber auch etwa für Ontologien in Bereichen wie Fischerei, Agrikultur bzw. Lebensmittelverarbeitung.⁵⁰⁷⁷ Darüber hinaus ist sie als Referenzbasis der W3C SSN Sensor Ontology gesetzt, genauso wie für die *Sensor Cloud Ontology*, die ebenfalls in Domänen wie der Agrikultur Einsatz findet.⁵⁰⁷⁸ DOLCE lässt sich im Sinne von Plugins um verschiedene Ontologien erweitern, etwa durch die *Ontology of Descriptions and Situations* (D&S bzw. DnS) zur Kontextualisierung, durch Erweiterungen für Raum und Zeit, durch eine Ontologie der Informationsobjekte sowie durch eine Aufgabenontologie resp. Planungsontologie (DDPO).⁵⁰⁷⁹ Daneben zielt die auf DOLCE bzw. der *Ontologie der Informationsobjekte* aufbauende IRE Ontologie (Identifiers, Resources, and Entities) auf eine Kategorisierung referenzierbarer Web Ressourcen.⁵⁰⁸⁰ DOLCE kommt etwa als Referenzbasis von ADACOR zum Einsatz, die eine Ontologie für die Smart Factory verkörpert. Dabei spielen auch hier darüber hinaus SAW-relevante *Sensor Ontologies* eine Rolle. Insofern ist auch das

⁵⁰⁷⁵ Vgl. etwa Gangemi/Sagri/Tiscornia (2005).

⁵⁰⁷⁶ Vgl. etwa Gangemi/Catenacci/Battaglia (2004).

⁵⁰⁷⁷ Vgl. Gangemi/Fisseha et al. (2004) sowie Muljarto et al. (2014).

⁵⁰⁷⁸ Vgl. etwa Cabral et al. (2014).

⁵⁰⁷⁹ Vgl. Gangemi/Borgo et al. (2004); vgl. zur *Ontologie der Informationsobjekte* Behrendt et al. (2005).

⁵⁰⁸⁰ Vgl. Gangemi/Presutti (2006).

Anwendungsspektrum bei DOLCE gewiss am größten. Dennoch bleibt das Problem der linguistischen Ontologie in Bezug auf das CPSS-adäquate Physikmodell einschließlich der nicht akzeptierten objektiven Realität, die im CPS-Kontext vorauszusetzen ist. Problematisch ist dies deshalb, weil das *System von Referenzontologien* kommensurabel sein muss. Und das kann es bei DOLCE schon insofern nicht sein, als der Gedanke objektiver *Scientific Ontologies* nicht mit dem konsensbasierten ODIS-Gedanken von DOLCE korrespondiert und es damit etwa um unterschiedliche Realitätsverständnisse geht. Auch gibt es bei der DOLCE-TLO keine echte *TLO-EO-Verkopplung*; Aspekte wie *Services* oder die MAS-Orientierung bleiben Stückwerk, was ein TLO-Ansatz nicht sein sollte. Die BORO-TLO ist mit Blick auf die *TLO-EO-Verkopplung* besser aufgestellt als der DOLCE-Ansatz.

Ad (R8) [*Mehrweltenontologie*]: Nahezu sämtliche TLO-Ansätze repräsentieren Monoweltenontologien, keine Mehrweltenontologien. Das heißt, sie sind auf genau eine Welt ausgelegt bzw. an genau einer Art von Kategorien orientiert. Bei der BFO sind dies die *R-ontologies* (referent- or reality-based ontologies), die aus ihrem immanenten Realismus folgen. Anders gewendet folgt bei der BFO der Zwang zur Monoweltenontologie aus den Auflagen, die Smith mit seiner strikten Fixierung auf den *immanenten Realismus* zu erfüllen hat. Bei der DOLCE-TLO gestaltet sich dies genau umgekehrt, indem mit der Existenz einer objektiven Realität der Wesenskern ontischer Kategorien geleugnet wird. Entsprechend ist sie auf epistemische Kategorien und einen entsprechenden epistemischen Welttypus fixiert. Dabei handelt es sich lediglich um *einen* der vier im Zeichen des *IoX-Hyperspace* relevanten ontologischen Welttypen, der im Sinne der *Belief Revision* zudem noch allen anderen *nachgeordnet* ist. Indem Sowa (2000) auf Whitehead (1929a) aufbaut, müsste seine Ontologiearchitektur eigentlich explizit eine Mehrweltenontologie repräsentieren, was jedoch nicht der Fall ist. Auch sie ist vielmehr als *Monoweltenontologie* zu verstehen. Indem die Sowa-Ontologie nicht zwischen verschiedenen Welten unterscheidet, ihr also die entscheidende Differenzierung zwischen genuinen Welttypen fehlt, kommt es zu einer problematischen Vermengung von Sachverhalten. Dabei lässt sich diese Welttypen-Differenzierung mindestens mittelbar aus der Whiteheadschen Kosmologie ableiten, indem sie auf die physische wie soziale Welt applizierbar ist, zwischen ontischer Welt und der epistemischen des *Subjekt-Superjekt* trennt, und als cyber-physische Ontologiekonzeption letztlich eine *integrierte Ontologiekonzeption* wie *CYPO FOX* zulässt, die als *emergentistische Vier-Welten-Ontologie* alle vier Ontologietypen systematisch kombiniert. Demgegenüber gibt es den Gedanken verschiedener Welttypen sowohl bei der UFO-TLO als auch bei der BWW-TLO, indem sich Rosemann/Vessey et al. (2004) im Rekurs

auf die Systemebenen Bunge für eine solche Mehrweltenontologie als Mehrebenenontologie aussprechen. Allerdings ist dies in beiden Fällen mit Problemen behaftet, indem die Welttypen bei der UFO-TLO nicht als kohärent gelten können, während sich die Systemebenen bei Bunge nicht aus dem eigentlichen ontologischen Kern sachgerecht entwickeln lassen. Denn Bunge's Ontologie ist weder cyber-physischer Natur noch bildet ein Subjekt-Superjekt bei ihr einen Bestandteil. Einzig bei der GFO-TLO finden sich im Rekurs auf den Schichten-gedanken Hartmanns (1940) Überlegungen zu einer solchen Mehrweltenontologie, die damit in diesem Punkt am besten abschneidet. Insgesamt bleiben alle TLO-Ansätze in dieser Hinsicht defekt und sie sind damit weit entfernt von einer Ontologiearchitektur, wie sie eine CPS/MAS-adäquate Ontologie einfordert.

Ad (R9) [*Event Streams und Ereigniszentrismus*]: Im Grunde lässt sich sagen, dass bei sämtlichen TLO-Theorieanwärttern *Ereignisse* eine Rolle spielen bzw. gegeben sind, jedoch kein einziger TLO-Ansatz die Ereigniskategorie tatsächlich richtig konzipiert. Die Fehler sind in dieser Sache vielfältig; sie beginnen bei neo-aristotelischen Ansätzen damit, dass Ereignisse letztlich immer auf einen Träger bezogen sind. Es handelt sich dann um prinzipiell endurantistische Ontologien (BWW etc.), die auf Substanzen, Objekte oder Dinge fixiert sind, nicht jedoch *primär* auf Ereignisse. Vielmehr ist immer der Träger primär, womit die Verhältnisbestimmung zwischen Objekt und Ereignis in diesen Fällen entsprechend ausfällt. Wand/Storey/Weber (1999: 510) konstatieren damit korrespondierend: »in ontology, an event is a change of state of a thing, not a thing«, doch ist ein solches Ereignisverständnis für die Zwecke der Informatik schlichtweg unbrauchbar. Wenn dies nicht zuletzt dem Bunge'schen Materialismus geschuldet ist,⁵⁰⁸¹ bleibt demgegenüber ein *cyber-physisches* Ereignisverständnis zu fordern. Doch dieses gibt es auch bei anderen TLO-Ansätzen wie der Cyc-TLO nicht, da bei ihr Ereignisse wiederum auf materielle Entitäten (*Tangibles*) eingeschränkt sind. Damit ist auch hier weder eine CPSS-Adäquanz gegeben noch lässt sich die Ontologie der Informatik insgesamt auf solchen Ansätzen begründen. Mit all diesen Ansätzen wird sträflich übersehen, dass die Informatik *per se* ereigniszentrisch ist. Das lässt sich bei TLO-Ansätzen wie BFO oder DOLCE auch nicht dadurch heilen, dass es einen endurantistischen wie einen perdurantistischen Modus gibt; vielmehr ist darin ein Widerspruch festzustellen, der nicht zuletzt deshalb besteht, weil beide Ansätze auf jeweils einer Kategorienart aufbauen. Tatsächlich geht es auch nicht um echte 4D-Ereignisse, sondern im neo-aristotelischen Sinne nur um solche, die sich auf den Träger beziehen.⁵⁰⁸² Grundlegende Defekte bestehen in dieser Sache auch bei Miltons Chisholm-

⁵⁰⁸¹ Vgl. dazu auch Allen/March (2008).

⁵⁰⁸² Vgl. dazu explizit B. Smith (2003d: 18).

TLO. Denn Milton (2004) übersieht, dass Chisholms (1990) Ontologie allein schon deshalb für die Ontologie der Informatik gänzlich unbrauchbar ist, weil sie Ereignisse zum einen auf *abstrakte* Sachverhalte einschränkt, und sie zum anderen nicht als 4D-Entitäten behandelt. Chisholms Ereigniskategorie ist eine sprachphilosophische; sie besitzt als solche keinen direkten physikalischen Hintergrund. Der ist jedoch für die CPSS-Adäquanz der Ontologie vorauszusetzen. Insofern können mit Verweis auf Pkt. 4.2 nur solche TLO-Ansätze in grundsätzlicher Hinsicht richtig liegen, die bei der Ereigniskategorie auf der Whiteheadschen Metaphysik aufbauen. Das ist indirekt via Hayes bei Russell/Norvigs *4D Upper Ontology* der Fall und direkt bei der Sowa-TLO. Beides sind TLO-Ansätze, die von anerkannten AI-Experten stammen. Während bei Russell/Norvig das zentrale Moment der Ereigniskategorie hinreichend herausgestellt wird, ist dies bei Sowa jedoch nicht der Fall. In beiden Fällen wird zudem nicht der theoretische Zusammenhang berücksichtigt, in dem die Ereigniskategorie steht, also weder ihre Relation zu Signalen und Bits noch ihre damit zusammenhängende Rolle in Booleschen Netzwerken, etwa Kauffmans NK-Netzen oder der *Theorie zellulärer Automaten*. Insofern wird die Ereigniskategorie auch nicht in technologischer Hinsicht in der Weise entwickelt, wie sie für komplexe IoX-Systeme etwa in U-CEP-Hinsicht erforderlich ist. Mit Verweis auf den ebenfalls in Pkt. 6.2.1 behandelten SCEP-Gedanken gehen diese *technischen* CEP-Events (physikalische Signale bzw. Sequenzen von Signalen) Hand in Hand mit den *semantischen* SCEP-Events, womit sich wiederum das Erfordernis der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* stellt, was kein bestehender TLO-Ansatz hinreichend erfüllt. Insgesamt sind für die Informatik die wenigsten der bisher im Rahmen der diversen Ontologieverständnisse bemühten Ereigniskonzeptionen im Ansatz zielführend; am weitesten ist hier insgesamt die Sowa-TLO zu erachten.

Ad (R10) [*Augmented Reality*]: Ein TLO-Ansatz kann allein dann sachgerecht auf eine *erweiterte Realität* abstellen, wenn die Realitätsfrage zunächst an sich geklärt ist. Allerdings kann nicht behauptet werden, dass diese elementare Frage bei einem der TLO-Ansätze tatsächlich in hinreichender Weise diskutiert wird. Vielmehr bleibt bei den meisten TLO-Ansätzen diese Frage mehr oder weniger gänzlich ausgespart, weil es sich um deskriptive Metaphysiken handelt. Das gilt letztlich auch für die BORO-TLO, auch wenn diese etwa mit ihrer Orientierung an der chemischen Prozessindustrie an sich die richtigen Fragen stellt. Revisio-näre Metaphysiken wie die Bungesche Klasse-3-Metaphysik favorisieren mit ihrem Materialismus ein enges Realitätsverständnis. Die Sowa-TLO basiert zwar mit der Whiteheadschen Klasse-4-Metaphysik an sich auf dem richtigen Realitätsverständnis; indessen wird dieses nicht weiterentwickelt, da zu dieser Wei-

terentwicklung an der Popperschen *Drei-Welten-Lehre* anzusetzen ist. Das gilt einschließlich der ebenfalls durch Popper behandelten Frage der kausalen Interdependenz dieser Welten. Insofern sind bei Sowa zwar die richtigen Fundamente für die CPSS-Adäquanz wie für die ontologische Erfüllbarkeit der *Augmented Reality* gegeben, aber es fehlt der dafür notwendige Überbau.

Ad (R11) [*Strukturalismus als prozessuale Form*]: Im Grunde vertreten die meisten TLO-Ansätze einen Anti-Strukturalismus, indem sie an Substanzen, Dingen oder Objekten orientiert sind und nicht an emergenten Ordnungsmustern, die als prozessuale Formen im Zeichen des Strukturalismus entstehen, sich reproduzieren und wieder vergehen. Am deutlichsten wird dies bei der BFO, da diese auch explizit noch auf den aristotelischen Substanzgedanken Brentanos Bezug nimmt. Mit diesem verfolgt die BFO im neo-aristotelischen Sinne noch einen antiken *Hylemorphismus*. Vor diesem Hintergrund sprechen die BFO-Protagonisten auch in Bezug auf die modernen Wissenschaften, explizit im Kontext der Biomedizin im Substanzsinne von Entitäten, »which survive self-identically through time while undergoing changes of various sorts«.⁵⁰⁸³ Dabei findet die BFO im Zeichen der Biomedizin selbstverständlich Einsatz im Kontext verschiedenster biologischer Lebenszyklen.⁵⁰⁸⁴ Physikochemiker wie Prigogine denken in dieser Sache in einer anderen, den modernen Disziplinen auch tatsächlich gerecht werdender fundamentaler Weltsicht, indem sie den Zusammenhang genau umkehren. Tatsächlich steht für physikochemische Ansätze wie Prigogines *Theorie dissipativer Systeme* bzw. an sich im Zuge der Nichtgleichgewichtsthermodynamik außer Frage, dass im Zeichen der prozessualen Form ein strukturalistischer Zugang zu Evolutionsprozessen erforderlich wird. Entsprechend werden Lebenszyklen auch in der AL-Forschung in diesem Sinne gehandhabt und damit völlig anders als bei der substanzzentrischen BFO. Vielmehr treten hier an die Stelle von Substanzen *Ordnungsmuster*, die sich im Whiteheadschen Sinne reproduzieren. Bei der BWW-TLO steht der Materialismus einem universalen Strukturalismus entgegen; allen linguistischen TLO-Ansätzen ist der Strukturalismus von vornherein verwehrt, da sie diesen mit ihrem *Subjekt-Prädikat-Objekt* Schema erst gar nicht zulassen. Denn auch hier geht es – wenn auch nur sprachlich – um selbstidentische Objekte, und nicht um emergente Ordnungsmuster in *Event Driven Worlds*.

Ad (R12) [*Heavyweight-Ontologie als kognitive CPS-Präzision, Sensorontologie*]: Einen eingehenden Bezug zur Sensorontologie besitzt allein die DOLCE-TLO mit dem Alignment der *W3C SSN Ontology* auf DOLCE Ultra Lite (DUL). Allerdings kann sie demgegenüber keine *Heavyweight-Ontologie als kognitive CPS-*

⁵⁰⁸³ Vgl. Bittner et al. (2004: 37), Hvh. des Verf.

⁵⁰⁸⁴ Vgl. etwa B. Smith/Mejino et al. (2005) sowie Parikh et al. (2012).

Präzision verkörpern, weil ihr dazu das revisionäre Physik- bzw. Metaphysikmodell fehlt und sie keine objektive Realität im Sinne eines metaphysischen Realismus akzeptiert. Andererseits eignen sich TLO-Ansätze, die dies wie die BWW-TLO zumindest eingeschränkt erfüllen, nicht als Basis für Sensorontologien, da sie als CEP-inkompatibel zu werten sind. Denn die CEP-Kompatibilität verlangt eine Orientierung des TLO-Ansatzes an *Event Streams* und einen entsprechenden Ereigniszentrismus. Auch in dieser Hinsicht sind die Sowa-TLO bzw. Russell/Norvigs *4D Upper Ontology* als grundsätzlich richtig zu werten, doch fehlt ihnen der Zugang zu *technischen* CEP-Events genauso wie die Orientierung am U-CEP-Gedanken komplexer IoX-Systeme.

Ad (R13) [*Ausdifferenziertes Kategoriensystem*]: Die Frage nach der Ausdifferenzierung des Kategoriensystems hängt mit *R8* unmittelbar zusammen, indem die TLO-Kategorien als universale Kategorien für sämtliche Welttypen Geltung besitzen müssen. Denn sie alle unterliegen dem Erfordernis der TLO-Referenz, wobei die Disparität der Welttypen mitsamt gemeinsamer TLO-Referenz bei *Cyberphysischen Systemen (CPS)* unmittelbar begreifbar ist. Insofern sind universale Kategorien auch strukturalistische Kategorien. Diese gestalten sich entsprechend anders als gängige Kategoriensysteme, wie sie in Pkt. 5.2 ff. bzw. in Pkt. 6.1.3 illustriert worden sind. Die Ausdifferenzierung des Kategoriensystems ist darüber hinaus in der Weise vorzunehmen, dass sich mit *R14* sowohl Informations- als auch Wissenssysteme darauf beziehen können, während gleichzeitig mit *R7* die Transdisziplinarität des ganzen *Systems von Ontologien* zu gewährleisten ist. Andererseits muss es ausdifferenziert sein, da allein ein ausdifferenziertes Kategoriensystem eine höherwertige Intelligenz von AI-Systemen zulässt, wie sie mit der intendierten *Superintelligenz* der dritten AI-Generation vorzusehen ist. Die Inkommensurabilität der TLO-Ansätze bezieht sich jedoch nicht nur auf die Art der Ausdifferenzierung, sondern auf die Art der Kategorien als solcher. So ist bezüglich der Kategorialanalyse bei DOLCE festzustellen, dass es sich jenseits von Guarinos philosophischem Fundament nicht um metaphysische Kategorien (i.S. eines spekulativ-deduktiven Systems), sondern vielmehr um linguistische Kategorien handelt. Diese stellen *Denk-Kategorien*, nicht Seins-Kategorien dar. Demgegenüber werden die Kategorietypen bei Sowa nicht hinreichend differenziert, sondern unzulässiger Weise vermischt: Das geht letztlich darauf zurück, dass für Sowa *Kategorien* das sind, was in »database theory [...] are usually called *domains*, in AI [...] are called *types*, in object-oriented systems [...] are called *classes*, and in logic [...] are called *types* or *sorts*«. ⁵⁰⁸⁵ Allerdings übersieht Sowa dabei, dass die Kategorien universal metaphysischer Natur sind, während sich die genannten Klassen regional auf

⁵⁰⁸⁵ Vgl. Sowa (2000: 51).

die konkrete Domäne beziehen. Dieser Fehler geht auf Quine zurück, der von diesen metaphysischen Kategorien, die für Whitehead entscheidend sind, gerade meint absehen zu können. Tatsächlich macht Sowa in dieser Hinsicht direkt an Quine fest: »his most famous slogan: 'To be is to be the value of a quantified variable'« ist zu werten als »a criterion for distinguishing the ontological categories that are implicit in a knowledge representation«.⁵⁰⁸⁶ Allerdings übersieht auch Sowa, dass die Kategorien bei Quine letztlich immer in einem real-physischen bzw. empirischen Zusammenhang stehen, der gleichzeitig ein naturalistischer ist. Zudem sind die Kategorien Sowas, die bei L. Jansen (2008a) ihre Kritik finden, für die praktischen Anwendungserfordernisse der Informatik zu abstrakt gedacht.

Ad (R14) [*Transdisziplinarität und IS/KS-Kombination*]: Das Moment der Transdisziplinarität wird bei keinem einzigen der TLO-Theorieanwörter in den Vordergrund gerückt. Das muss in zweifacher Weise überraschen, indem sie erstens vor allem auf die Wissensrepräsentation zielen, zweitens an sich eine universale Ontologie verkörpern. Zusammengenommen läuft dies unmittelbar auf das Transdisziplinaritätsmoment hinaus. Dieser Defekt setzt sich bei dem Verhältnis von Informations- und Wissenssystemen fort, indem im Grunde alle TLO-Ansätze entweder Informations- oder aber Wissenssystemen verpflichtet sind. So liegt der Fokus der BWW-TLO klar auf IS-Aspekten; bei DOLCE ist dies im ODIS-Sinne ähnlich; demgegenüber ist die BFO-TLO deutlich auf KS-Aspekte ausgelegt, während sie mit den fehlenden Konzepten und möglichen Welten keinerlei Basis für IS-Ontologien bzw. ODIS-Anwendungen bieten kann. Insofern scheitern BFO und DOLCE jeweils an der IS/KS-Kombination, nur von der jeweils anderen Seite. Indem DOLCE jenen TLO-Ansatz verkörpert, der mit Abstand am meisten auf die unterschiedlichsten Domänen projiziert wird, sei das Problem mangelnder *Transdisziplinarität und fehlender IS/KS-Kombination* an diesem TLO-Ansatz näher gezeigt: DOLCE scheitert an einer transdisziplinären Wissensrepräsentation, als weder ontische Kategorien noch objektives Wissen akzeptiert werden. Dabei wird in Bezug auf die Transdisziplinarität deutlich, dass objektives Wissen auf Grundlage linguistischer Ontologien schwierig zu realisieren ist; der Konzeptualismus Guarinos und der damit verbundene Konstruktivismus verschärfen tendenziell das Inkommensurabilitätsproblem. Entsprechend besteht in der Realisierung objektiven Wissens auch weniger das Ziel solcher Ontologieansätze, weil hinsichtlich der Möglichkeit objektiven Wissens mindestens Skepsis besteht. Insofern ist auf die Probleme, die zwischen der Ontologiekonzeption Guarinos einerseits, und dem Verständnis objektiven Wissens klassisch-wissenschaftlicher Prägung im Popperschen Sinne bestehen, hin-

⁵⁰⁸⁶ Vgl. Sowa (2000: 51 f.).

zuweisen. Geht es um objektives Wissen, arbeiten die Wissenschaften heute im Allgemeinen nach der hypothetisch-deduktiven Methode. Eine Ontologie, die wissenschaftliche Sachverhalte repräsentieren will, muss entsprechend methodologische Kompatibilität aufweisen. Geht es um spezifisches Wissen der Welt, setzt DOLCE auf das *interaktionistische Paradigma* der Wahrnehmungspsychologie und kognitiven Linguistik, das von einer *sensorischen Interaktion* mit der Realität ausgeht.⁵⁰⁸⁷ Doch auch in diesen Fällen wird nicht von einer metaphysischen Existenz der Dinge ausgegangen, sondern vielmehr von *kognitiven Dingen*, die auf Grundlage von Geisteszuständen emergieren.⁵⁰⁸⁸ Wenn Gangemi/Guarino/Masolo/Oltramari (2001) vor diesem Hintergrund selbst die Frage stellen, ob "Ontologie" die "reale Welt" zum Gegenstand habe, wie sie etwa durch einen Physiker gesehen werde, oder sich aber an der Kognition einschließlich der komplexen Interaktionen und Abhängigkeiten unserer jeweiligen "ökologischen Nische und uns" abstellen solle, wird bereits an dieser Stelle die große Problematik dieses Unterfangens deutlich: Indem DOLCE letztlich klar für die zweite Alternative votiert steht außer Frage, dass dieser Ontologieansatz kaum geeignet ist, objektives wissenschaftliches Wissen etwa der Naturwissenschaften zu repräsentieren und als fundamentale Basis für den CPST- bzw. IoX-Hyperspace zu fungieren. Doch das ist für Cyber-physische Systeme (CPS) genau in dieser Form unabdingbar. In der Tat verschärfen "ökologische Nischen" das Inkommensurabilitätsproblem in maßgeblicher Weise; daher ist eine Fixierung auf diese zur Realisierung von Transdisziplinarität kaum geeignet. Die Problemerkennntnis Guarinos et al. ist richtig; Agenten operieren kognitiv in ökologischen Nischen; sie ziehen jedoch darauf genau die falschen Schlüsse, indem sie mit ihrem Ontologieansatz diesem Problem direkt entgegenkommen und es in diesem Sinne letztlich noch fördern. Ontologien sind jedoch zuvorderst, d.h. in einem allgemeinen Ontologieverständnis, als Referenzontologien zu verstehen, für die das Inkommensurabilitätsproblem gerade das maßgebende Problem ist. Ontologien können als Referenzontologien nur an der insbesondere durch Popper akzentuierten Idee des *objektiven Wissens* festmachen. Weder kann in kognitiver Verzerrung noch in genauso regelmäßigen linguistischen Unzulänglichkeiten, insbesondere in der Unschärfe von natürlicher Sprache und "Commonsense" eine geeignete Grundlage für Referenzontologien im Zeichen objektiven Wissens bestehen. Denn diese Verzerrungen und Unschärfen sind für gewöhnlich weder "objektiv" gegeben noch unbedingt "objektiv" nachvollziehbar bzw. erkennbar. Vielmehr sind sie *individueller* Natur, wobei gerade DOLCE selbst die Kognition mitsamt der komplexen Interaktionen und Abhän-

⁵⁰⁸⁷ Vgl. Gangemi/Guarino/Masolo/Oltramari (2001).

⁵⁰⁸⁸ Ibid.

gigkeiten der jeweiligen "ökologischen Nische und uns" betont. Durch ein solches Vorgehen wird also das Inkommensurabilitätsproblem nicht gelöst, sondern genau im Gegenteil in ganz wesentlicher Weise verschärft.

Ad (R15) [*Prozessontologie als Prozessmetaphysik*]: De facto gibt es zwar keinen einzigen TLO-Ansatz, in dem *Prozesse* keine Rolle spielen. Allerdings sollte daraus nicht der Fehlschluss gezogen werden, dass es sich dabei annähernd um dieselbe Kategorie handelt. Vielmehr lässt sich das TLO-Inkommensurabilitätsproblem gerade auch an der Prozesskategorie festmachen, indem eine vermeintlich vereinbare Kategorie sich bei genauerer Analyse als vollkommen unvereinbar zwischen den einzelnen TLO-Ansätzen darstellt. Relevant sind hier in erster Linie zwei Abgrenzungen: jene von *deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik* sowie jene von *Substanz- vs. Prozessmetaphysik*. Beginnen wir mit letzterer, wobei sich diese zuvorderst im Feld revisionärer Metaphysik bewegt: Die Disparität von *Substanz- vs. Prozessmetaphysik* wird am besten im Widerstreit zwischen Bunge/Mahner (2004) als Vertreter einer Substanz- bzw. Ding-Metaphysik auf der einen Seite und den Prozessmetaphysiken Whiteheads (1929a) sowie Reschers (1996, 2000b) deutlich. Bunge bekämpft in seinem Materialismus letztere Positionen vehement, während seine Ontologie gleichzeitig explizit nicht auf AI- und AL-Zwecke angelegt ist. Dass sie durch die BWV-TLO dennoch für Zwecke der Ontologie der Informatik bemüht wird, hat damit zu tun, dass ihre Entstehung im Grunde nicht viel mit modernen AI-basierten Systemen zu tun hat. Vielmehr geht es um den Bau klassischer Informationssysteme, bei denen sie primär zum Zwecke der Modellierung realer Diskursuniversen Einsatz findet, etwa um die Adäquanz bzw. Vollständigkeit von Notationen zu prüfen. Indessen geht dieser Widerstreit von *Substanz- vs. Prozessmetaphysik* mit dem bedeutungsvollen Disput zwischen Parmenides und Heraklit bis auf die Vorsokratiker zurück. Darüber hinaus steht er auch in direktem Bezug der Kontroverse zwischen Platon und Aristoteles in der griechischen Antike, indem es auch bei Aristoteles zwar Prozesse gibt, doch sind diese im Zeichen seines Hylemorphismus und immanenten Realismus immer an Materie gebunden. Das ist bei Platon bekanntlich anders, indem es hier um das *intelligible Universum* geht, das am besten im Zeichen von Zuses (1982) *Computing Universe* zu verstehen ist, das letztlich in der Tradition des Leibniz-Whiteheadschen *Automatenuniversums* steht, das wiederum im Kern platonistischer Natur ist.⁵⁰⁸⁹ Eine TLO-Evaluierung lässt sich in Bezug auf das zentrale Prozesskriterium allein vor diesem Hintergrund sachgerecht führen, doch wird dies regelmäßig nicht vollzogen. Das führt im Ergebnis dazu, dass etwa Russell/Norvigs *4D Upper*

⁵⁰⁸⁹ Bei Leibniz ist dieses noch *mechanistisch* konzipiert, bei Whitehead indessen unter dem Eindruck der Naturwissenschaften in direkter Tradition zu Leibniz *organismisch*, wie es schließlich die *Theorie zellulärer Automaten* begründet.

Ontology insbesondere via Hayes im Kern auf dem 4D-Ereigniszentrismus Whiteheads steht, allerdings parallel dazu von *Substanzen* die Rede ist, die durch Whitehead konsequenterweise abgelehnt werden. Das liegt wiederum am *Common Sense*, den Russell/Norvig in ihrem Rekurs auf die *Qualitative Process Theory* vollziehen, und diese Theorie baut wiederum auf der *Naïve Physics* von Hayes auf, bei dem Substanzen genauso noch Erwähnung finden. Es handelt sich damit zwar um bessere, nämlich partiell wissenschaftlich bzw. metaphysisch orientierte Varianten von *Common Sense*; allerdings fehlt die Rigorosität und Konsequenz, die nur ein direkter Bezug auf die Prozessmetaphysik gewährleisten kann. Damit ist ein *Common Sense* nur zulässig, wenn alle Kategorien rigoros und konsequent aus dem System einer *Klasse-4-Metaphysik* abgeleitet und als solche genauestens definiert werden. Doch das ist weder bei Hayes noch bei Russell/Norvig der Fall. Was bleibt sind größere Unklarheiten, die es gerade zu vermeiden gilt, weil auch die intelligentesten AI-basierten Systeme damit nicht zurechtkommen. Die Problematik der Substanz ist demgegenüber für Bunge unzweifelhaft. Deshalb spricht er auch nicht von Substanzen, sondern im neo-aristotelischen Sinne von Dingen, was in der BWW-TLO direkt übernommen wird, wenn es heißt: »The world is made of things that possess properties«. ⁵⁰⁹⁰ Damit wird deutlich, dass es um einen prinzipiell endurantistischen TLO-Ansatz geht; denn die Prozesse, die es in der BWW-TLO gibt, sind gewiss keine trägerfreien Prozesse. Vielmehr sind sie im neo-aristotelischen Sinne und nach Maßgabe des Bungeschen Materialismus letztlich immer an Materie gebunden, zumindest was die physische Existenzfrage betrifft. Für die Informatik ist eine solche ontologische Perspektive offensichtlich kaum brauchbar. Dabei ist zu beachten, dass die BWW-TLO auch tatsächlich kaum als Bezugsbasis für virtuelle Welten, sondern als solche zur konzeptuellen Modellierung realer, physischer Welten zum Einsatz kommt, um diese realen Welten in Informationssystemen abzubilden. Die BWW-Prozesse sollten also nicht verwechselt werden mit solchen, wie sie etwa für dissipative Systeme kennzeichnend sind. Es besteht hier also eine grundsätzliche Inkommensurabilität, indem die Bungeschen 3D+T Prozesse nicht zu verwechseln sind mit den Prozessen, wie sie AI-Experten wie Russell/Norvig, Hayes oder Sowa in Anlehnung an Whitehead (1929a) zugrundelegen. Für die TLO-Debatte ist es also ein bemerkenswerter Sachverhalt, dass die BWW-TLO etwa mit der Sowa-TLO vollständig inkompatibel ist, indem hinter diesen beiden Ansätzen unmittelbar wie explizit die beiden disparaten Metaphysiksysteme von Bunge bzw. Whitehead stehen. Damit geht es um den alten wie überaus umfassenden Widerstreit zwischen der materialistischen, positivistischen Substanz- bzw. Dingmetaphysik einerseits,

⁵⁰⁹⁰ Vgl. Wand/Wang (1996: 89).

und der antimaterialistischen, strukturalistischen Prozessmetaphysik andererseits. Dabei bedarf es keiner weiteren Ausführungen, welche davon allein CPSS-adäquat ist, indem ihre universale Basis allein eine antimaterialistische wie strukturalistische sein kann. – Doch nicht nur aus diesem Grunde ist die Bungesche Position und mit ihr der neo-aristotelische Zuschnitt der Ontologie insgesamt abzulehnen. Vielmehr gilt dies auch in Bezug auf die physische Realität als solche, was wiederum direkt das U-PLM-Referenzszenario berührt. Tatsächlich sind solche auf Substanzen, Dingen oder Objekte fixierte metaphysische Positionen auch insofern unhaltbar, als es eine Reihe PLM-relevanter Industrien wie die chemische resp. petrochemische Prozessindustrie gibt, deren Wertschöpfungsprozesse sich nicht sachgerecht als 3D-Objekte auffassen lassen. Richtig modelliert sind solche Prozesse mit Pkt. 2.5.1 im PPRLT-Sinne allein auf Basis von 4D-Ereignissen, die 4D-Objekte im Sinne der Reproduktion von Ordnungsmustern erst emergieren lassen. Produktentwicklungs- und -realisationsprozesse werden als Phasen eines Lebenszyklus aufgefasst, der mit einer organismischen Weltsicht bzw. einer *Ontologie des Werdens* korrespondiert. Entsprechend ist das tradierte Objekt-, Ding- bzw. Substanzdenken hier offensichtlich fehl am Platze, da es *Ereignisse* sind, die in *Event Streams* die primäre Kategorie bilden. Vor diesem Hintergrund wenden wir uns mit dem anderen Widerstreit, jenem von *deskriptiver vs. revisionärer Metaphysik* nun der Frage zu, ob Prozessontologien sinnvoll erscheinen können, die jenseits der Prozessmetaphysik stehen. Revisionäre Prozessontologien implizieren letztlich eine Prozessmetaphysik, während das für deskriptive Prozessontologien nicht gilt, indem sie der deskriptiven Metaphysik zuzurechnen sind und damit primär linguistischer bzw. sprachphilosophischer Natur sind. Ihr OE-Ansatzpunkt ist also kein realistischer, sondern vielmehr ein linguistischer. Prozessontologien letzterer Art werden durch Ansätze wie jenen von Seibt (2001a) oder Sider (2001) verkörpert, wobei auch hier die Prozesskategorie nicht kommensurabel ist. Solche deskriptiven Prozessontologien sind zwar das Beste, was die deskriptive Metaphysik zu bieten hat, indem diese Ansätze wissenschaftliche Belange zumindest in den Blick nehmen. Allerdings sind sie letztlich abzulehnen, weil für sie sprachliche, und nicht physische bzw. metaphysische Belange richtungsweisend sind. Das aber ist etwa bei Auftreten von Widersprüchlichkeiten kaum sinnvoll; vielmehr ist die Prozessontologie auch konsequent in den Dienst der Prozessmetaphysik zu stellen, die als revisionäre Metaphysik dem Ratio-Empirismus als erfahrungswissenschaftlichem Korrektiv unterliegt. Damit kommen wir schließlich zur letzten Gruppe, jene der deskriptiven Substanzontologien, die weder revisionäre Metaphysik noch revisionäre Substanzmetaphysik sind. Auch diese letzte, inferiore Gruppe spricht in umfassender Weise von

Ereignissen und Prozessen, doch muss gerade hier genau analysiert werden, was damit gemeint ist bzw. im Rahmen der jeweiligen philosophischen Basis überhaupt gemeint sein kann. Relativ am besten schneidet bei dieser Gruppe die GFO-TLO ab, und zwar deshalb, weil sie die Inadäquanz dieser Position erkennt. Heller/Herre (2003b: 59) halten noch die *Substanzkategorie* für maßgeblich und folgern auf dieser Basis: »thus our view is Aristotelian in spirit«. ⁵⁰⁹¹ In Bezug auf *Prozesse* konstatieren Heller/Herre (2003b: 67): »A process cannot be understood on the basis of its boundaries. Hence, our theory of process-boundaries differs from the stage-theory in the versions of Lewis (1983) and of Sider (2001)«. Somit erfährt die GFO-TLO später einen radikalen Wandel, indem nunmehr explizit eine perdurantistische Position vertreten wird. ⁵⁰⁹² Insofern erscheint es auch notwendig, zwischen *GFO-alt* und *GFO-neu* zu differenzieren, indem eine solche perdurantistische Position mit der alten aristotelischen Perspektive nicht mehr viel gemein hat. Allerdings weiß auch *GFO-neu* nicht zu überzeugen; dieser TLO-Ansatz ist nicht nur mit der Whiteheadschen Prozessmetaphysik inkompatibel, sondern für die Informatik auch insgesamt ungeeignet. Denn die Integration von *Objekten* und *Prozessen*, die dieser Ansatz explizit zu bewerkstelligen sucht, gelingt gerade nicht: *Kontinuanten* können durchaus ontischer Natur sein, wie es auch bei Whitehead (1929a) konzipiert wird. Anders gewendet gibt es Persistenz auch in den *Event Streams* cyber-physischer Systeme, indem sich diese als Reproduktion von Ordnungsmustern bzw. Variablenkonstellationen vollzieht. – Kommen wir an dieser Stelle auf DOLCE und BFO zurück, die mit ihrer großen Verbreitung im Zuge dieser exemplarischen Evaluierung entscheidender sind: Die BFO-TLO markiert jenen TLO-Ansatz, bei dem am deutlichsten auf den Substanzgedanken abgestellt wird, indem explizit von diesem gesprochen wird und die *Substanz* den eigentlichen ontologischen Dreh- und Angelpunkt des gesamten Ansatzes darstellt. ⁵⁰⁹³ Bei DOLCE ist man in dieser Sache geschickter; zwar ist die ontologische Basis die gleiche, insofern es sich ebenfalls um eine Objektontologie handelt. Doch wird bei DOLCE im Gegensatz zur BFO-TLO aus guten Gründen vermieden, explizit an *Substanzen* festzumachen; vielmehr ist die Rede von "*Substantials*", wobei diese jedoch durch die aristotelische Substanzidee inspiriert sind. Der Unterschied besteht darin, dass "*Substantials*" sich allgemeiner konzipiert zeigen als die aristotelische Substanz. ⁵⁰⁹⁴ Wesentlich ist dabei die Aufgabe des aristotelischen Hylemorphismus, was damit gleichzeitig *mögliche Welten* eröffnet, die für DOLCE zentral sind. Demgegenüber werden sie im Zeichen des immanen-

⁵⁰⁹¹ Vgl. Heller/Herre (2003b: 63 ff.); vgl. hierzu auch Herre (2015b: 350).

⁵⁰⁹² Vgl. etwa Herre (2015b).

⁵⁰⁹³ Vgl. etwa B. Smith (2003d: 17).

⁵⁰⁹⁴ Vgl. *ibid.*

ten Realismus der BFO-TLO bzw. ähnlich bei der Bungeschen BWB-TLO strikt abgelehnt. Während nach Maßgabe des Hylemorphismus wie des immanenten Realismus Substanzen immer eine physische Verankerung aufweisen, wird bei DOLCE zwischen physischen und nicht-physischen "*Substantials*" differenziert. Es wäre jedoch in zweifacher Weise verfehlt, dies mit den CPS-Konventionen für vereinbar zu halten, indem der Unterschied zwischen diesen beiden Arten von "*Substantials*" allein daran festgemacht wird, ob sie "direct spatial qualities" aufweisen. Das überrascht insofern nicht, als es sich nicht nur bei den *BFO-Substanzen*, sondern auch bei den *DOLCE-Substantials* um *Enduranten* handelt.⁵⁰⁹⁵ Im Kern sind beide Ansätze also objektzentrisch und in keiner Weise ereigniszentrisch, wie es bei der Whiteheadschen Prozessmetaphysik der Fall ist. Für die Frage der CPSS-Adäquanz wie des Wesens der Prozesskategorie ist diese Feststellung elementar. Vor allem ist zu sehen, dass es bei BFO wie bei DOLCE um *deskriptive* Metaphysiken geht, bei der die *normalsprachliche* Ebene den zentralen OE-Ansatzpunkt bildet und nicht faktische cyber-physische Sachverhalte und reale Zusammenhänge. Die Prozesskategorie ist bei der BFO wie bei DOLCE also nicht nur unter der endurantistischen Maßgabe der eigentlich zentralen *ontischen Substanzen* bzw. *epistemischen Substantials* zu verstehen, sondern genauso unter dem Gesichtspunkt deskriptiver Metaphysik, dem beide TLO-Ansätze verhaftet sind. Die richtige Deutung der Ereignis- bzw. Prozesskategorie ist in beiden Fällen deshalb nicht ganz einfach, weil letztlich beide eine *bi-kategoriale* bzw. *bi-ontologische Theorie* vertreten, wovon bei der BFO-TLO auch explizit die Rede ist.⁵⁰⁹⁶ Allerdings tritt dabei die Problematik der deskriptiven Metaphysik vollends zutage, indem auf Grundlage einer revisionären Metaphysik schnell offenbar ist, dass es unter wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkten unmöglich ist, zwei gänzlich disparate Weltauffassungen in einem kohärenten Weltmodell zu vertreten. Wesentlich ist dabei die Feststellung, dass sich beide *bi-kategorialen* Ansätze nicht etwa auf unterschiedliche Kategorientypen beziehen. Vielmehr geht es jeweils um den gleichen Kategorientypus, nämlich bei DOLCE um epistemische bzw. Kantische Kategorien und bei BFO um ontische bzw. aristotelische Kategorien. Mit Verweis auf Pkt. 3.5 sind unterschiedliche Ontologie- bzw. Kategorientypen in einer einheitlichen Ontologiearchitektur durchaus legitim und auch widerspruchsfrei. Demgegenüber ist es nicht möglich, innerhalb eines einzigen Ontologietypus zwei unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten widersprüchliche Weltauffassungen zu vertreten, wie es bei DOLCE bzw. BFO letztlich der Fall ist. Mit Verweis auf den oben ins Spiel gebrachten Widerstreit von *Substanz-* vs.

⁵⁰⁹⁵ Vgl. Gangemi/Guarino et al. (2002).

⁵⁰⁹⁶ Vgl. Grenon (2003a, 2003b) sowie J. Simon (2004).

Prozessontologie kann man nur eine der beiden Positionen vertreten. BFO und DOLCE sind in dieser Sache nicht nur unklar sondern auch defekt insofern, als sie vorgeben, beides zu sein, also zugleich Substanz- und Prozessontologie. Auf diese Idee können allein deskriptive Metaphysiker kommen, die offenbar meinen, dass sich auf sprachlicher Basis alle physischen Unterschiede nivellieren würden.⁵⁰⁹⁷ Das jedoch ist ein fundamentaler Irrtum, der im Kontext cyber-physischer "*Reality Machines*" nicht nur inakzeptabel ist, sondern in kausaler Hinsicht auch von fataler Konsequenz sein kann. Denn für Anwendungen etwa in der chemischen Prozessindustrie, auf die etwa die BFO-TLO explizit angewandt wird,⁵⁰⁹⁸ ist es natürlich ontologisch entscheidend, wie Prozesse fundamental zu verstehen sind, in welchem Verhältnis sie also genau zu anderen Entitäten stehen. Solche *bi-ontologischen Theorien* führen gewiss zu mehr Nachteilen als zu Vorteilen, indem für die Ontologie nichts problematischer ist als ihr inhärente Unklarheiten und Widersprüchlichkeiten. Insbesondere gehen diese auf zwei letztlich zueinander inkohärente Weltauffassungen zurück. Die elementare Bewandnis dieser These wird besser unter dem Hinweis nachvollziehbar, dass damit ausgesagt ist, dass ein TLO-Ansatz nicht zugleich Substanz- und Prozessontologie sein kann. Während Substanzontologien in einer 3D-Welt verharren, adressieren Prozessontologien mit der vierten Dimension von *Event Streams* die Objektidee gänzlich anders, nämlich im emergentistischen Zeichen ereigniszentrischer Objekte. Man muss sich somit ontologisch entscheiden, entweder für "*furnished rooms*" oder für eine "*Event Driven World*". Man kann jedoch nicht beides unter denselben Kategorientyp fassen, während sich auch der exklusivistische Vierdimensionalismus in keiner Weise mit der Voraussetzung von Objekten widerspricht.⁵⁰⁹⁹ Beide TLO-Ansätze stechen dadurch aus der großen Breite philosophischer wie TLO-bezogener Kategoriensysteme heraus, indem jeweils gleich auf der zweiten Hierarchieebene ihrer kategorialen Taxonomie diese problematische Differenzierung vollzogen wird. Bei DOLCE wird zwischen *Enduranten (3D)* vs. *Perduranten (4D)* differenziert,⁵¹⁰⁰ bei der BFO-TLO zwischen *Kontinuanten (3D)* vs. *Okkurrenten (4D)*. Indessen gibt der Trägergedanke beider TLO-Ansätze diese Differenzierbarkeit gar nicht her,

⁵⁰⁹⁷ Vgl. dazu etwa explizit Pease/Niles (2002a: 66): »Another approach is to argue that, although there are deep theoretical differences between endurantism and perdurantism, these differences would not actually lead to a contradiction in any of the envisioned applications of the standard ontology«. Allerdings kann das allein für solche Anwendungen gelten, die nicht in das Physikmodell der Ontologie eingreifen; für sämtliche CPS-Applikationen ist diese Voraussetzung offensichtlich nicht mehr gegeben.

⁵⁰⁹⁸ Vgl. Little et al. (2008).

⁵⁰⁹⁹ Vgl. dazu Fn. 5139.

⁵¹⁰⁰ Bei DOLCE kommen damit *Universalien* ins Spiel, indem im *Okkurrenten* eine Universalie (Type) erachtet wird, deren Instanzen in Ereignissen als *Einzeldingen* bestehen, vgl. Masolo/Borgo et al. (2003: 16).

womit sie beide grundlegend defekt sind.⁵¹⁰¹ Mit diesem Defekt sind sie entsprechend in fundamentaler Hinsicht CPSS-inadäquat und somit als Ontologien der Informatik abzulehnen. Ungeachtet dessen geht man auch in dieser Hinsicht bei der DOLCE-TLO etwas geschickter vor als bei der BFO-TLO: der Widerspruch bei der BFO-TLO ist insofern ungleich problematischer, als es sich bei ihr im Gegensatz zu DOLCE um eine philosophische Ontologie im klassisch-existentialen Sinne handelt, die streng am immanenten Realismus festmacht. Daraus folgt, dass mit einer *bi-ontologischen Theorie* unter Maßgabe ihres immanenten Realismus davon auszugehen ist, dass es beide Arten von Entitäten auch *realiter* bzw. *ontisch* gibt. Genauso besteht die unterschiedliche Qualität bei dieser Problematik darin, dass die BFO explizit auf *Scientific Ontologies* zielt, während DOLCE sich mit einem ontologischen "*Commonsense*" zufriedengibt. Damit lässt sich entsprechend auch nicht mehr perspektivisch argumentieren, wie es bei der BFO-TLO im Zuge ihres realistischen Perspektivismus versucht wird.⁵¹⁰² Auch wenn diese Inkonsistenz bei DOLCE genauso gegeben ist, kann hier prinzipiell auch auf Basis eines Perspektivismus argumentiert werden, indem es sich um epistemische Kategorien handelt. Genau diese Strategie wenden die DOLCE-Verfechter auch an, indem für sie in der Ontologiefrage nicht dem klassischen Aspekt der realen Existenz die primäre Rolle zugebilligt wird als vielmehr dem Moment der *kognitiven Verzerrung* (cognitive bias). Insofern können sie argumentieren, dass die Differenzierung zwischen *Enduranten* vs. *Perduranten* mit dem zentralen Moment der kognitiven Verzerrung auch vorauszusetzen ist. Gleichzeitig wird explizit darauf hingewiesen, dass damit keinesfalls eine ontologische Verpflichtung auf die Annahme einer *wirklichen Existenz beider Arten von Entitäten* impliziert ist: »this distinction is motivated by our cognitive bias, and we do not commit to the fact that both these kinds of entity 'do really exist'«. ⁵¹⁰³ Während ein solcher Ontologieansatz für Zwecke der Kognitionspsychologie eine Berechtigung besitzen mag, ist die DOLCE-TLO als Ontologieansatz für die Informatik unzweckmäßig und letztlich vollständig irreführend. Denn für Computer als "*Reality Machines*" ist das Moment kognitiver Verzerrung gerade insofern nicht maßgebend, als es sich um exakte, rationale Maschinen handelt, die genauso exakte Weltmodelle erfordern. Anders gewendet ist dies nicht mit dem Präzisionsgedanken von Heavyweight-Ontologien vereinbar; es kann ontologisch nur das repräsentiert werden, was in den einzelnen Welten tatsächlich existiert; und dies muss gerade im W1/W4-Modus empirisch überprüfbar sein. Indessen können dieses Erfordernis die BFO wie DOLCE nicht nur nicht einlösen; vielmehr ist festzustellen, dass es bisher kei-

⁵¹⁰¹ Richtig sind *Kontinuanten* und *Okkurrenten* bei Whitehead (1920) konzipiert, nämlich einheitlich in 4D.

⁵¹⁰² Vgl. dazu etwa B. Smith/Grenon (2004).

⁵¹⁰³ Vgl. Masolo/Borgo et al. (2003: 15).

nen einzigen TLO-Ansatz gibt, der die erforderliche ontologische Klarheit eines globalen Weltmodells bringt, auf dem *cyber-physische "Reality Machines"* problemlos aufsetzen können.⁵¹⁰⁴

Ad (R16) [*Revisionäre Metaphysik – Ratio-Empirismus, Klasse-4-Metaphysik*]: Wie dargelegt, setzt die CPSS-Adäquanz der Ontologie die revisionäre Metaphysik voraus. Dabei handelt es sich prinzipiell um solche Metaphysiken, die auf dem *Ratio-Empirismus* basieren, und damit ein erfahrungswissenschaftliches Korrektiv besitzen. Das erfüllen genau zwei Metaphysikklassen, nämlich die *Klasse-3-Metaphysik*, die positivistisch gerichtete *wissenschaftliche Metaphysik* ist, sowie die *Klasse-4-Metaphysik*, die darüber hinausgehend als techno-wissenschaftliche Metaphysik zu verstehen ist. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass es allein zwei TLO-Ansätze gibt, die unmittelbar auf solchen *revisionären* Metaphysiken aufbauen, nämlich die BWW-TLO mit Bunge als Klasse-3-Metaphysik sowie die Sowa-TLO mit Whitehead als Klasse-4-Metaphysik. Alle anderen TLO-Ansätze sind letztlich als *deskriptive Metaphysiken* zu klassifizieren. Das gilt einschließlich der BORO-TLO, die zwar als 4D-Ansatz technologisch ausgerichtet ist, jedoch mit ihrer metaphysischen Basis in der Klasse-2-Metaphysik der Analytischen Philosophie verhaftet bleibt. Denn hier findet kein *Ratio-Empirismus* systematische Anwendung. Einige TLO-Ansätze, insbesondere die DOLCE-TLO, verstehen sich auch selbst explizit als *deskriptive* Metaphysik.⁵¹⁰⁵ Das gilt analog für die UFO-TLO.⁵¹⁰⁶ Indem sich moderne IoX-Systeme etwa in Form des *Internet of Living Things* (IoLT), des *Internet of Chemical Things* (IoCT), des *Internet of Nano Things* (IoNT), oder bspw. des *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) im ganzen Spektrum des *Internet of Everything* (IoX) bewegen, wird deutlich, dass ihre ontologische Basis im Zeichen des *Ratio-Empirismus* stehen muss und sie insgesamt eine transdisziplinär gültige Basis *revisionärer Metaphysik* einfordern. Denn allein auf dieser Grundlage lässt sich die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* tatsächlich universal begründen, was notwendig ist, wenn im IoX-Hyperspace nicht nur alle Systeme, sondern damit auch alle Ontologien zusammenhängen und wechselwirken. Damit kommen alle TLO-Ansätze nicht als CPSS-adäquate TLO-Theorieanwärter in Frage, die auf einer deskriptiven Metaphysik beruhen. Und das sind wie gesagt nahezu alle Ansätze. Damit ist der Blick auf die beiden TLO-Ansätze revisionärer Art zu

⁵¹⁰⁴ Das gilt auch für die Sowa-TLO ungeachtet ihrer Whitehead-Rezeption in der Hinsicht, dass weder die ratio-empirischen Zusammenhänge näher thematisiert werden oder in jener, dass nicht strikt zwischen disparaten Welttypen differenziert wird, insbesondere auch nicht streng zwischen aktuellen und möglichen Welten. Zudem fehlt der Sowa-TLO jeder Zugang zu einem cyber-physischen *Sense-and-Respond Model*, wie es eine IoX-adäquate Ontologie indessen voraussetzen hat. Neben der mangelnden CPSS-Adäquanz gilt analoges mit Blick auf die fehlende MAS/CAS-Adäquanz.

⁵¹⁰⁵ Vgl. Guarino/Welty (2000a: 99): »It fits therefore the paradigm of *descriptive metaphysics*, whose goal is to provide a framework in which the world *as perceived by us* can be analyzed and described«.

⁵¹⁰⁶ Vgl. Guizzardi/Wagner et al. (2015).

richten. Zunächst ist kritisch festzustellen, dass weder für die BWW-TLO noch für die Sowa-TLO das Moment des *Ratio-Empirismus* selbst ausschlaggebend ist, was jedoch mit Blick auf die Wissensrepräsentation im Spektrum von *Scientific Ontologies* bzw. technologischer Ontologien keinesfalls abwegig ist. Vielmehr geht eine transdisziplinäre KR-Praxis Hand in Hand mit einer revisionären Metaphysik. Daraus folgt, dass die BWW-TLO wie die Sowa-TLO in dieser Hinsicht nicht den eigentlichen Anforderungen revisionärer Metaphysik genügen. Denn mit Bunge und Whitehead ist explizit zu fragen, worin konkret eine empiristische Universalsynthese besteht bzw. wie die allgemeinste Theorie konkret zu verstehen ist. Dabei führt kein Weg an der *Theorie komplexer Systeme* als *ratio-empirischer Mittler* vorbei, die dabei insbesondere für die Informatik als Strukturwissenschaft unabdingbar ist. So gesehen bauen die BWW-TLO wie die Sowa-TLO zwar auf revisionären Metaphysiken auf, praktizieren sie jedoch nicht sachgerecht. Denn das ist nur dann der Fall, wenn die Kategorien systematisch auf Basis der Komplexitätsforschung hinterfragt werden, wobei mit Verweis auf Pkt. 4.3 insbesondere der *Theorie zellulärer Automaten* und *Complex Adaptive Systems* (CAS) eine grundlegende Rolle zukommt, indem sie für die sachgerechte Weltauffassung der Informatik wegweisend sind. Zweifellos sind davon auch die TLO-Kategorien unmittelbar berührt, womit die Kritik an den beiden revisionären TLO-Theorieanwärtinnen unterstrichen ist. – Für diese empiristische Universalsynthese sind neben den Erfahrungswissenschaften insbesondere auch zentrale Überlegungen H.A. Simons zentral, indem auch Simons (1969) *Sciences of the Artificial* mit einzubeziehen sind. Simon (1995a) sieht dabei auch die AI-Disziplin als *empirische Wissenschaft*, womit auch sie selbst in dieser Universalsynthese Berücksichtigung finden muss. Das korrespondiert mit dem Gedanken von Simons (1962) *Architecture of Complexity*, denn Komplexität ist hier – im Gegensatz zu Bunge – nicht an einen materialistischen Standpunkt gebunden, sondern sie ist als technologische Komplexität gerade unabhängig davon konzipiert. Insofern sind all diese Überlegungen Simons für eine universale Ontologie Cyber-physische Systeme von außerordentlicher Relevanz. Denn damit wird deutlich, dass die sachgerechte Metaphysik der Informatik in keiner Weise in Bunges Klasse-3-Metaphysik bestehen kann, womit auch die BWW-TLO als geeigneter TLO-Theorieanwärtin entfällt. Es bleibt damit die Sowa-TLO, die als einziger TLO-Ansatz unmittelbar auf der *Klasse-4-Metaphysik* Whiteheads (1929a) aufbaut. Doch wie dargelegt wird diese an sich richtige metaphysische Basis bei ihm in verschiedener Hinsicht nicht sachgerecht in die *Top-level Ontologie* transformiert. Die CPS-Problematik wird bei Sowa (2000) nicht berücksichtigt; zwar beginnt die eigentliche IoT-Thematik erst etwa mit Gershenfeld (1999a), allerdings findet sich eine pro-

zessmetaphysische KR-Verknüpfung bereits bei Lambert (1996), und sie ist mit Lambert (1999) auch genau im Sinne des *Ubiquitous Computing* gedacht. Lamberts (1999) *Ubiquitous Command and Control Systems* (UC²) verkörpern als ubiquitäre Netzwerkstrukturen bereits einige grundlegende IoT-Ideen, insbesondere hinsichtlich der Sensorik und Aktorik. Entsprechend überrascht es nicht, wenn sich die zentralen Aspekte um die Sensorontologien und der darauf aufbauenden höheren Informationsfusion (HLIF) bereits bei Lambert finden, bei dem sie im militärischen Kontext behandelt werden.⁵¹⁰⁷ Dabei wird mit Blick auf *R15* bzw. *R23* eine 4D-Position verfochten, die im Zusammenhang mit den physikalischen Bedingungen physischer Kontexte militärischer Situationen steht; Lamberts »Mephisto framework embraces a perdurantist standpoint and so treats every thing as a process«.⁵¹⁰⁸ Demgegenüber bringt die Sowa-TLO weder die Komplexitätsforschung als ratio-empirischen Mittler richtig ins Spiel, noch verdeutlicht sie im Zeichen des Ratio-Empirismus, warum Ereignisse die zentrale Kategorie der *Top-level Ontologie* repräsentieren müssen oder warum insgesamt eine 4D-Position in der Ontologieforschung einzunehmen ist. Im Zeichen Cyber-physischer Systeme fehlt die Auseinandersetzung mit der Sensorik wie dem *Ubiquitous Computing*, womit Lambert (1996, 1999) über Sowa (2000) maßgeblich hinausgeht. Entsprechend lassen sich die meta-ontologischen Aspekte auch nicht sachgerecht auf Basis von Sowa (2000) entwickeln, indem der IoX-Gedanke fehlt. In prozessmetaphysischer Hinsicht wäre dann Lambert (1996, 1999) vorzuziehen, der jedoch keinen eigentlichen TLO-Ansatz offeriert.

Ad (R17) [*Digitalmetaphysik – Cyberworlds, Computing Universe, Platonismus*]: Cyber-physische Systeme (CPS) betreffen nicht nur die Realitätsaspekte, sondern verlangen auch eine adäquate Konzeption von *Cyberworlds* an sich, die ebenso ein universales Verständnis einfordern, was schließlich zu Zuses (1982) *Computing Universe* führt. Auch bei diesem Universum geht es um die fundamentalen Strukturen, also um Metaphysik und damit um *Digitalmetaphysik*, wie sie etwa Steinhart (1998) thematisiert. Die grundlegendste Erkenntnis dabei ist diese: es geht um das Leibniz-Whiteheadsche Automatenuniversum, das primär ein platonistisches Universum ist. Insofern kann die TLO-Konzeption nicht allein auf aristotelischem Gedankengut stehen, das letztlich allein positivistisch ist. Vielmehr muss es im Zeichen des *Platonismus* um ein *intelligibles Universum* gehen, das ein *logico-mathematisches Universum* ist. Vor diesem Hintergrund lässt sich die CPSS- bzw. IoX-Adäquanz der einzelnen TLO-Ansätze wie folgt umreißen: TLO-Ansätze, die wie die BFO-TLO oder die BWW-TLO einseitig einer neo-aristotelischen Position verschrieben sind, können für eine CPSS-adä-

⁵¹⁰⁷ Vgl. D.A. Lambert (2001, 2003, 2006, 2007).

⁵¹⁰⁸ Vgl. D.A. Lambert/Nowak (2008: 6).

quate Ontologie per se nicht in Frage kommen. Bei DOLCE sowie der GFO handelt es sich um Mischansätze; die Basis von DOLCE sowie von GFO-alt ist zwar im Kern eine aristotelische; allerdings weisen beide TLO-Ansätze darüber hinaus platonistische Momente auf. Während die BFO in fundamentaler – wenn nicht gar in fundamentalistischer – Weise realistisch ist,⁵¹⁰⁹ zeigt sich die DOLCE-Ontologie auch hier durch eine Verknüpfung heterogener Positionen charakterisiert: zum ersten zeichnet sie sich durch eine methodisch fundamentale *konzeptualistische* Natur aus, zum zweiten geht dieser Konzeptualismus Hand in Hand mit einem *platonischen Realismus*,⁵¹¹⁰ und schließlich zum dritten vertritt DOLCE einen *Modalen Realismus*, bei dem explizit auf D.K. Lewis (1983, 1986b) rekurriert wird, und somit letztlich auch durch DOLCE eine Spielart des *ontologischen Realismus* vertreten wird. DOLCE ist dabei auch insofern als platonistischer Ansatz zu werten, als im Gegensatz zu BFO auch das semantische Netz als solches als relevanter bzw. existentieller Teil der Ontologie verstanden wird. Mit den platonistischen Positionen wird deutlich, dass bei DOLCE mehr Metaphysik im Spiel ist als es die offizielle Fixierung auf die deskriptive Metaphysik vermuten lässt. Natürlich handelt es sich beim platonischen Realismus wie beim Modalen Realismus um dezidiert *metaphysische* Positionen. Mit dem Rekurs auf die Metaphysik von Lewis (1983, 1986b), die durch Bunge unter wissenschaftstheoretischen Gesichtspunkten vehement bekämpft wird, zeigt sich nochmals der konfliktäre Gegensatz zwischen DOLCE und BWB; analoges muss letztlich auch in Bezug auf die BFO-TLO konstatiert werden. Demgegenüber ist auch in dieser Sache die Sowa-TLO im Grundsatz mit ihrem Rekurs auf Whitehead (1929a) richtig konzipiert.

Ad (R18) [*Agenten- bzw. MAS-Adäquanz, heterogene Agentenarchitektur*]: Zunächst ist festzustellen, dass Agenten in einigen Ontologieansätzen praktisch keine fundamentale Rolle spielen, wie es etwa für die BFO- oder die BWB-TLO zu konstatieren ist. Andere Ansätze, etwa Russell/Norvigs *4D Upper Ontology*, stehen demgegenüber im Kontext von Agenten, was allerdings nicht heißt, dass die Ontologiearchitektur auch tatsächlich darauf ausgelegt ist. Das gilt in gleicher Weise für die DOLCE-TLO, indem Ferrario/Oltramari (2005) zwar die prinzipielle Agentenorientierung von DOLCE herausarbeiten, jedoch eine tatsächliche MAS-Adäquanz nicht gegeben ist. Das ändert sich auch nicht dadurch, dass MAS-basierte Ansätze wie ADACOR im HMS-Kontext auf die DOLCE-TLO referenzieren. Analoges gilt für die UFO-TLO, deren prinzipielle Agentenorientierung Baiôco et al. (2009) herausarbeiten. Um jedoch zu evaluieren, inwiefern eine Ontologiekonzeption tatsächlich der *Agenten- bzw. MAS-Adäquanz*

⁵¹⁰⁹ Vgl. Grenon (2003a, 2003c).

⁵¹¹⁰ Vgl. Guarino (1995).

entspricht, ist zunächst mit *RI* wiederum auf das Ontologieverständnis an sich zu verweisen. Handelt es sich dabei um eine *metaphysische* Ontologie, wie sie die Bungesche BWW-TLO verkörpert? Oder handelt es sich um eine *Wissensontologie*, wie sie etwa die Cyc-TLO oder die SUMO-TLO im Sinn hat? Oder geht es bei der Ontologie demgegenüber drittens um eine *integrierte metaphysische Wissensontologie*, wie sie mehr oder weniger durch die Sowa-TLO praktiziert wird? Indem die *Agenten- bzw. MAS-Adäquanz* vor dem Hintergrund der CPSS-Adäquanz zu klären ist, muss somit auch das hier relevante Ontologieverständnis mit Blick auf diese festgelegt werden. Dann kann es allein um eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* gehen. Für diese gilt, dass die Ontologiearchitektur entsprechend in beiden Hinsichten, also im Hinblick auf die metaphysische Ontologie wie im Hinblick auf die Wissensontologie dem Aspekt der *Agenten- bzw. MAS-Adäquanz* zu entsprechen hat. Demnach lässt sich in Bezug auf die metaphysische Ontologie konstatieren, dass es allein *einen* TLO-Ansatz gibt, der unter dem metaphysischen Gesichtspunkt als agentenadäquat gewertet werden könnte. Das ist die Sowa-TLO, indem diese partiell auf der Metaphysik Whiteheads (1929a) aufbaut. Indessen ist festzustellen, dass das hier relevante Whiteheadsche Moment des *Subjekt-Superjekts* bei Sowa keine Rolle spielt. Insofern ist die metaphysische *Agenten- bzw. MAS-Adäquanz* selbst bei der Sowa-TLO nicht richtig gegeben. Dennoch liegt auch hier die Whiteheadsche Metaphysik im Gegensatz zur Bungeschen grundsätzlich richtig. Denn in der Metaphysik Bunges (1977a) fehlt das zentrale *Subjekt-Superjekt*, womit diese kaum eine geeignete metaphysische Basis für agentenbasierte AI-Systeme stellen kann. Das gilt umso mehr, als es gerade dieses Moment ist, das die Adaption vollzieht. Insofern ist nicht nur die MAS-Adäquanz, sondern in Bezug auf einen endogenisierten Adaptionsgesichtspunkt auch die CAS-Adäquanz der darauf gründenden BWW-TLO deutlich in Zweifel zu ziehen. Demgegenüber gilt in Bezug auf die Wissensontologie, dass eine *MAS-Adäquanz* der Ontologiearchitektur zwingend eine Differenzierung von Ontologietypen impliziert, die gemäß der CYPO-Architektur mit Pkt. 3.5 eine Vierteilung vorsieht. Weder die Sowa-TLO noch ein anderer TLO-Ansatz gewährleistet eine solche MAS-adäquate Ontologiearchitektur in wissensontologischer Hinsicht.

Ad (R19) [*Cognitive Computing und hybride Agentenarchitektur*]: Indem keiner der TLO-Theorieanwörter über eine MAS-adäquate Ontologiearchitektur verfügt, ist bei ihnen auch keine hybride Agentenarchitektur angelegt, die gleichzeitig an deliberativen wie an reaktiven Momenten festmacht. Das ist nur dann möglich, wenn die Ontologiearchitektur zwischen globalen und lokalen Weltmodellen differenziert und ihre Interaktion zulässt, was jedoch bei keinem TLO-Ansatz angelegt ist. Ferner muss dann auch die Sensorik mit dem Ontologieaspekt ver-

koppelt sein, was jenseits der ersten Versuche bei DOLCE bei kaum einem TLO-Theorieanwärter gegeben ist. Auch in dieser Sache sei auf CYPO FOX in Pkt. 3.5 verwiesen. Indessen steht außer Frage, dass eine hybride Agentenarchitektur in einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* auf einem perzipierenden *Subjekt-Superjekt* aufbauen muss. Zwar ist eine TLO-Referenz im Bereich *Robotics and Automation* (R&A) nichts ungewonliches, jedoch verweist diese etwa im Fall CORAX mit SUMO auf den falschen TLO-Ansatz.⁵¹¹¹ Denn dieser ist als linguistischer 3D-Ansatz CPSS-inadäquat.

Ad (R20) [*Ontology-driven Complex Event Processing (OCEP) / Big Data Analytics (RTBDA)*]: Eine echte IoX-Kompatibilität ist nur gegeben, wenn auch eine CEP- bzw. SCEP-Kompatibilität der TLO-Theorieanwärter erfüllt ist. Dazu aber sind eine Reihe meta-ontologischer Dispositionen erforderlich, etwa die Orientierung an der Sensorik sowie an 4D-Event Streams. Es bedarf entsprechend einer umfassenderen Reflexion um etwa die *"complex events"*, die die BWW-TLO explizit vorsieht,⁵¹¹² unter dem Aspekt ihrer tatsächlichen IoX-Kompatibilität richtig einschätzen zu können. Tatsächlich verkörpert die Bunge Ontologie dezidiert eine endurantistische Ontologie; entsprechend kann auch keine Kompatibilität der *"complex events"* der BWW-TLO mit dem CEP-Ansatz gegeben sein. In der Tat sind BWW-Events immer tragergebunden, während dies für CEP-Ereignisse nicht zutreffend ist, da sie sich keineswegs auf Zustandsänderungen von Dingen beschränken. Vielmehr beziehen sie sich prinzipiell auf eine 4D-basierte eigenständige Ereigniskategorie, die es bei Bunge bzw. der BWW-TLO gar nicht gibt. Ferner erstrecken sich CEP-Events auf Basis virtueller Sensoren auch auf Cyberwelten, ggf. gar auf mögliche Welten, die ausnahmslos weder materiell noch überhaupt tragergebunden sind. Auch in dieser Hinsicht ist die BWW-TLO damit als CPSS-inadäquat zu werten. Wenn demgegenüber Schumacher et al. (2011) die *Upper Cyc Ontology (UCO)* im Kontext IoT-basierter Logistiksysteme als *Top-level Ontologie* ins Spiel bringen, ist dies nicht nur aus dem Grunde zu kritisieren, als der UCO-Ansatz lediglich einfachem *Common Sense* entspricht, der nicht als CPSS-adäquat gewertet werden kann. Vielmehr ist Cyc UCO auch insofern als CPSS-inadäquat einzustufen, als sich die Ereignisse immer nur auf materielle Entitäten (*Tangibles*) beziehen und dem Ansatz insgesamt ein klares Physikmodell fehlt. Relativ am umfassendsten wird DOLCE auf IoX-Kontexte bezogen, während dies bei der BFO aus bekannten Gründen kaum der Fall ist. DOLCE wird nicht nur durch M. Underwood et al. (2015: 357) explizit als IoT-Referenzbasis ins Spiel gebracht, sondern steht auch als Referenzbasis von ADACOR im Kontext

⁵¹¹¹ CORAX verbindet in Bezug auf *fundamentale Kategorien* CORA und SUMO, vgl. Fiorini et al. (2015).

⁵¹¹² Vgl. Kiwelekar/Joshi (2010).

der IoX-basierten *Smart Factory*. Darüber hinaus ist sie in Form von DOLCE+DnS Ultralight (DUL) Referenzbasis der W3C *SSN Sensor Ontology*, die für IoX-Kontexte eine zentrale Relevanz besitzt. Allerdings ist bislang noch nicht systematisch untersucht worden, inwiefern DOLCE tatsächlich dem Kriterium der CPSS-Adäquanz gerecht wird. Schon aufgrund der vorstehenden Ausführungen ist dabei evident, dass auch DOLCE CPSS-inadäquat ist. Demgegenüber liegt die Sowa-TLO zwar mit ihrer metaphysischen Basis richtig, doch stellt sie an sich weder auf die Sensorik noch dezidiert auf komplexe IoX-Systeme ab.

Ad (R21) [*Universalien, Tropen, Konzepte*]: Aspekte wie *Universalien* oder *Tropen* spielen in naiven Ontologiekonzeptionen keinerlei Rolle; diese basieren lediglich auf *Konzepten*. Tatsächlich sind indessen die unterschiedlichsten Kategorien für die Top-level Ontologie unabdingbar, und das nicht nur mit Blick auf die mit Pkt. 6.3 intendierte *Superintelligenz* der dritten AI-Generation. Vielmehr ist zu sehen, dass komplexe IoX-Systeme zunehmend in einem wissenschaftlichen Zusammenhang stehen bzw. diese auch für die Technopraxis eine fundamentale Rolle spielen. Wenn komplexe IoX-Systeme mit Verweis auf Pkt. 1.1 etwa in Form des *Internet of Living Things* (IoLT), des *Internet of Chemical Things* (IoCT), des *Internet of Nano Things* (IoNT), oder bspw. des *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) in Erscheinung treten, muss auch die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* mit *Scientific Ontologies* umgehen können. Das gilt umso mehr, als im Zeichen der *IS/KS-Kombination* die unterschiedlichsten Ontologiestrukturen zunehmend miteinander verschmelzen. Das TLO-Inkommensurabilitätsproblem besteht auch in dieser Sache in fundamentaler Weise. Bspw. gilt für die GFO-TLO: »The most important types of categories are concepts, which are basic constituents of terminological systems«,⁵¹¹³ was in IS-Kontexten auch richtig ist. Dennoch gilt dieser Grundsatz für die BFO-TLO gerade nicht, die demgegenüber auf den KS-Kontext ausgelegt ist: für sie sind nicht Konzepte zentral, sondern Universalien. Alles, was nach Maßgabe der BFO-TLO existiert, alle Entitäten lassen sich unterteilen in Universalien (universals) einerseits und Einzeldinge (Particulars) als deren Instanzen (instances) andererseits.⁵¹¹⁴ Die BFO-TLO konstituiert sich dabei wesentlich über diesen Gegensatz.⁵¹¹⁵ Konzepte werden durch die BFO demgegenüber im elementaren Unterschied etwa zur GFO-TLO oder zu DOLCE rigoros abgelehnt.⁵¹¹⁶ Demnach ist es konsequent, wenn für die BFO das Ziel bzw. die Natur der Ontologie in nichts an-

⁵¹¹³ Vgl. Herre (2010c: 374).

⁵¹¹⁴ Vgl. B. Smith (2013).

⁵¹¹⁵ Vgl. Jansen (2008a), Arp/Smith (2011) sowie B. Smith (2012a: 115; 2012b).

⁵¹¹⁶ Vgl. hierzu B. Smith (2006a, 2008d).

derem als in der *Realitätsrepräsentation* besteht.⁵¹¹⁷ Gemäß dem BFO-Verständnis ist es Aufgabe der Ontologie, die Wissenschaften bei der Repräsentation der Realität zu unterstützen.⁵¹¹⁸ Die BWV-TLO ist ähnlich wie die BFO im Zeichen des gemeinsamen immanenten Realismus auf Universalien fixiert, differenziert diese jedoch sachgerechter. Auch für die BORO-TLO spielen Universalien eine wichtige Rolle. Sie klassifiziert Entitäten nach folgendem ontologischen Bezugsrahmen: (i) »Individuals are four-dimensional extensions«, (ii) »Universals (general things) are classes« sowie (iii) »Possibility is described in terms of possible worlds«. ⁵¹¹⁹ Damit wird wiederum eine völlig andere Position vertreten als bei der BFO und BWV-TLO, bei denen es weder *mögliche Welten* noch einen *exklusivistischen Vierdimensionalismus* gibt. Die Positionen bei DOLCE sind komplizierter, da Guarinos Ansatz eine *doppelte Top-level Ontologie* vorsieht: es handelt sich einmal um eine *Top-level Ontologie der Einzeldinge*, und einmal um eine *Top-level Ontologie der Universalien*, die beide ausdrücklich voneinander getrennt werden.⁵¹²⁰ Genauer gesagt geht es bei Guarino um zwei distinkte, aber einander ergänzende Top-level Ontologien. DOLCE beschränkt sich dabei auf die *Ontologie der Einzeldinge* und zeichnet sich dementsprechend auch durch eine Orientierung an *Einzeldingen* (Particulars) aus: DOLCE ist somit »an ontology of instances, rather than an ontology of universals or properties«. ⁵¹²¹ Somit handelt es sich um einen ganz anderen Typus von Ontologie als etwa die BFO-TLO, die sich an *Universalien* orientiert. Diese Unterschiede sind letztlich gerade mit Blick auf wissenschaftliche Ontologien elementar und sollten entsprechend nicht unterschätzt werden. Denn hinter diesen Ontologien stehen vollkommen disparate methodologische Ansätze, die sowohl erkenntnistheoretisch als auch bei der Organisation des Wissens letztlich von außerordentlicher Relevanz sind. Gemäß DOLCE sind sowohl *abstrakte* als auch *konkrete* Entitäten zulässig.⁵¹²² Das ist von entsprechender Konsequenz für das Verständnis konkreter Entitäten, wenn Gangemi/Guarino/Oltramari (2001: 287) konstatieren: »Note that an individual can be concrete without being necessarily *real*, or *actual*: Peter Pan is not real but is concrete, since (in some possible world) it must have a physical location«. BFO verfolgt in der Universalienfrage einen strengen *immanenten Realismus*, während DOLCE im expliziten Rekurs auf D.K. Lewis (1983) hier dem *Modalen Realismus* folgt,⁵¹²³ mit dem Lewis prinzipiell die gerade für Smithens *Scientific Ontology* unabdingbare empirische

⁵¹¹⁷ Vgl. B. Smith (2008b).

⁵¹¹⁸ Vgl. Jansen (2008a: 85).

⁵¹¹⁹ Vgl. Partridge (2002c: MC1-119).

⁵¹²⁰ Vgl. hierzu Guarino (1997a, 1997c).

⁵¹²¹ Vgl. Mascardi et al. (2007).

⁵¹²² Vgl. hierzu Gangemi/Guarino/Masolo/Oltramari (2001).

⁵¹²³ Vgl. etwa Guarino/Welty (2000a).

Bezugsbasis verlässt. Auch hier stehen beide TLO-Ansätze, die allgemein noch als vergleichsweise ähnlich gelten, in einem fundamentalen Gegensatz. Die Problematik besteht jedoch nicht nur im Inkommensurabilitätsproblem als solchem, sondern vor allem auch darin, dass es in der Informatik keine Ontologiearchitektur gibt, die überhaupt verschiedene Existenzbegriffe zulässt. Allein schon in der Universalienfrage kommt man nicht umhin, zwischen dezidierten Welttypen zu unterscheiden und auch in dieser Sache läuft alles bei genauerer Analyse auf eine Ontologiearchitektur hinaus, wie sie CYPO FOX verkörpert. Demnach erklären sich die unterschiedlichen Universalienpositionen gerade von BFO und DOLCE dadurch, dass BFO im Husserlschen W2-W1-Sinne auf die Welt 1 fixiert ist, während der Schwerpunkt von DOLCE im ODIS-Sinne eher in der Welt 3 liegt. Smithens Universalien sind als *Typen* W1-Universalien; Guarinos Universalien hingegen W3-Universalien. Die Universalien zielen bei Smith als Typenontologie auf *Scientific Ontologies*, während sie bei Guarino im ODIS-Zeichen stehen. Insbesondere auf Ebene der Anwendungsontologien sind solche Systeme individuell bzw. partikulär, was erklärt, dass Universalien bei DOLCE im grundsätzlichen Gegensatz zur KS-orientierten BFO gar nicht im Fokus stehen. Die fundamentalen Unterschiede setzen sich bei der insbesondere durch Quine thematisierten Reifikationsfrage fort,⁵¹²⁴ indem beide TLO-Ansätze auch in dieser Sache als inkommensurabel zu werten sind:⁵¹²⁵ Während reifizierte Universalien für BFO charakteristisch sind, finden sie sich bei DOLCE nicht.⁵¹²⁶ Vielmehr wird umgekehrt die Ansicht vertreten: »The possibility of talking of qualia as particulars rather than reified properties is another advantage of our approach«. ⁵¹²⁷ Schließlich macht auch die UFO-TLO wesentlich an Universalien fest und bezieht sich darüber hinaus auf die in Pkt. 6.2.3 erwähnten *Momente* bei Husserl.

Ad (R22) [*Aktualismus, Possibilismus*]: Wie Wyssuseks (2006b: 143) "*fairy ontology*" offenbart, ist bei der Gruberschen Ontologiekonzeption völlig unklar, ob eine Ontologie sich auf aktuelle oder mögliche Welten bezieht. Es sollte nachvollziehbar sein, dass Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* nicht auf solchen missverständlichen Ontologien gründen können. Top-level Ontologien bilden einen richtigen Schritt, um dieses Problem zu lösen, allerdings sind die aktuellen TLO-Ansätze davon noch ein gutes Stück entfernt. Zunächst ist festzustellen, dass das TLO-Inkommensurabilitätsproblem auch gerade in dieser

⁵¹²⁴ Vgl. etwa Quine (1980: 102 ff.; 1995: 27 ff.).

⁵¹²⁵ Vgl. zum Streit in der Reifikationsfrage etwa A. Kaplan (1964: 61): »Reification is more than a meta-physical sin, it is a logical one. It is the mistake of treating a notational device as though it were a substantive term, what I have called a construct as though it were observational, a theoretical term as though it were a construct or indirect observable«.

⁵¹²⁶ Vgl. Masolo et al. (2003).

⁵¹²⁷ Vgl. Masolo et al. (2003: 17, Fn. 20).

Hinsicht besteht, indem es TLO-Ansätze gibt, die mögliche Welten im Zeichen des klassischen philosophischen Existenzbegriffs vehement ablehnen (BWW, BFO), während es andere TLO-Ansätze gibt, die diese zulassen (DOLCE, Sowa, BORO 4D-Ontology, Russell/Norvigs *4D Upper Ontology*). Wieder andere wie Pease/Niles (2002a) sind demgegenüber bzgl. der Frage der Voraussetzung *möglicher Welten* unentschlossen. Für AI-Experten steht dabei außer Frage, dass *mögliche Welten* einen unabdingbaren Bestandteil eines *situativen Ontologieverständnisses* bilden,⁵¹²⁸ wie es im Kontext von kognitiver Robotik wie generell im CPS-Kontext für Planungszwecke bzw. zum Durchspielen situativer Szenarien zugrundezulegen ist. In Bezug auf das TLO-Inkommensurabilitätsproblem kommt erschwerend hinzu, dass selbst die aktualistisch orientierten TLO-Ansätze sowie die possibilistischen TLO-Ansätze jeweils untereinander grundverschieden sind. Bspw. nehmen bestimmte Konzeptionen möglicher Welten wie DOLCE auf den *Modalen Realismus* von D.K. Lewis (1983) Bezug,^{5129, 5130} andere hingegen genauso explizit nicht. Bspw. bezieht sich Sowa (2000) bei seiner Diskussion *möglicher Welten* direkt auf Leibniz;⁵¹³¹ demgegenüber gerade nicht auf D.K. Lewis.⁵¹³² Darüber hinaus ist festzustellen, dass allenfalls die BORO-TLO das Problem erkennt,⁵¹³³ sauber zwischen aktuellen und möglichen Welten zu differenzieren. Eine Ontologiearchitektur, die dies systematisch gewährleistet, gibt es hingegen nicht. Für autonome AI-Systeme ist dieser Umstand als überaus problematisch zu werten; eine CPSS-adäquate Ontologie muss vielmehr strikt zwischen aktuellen und möglichen Welten differenzieren, während andererseits sicherzustellen ist, dass diese jederzeit in beiden Richtungen miteinander zu verkoppeln sind. Wie oben angedeutet, unterscheiden sich die BFO-TLO und DOLCE auch in dieser Frage maßgeblich; denn die BFO lässt keinerlei Fiktionen, nichts real Nichtexistierendes, und entsprechend auch keine möglichen Welten zu.⁵¹³⁴ DOLCE als *Ontologie der Einzeldinge* bezieht – wie bei Gruber (1993, 1995) *mögliche Welten* und damit Fiktionen wie die Mythologie explizit mit ein. Für Guarino (1997c: 57) gilt: »The general perspective I have in mind is that of Formal Ontology [...], which can be intended as the theory of formal distinctions between the possible elements of a domain, independently of their actual reality«. Indem nicht zwischen verschiedenen Welttypen differenziert wird, ist eine solche ontologische Praxis unter wissenschaftlichem bzw. wissenschaftstheoretischem Gesichtspunkt

⁵¹²⁸ Vgl. hierzu etwa Sowa (2003).

⁵¹²⁹ Vgl. Guarino/Welty (2000b).

⁵¹³⁰ Der *Possibilismus* bei DOLCE basiert auf der Modallogik vom Typ S5.

⁵¹³¹ Vgl. hierzu auch Sowa (1984).

⁵¹³² Sowa (2003) baut vielmehr auf der *modalen Ontologie* Kripkes auf.

⁵¹³³ Vgl. Partridge (2002c) sowie West (2011: 113 ff.).

⁵¹³⁴ Vgl. B. Smith (2012a: 100).

höchst problematisch, womit DOLCE auch – sicher nicht zu Unrecht – entsprechende Fundamentalkritik durch Smith/Ceusters (2010: 181) oder Arp/Smith/Spear (2015: 39) erfährt. Bezüglich des Modalen Realismus, der durch DOLCE befürwortet wird, wiegt auch die in Pkt. 3.1 dargelegte scharfe Kritik Bunes schwer und sie ist in der Tat nicht von der Hand zu weisen: für wissenschaftliche Ontologien bzw. solche, die sich im Sinne von Referenzontologien an der Idee objektiven Wissens orientieren, kann es kaum zweckmäßig sein, auf einer Ontologiekonzeption aufzusetzen, die den *Modalen Realismus* als gesetzt sieht. Indessen erfolgt die Anwendung von DOLCE in Ontologiefragen regelmäßig völlig unkritisch; insofern ist die Kritik von Smith et al. bzw. Bunge auch berechtigt. In der Tat ist DOLCE als Basis von *Scientific Ontologies* nicht zu legitimieren, insbesondere wenn diese in den realen CPS-Kontexten wie z.B. im Zuge der Fundierung des Physikmodells zum Einsatz kommen. Das gilt umso mehr, als es für Zwecke der Realisierung einer universalen Ontologie völlig abwegig ist, mögliche Welten auf der extremsten aller Possibilismusvarianten gründen zu lassen. Insgesamt ist im Widerstreit *Aktualismus vs. Possibilismus* zu konstatieren, dass es beider Modi bedarf und sie jeweils deutlich zu differenzieren sind. Für *Scientific Ontologies* bedarf es *aktueller Welten*, die auch streng aktualistisch auszulegen sind. In dieser Sache der strengen Realitätsrepräsentation kann die BFO-TLO entsprechenden Aufschluss geben. Genauso bedarf es jedoch einer Reihe verschiedenster möglicher Welten, bis hin zur Fiktion. Eine integrierte Ontologiekonzeption kommt mit Verweis auf Pkt. 3.5 entsprechend nicht umhin, strikt zwischen verschiedenen Welttypen mitsamt von Subtypen zu unterscheiden. Das gilt umso mehr, als das Fehlen einer klaren Trennung von Objekten aktueller und solchen möglicher Welten, wie sie von Gruber bis Sowa gegeben ist, die Stabilität autonomer bzw. vollautomatischer AI-Systeme in erheblicher Weise unterminieren kann.

Ad (R23) [*Vierdimensionalismus bzw. Perdurantismus, inklusive 4D-Common Sense*]: Das TLO-Inkommensurabilitätsproblem ist insofern vor allem auch durch den Widerstreit *Endurantismus vs. Perdurantismus* bedingt als dieser unmittelbar das jeweilig zugrundeliegende Physikmodell betrifft, das mindestens implizit bzw. rudimentär gegeben ist. Damit steht außer Zweifel, dass dieser Aspekt zuvorderst die CPSS-Adäquanz berührt. Die "*New Physics*" bilden im Sinne dissipativer Systeme eine perdurantistische Physik, die im Zeichen des *Vierdimensionalismus* um Ereignisse und entsprechende Ordnungsmuster zentriert ist. Diese Maßgabe erfüllen die meisten TLO-Ansätze jedoch nicht, indem es sich dezidiert bzw. prinzipiell um *endurantistische* TLO-Ansätze handelt. Das trifft auf die BFO-, die OCHRE- oder die DOLCE-TLO genauso zu wie auf die GFO-alt sowie die BWW-TLO. Und auch für die UFO-TLO gilt: »UFO is a ref-

erence ontology of endurants«.⁵¹³⁵ Obschon Pease/Niles (2002a) die Inkonsistenzproblematik des *Endurantismus* gewahr ist, setzen Niles/Pease (2001b) auch für die SUMO-TLO eine 3D-Objektorientierung voraus, wobei die Begründung fragwürdig ist und bei ihnen auch gewisse Zweifel zu bestehen scheinen. Diese hat die GFO-TLO bereits ausgeräumt. Zunächst favorisieren Heller/Herre (2003) in der frühen GFO-Fassung (GFO-alt) noch einen reinen *Endurantismus*;⁵¹³⁶ dieser wird später in ein explizites "3D+T" transformiert,⁵¹³⁷ mit dem Ziel, Objekte und Prozesse zu integrieren.^{5138, 5139} Demgegenüber wird in der späteren GFO-Fassung (GFO-neu) auf eine 4D-Ontologie bzw. den *Perdurantismus* umgeschwenkt,⁵¹⁴⁰ wobei jedoch eine zusätzliche, rein epistemische Berücksichtigung von 3D-Objekten im Zeichen des *Common Sense* eingeräumt wird. Indem es sich ursprünglich um einen neo-aristotelischen Ansatz handelt, ist dieses Umschwenken gewiss kein einfacher Akt; vielmehr handelt es sich letztlich um eine Totaltransformation der GFO-TLO, indem sich schon die Verhältnisbestimmung von Ereignissen und Objekten im Whiteheadschen Sinne genau umkehrt. Demgegenüber gibt es eine Reihe perdurantistischer Alternativen, die indessen zueinander genauso inkommensurabel sind wie die endurantistischen TLO-Ansätze untereinander. Zu den *perdurantistischen* TLO-Ansätzen gehört die BORO-TLO (ISO 15926), die explizit eine *metaphysische* 4D-Ontologie verkörpert. Bei der *BORO 4D-Ontology* wird entsprechend genauso explizit von einer perdurantistischen "*foundational ontology*" bzw. "*upper level*

⁵¹³⁵ Vgl. Guizzardi/Zamborlini (2013: 287); vgl. ähnlich Guizzardi (2005: 12, 211).

⁵¹³⁶ Vgl. Heller/Herre (2003b: 62).

⁵¹³⁷ Vgl. Herre/Heller (2006: 109).

⁵¹³⁸ Vgl. Herre/Heller (2006: 107).

⁵¹³⁹ Es erscheint gemeinhin (vgl. bspw. die fragwürdigen wie problematischen Positionen der BFO-, DOLCE- oder GFO-alt-TLO) unklar, dass ein exklusivistischer Vierdimensionalismus neben *Ereignissen* auch *Objekte* vorsehen kann (und sollte), wie es bei Whitehead faktisch auch der Fall ist. Das widerspricht auch keiner physikalischen Theorie, wenn *Objekte* als *ereignisbasierte Reproduktion von Ordnungsmustern* verstanden werden, wie es auch der Whitehead-Quineschen *Pixeltheorie* entspricht: In der Tat visualisieren Computer in Cyberwelten *Objekte*, hinter denen letztlich nichts anderes als die Reproduktion solcher Ordnungsmuster steht. Bei 1-Bit pro Pixel gilt, dass das Pixel entweder den Schaltzustand "on" oder "off" aufweisen kann, womit es um *Signale* bzw. *Sequenzen von Signalen*, mithin um *Ereignisse* geht. Wie A. Mukhopadhyay (1968) im Kontext der *Theorie zellulärer Automaten* zeigt, bildet jedes *Signal* bzw. jede *Sequenz von Signalen* ein *Ereignis*, was letztlich auf Whiteheads (1925) *zelluläre Organismen* zurückgeht und im Zeichen *Boolescher Netzwerke* bzw. darauf aufbauend in jenem von Shannons *Switching Circuits* zu verstehen ist. Damit lässt sich einfach nachvollziehen, dass *Objekte* in der Digitalmetaphysik als *ereigniszentrische Objekte* zu verstehen sind. Insofern besteht dann auch keinerlei notwendiger Gegensatz zwischen dem *Common Sense* und dem exklusivistischen Vierdimensionalismus, was genau der Position von Hayes' *Naïve Physics* entspricht. Diese steht als Position des *Common Sense* unmittelbar auf Basis der 4D-basierten Whiteheadschen Prozessmetaphysik. Was für die Digitalmetaphysik gilt, ist im cyber-physischen Zusammenhang genauso für die techno-wissenschaftliche Metaphysik und damit insgesamt für die *Klasse-4-Metaphysik* zutreffend, was die informationstheoretische Interpretation der Quantentheorie mit Wheeler, C.F. von Weizsäcker und anderen im wissenschaftlichen Zusammenhang genauso zeigt wie Einsteins Relativitätstheorie. Analoges gilt etwa mit Verweis auf die M2M-Kommunikation bzw. die Kybernetik in technologischer Hinsicht, da auch diese auf Signalen bzw. Bits und damit letztlich auf *Ereignissen* basiert.

⁵¹⁴⁰ Vgl. Herre (2015b).

ontology" gesprochen. Dabei baut die *BORO 4D-Ontology* auf verschiedenen Prozessontologien der Analytischen Philosophie auf, die in Pkt. 5.7 diskutiert worden sind. So bezieht sich Partridge (1996) auf die 4D-Prozessontologie M. Hellers (1990), während West (2003, 2004) oder Stell/West (2004) auf die Prozessontologie von Sider (1996a, 1997, 2001) rekurrieren. Dieser Bezug auf die jüngere Analytische Philosophie ist demgegenüber bei anderen perdurantistischen TLO-Ansätzen nicht gegeben. Russell/Norvigs *4D Upper Ontology* halten es vielmehr mit Hayes' *Naïve Physics*, die ihrerseits wiederum auf die 4D-Prozessmetaphysik Whiteheads (1929a) zurückreicht. Darauf gründet auch der Vierdimensionalismus der Sowa-TLO. Bei der DOLCE-TLO wie bei der BFO-TLO liegen die Dinge wie erwähnt nicht ganz so einfach, indem es sich mit Verweis auf *R15* um *bi-kategoriale* bzw. *bi-ontologische Theorien* handelt. Entsprechend ist vielfach, etwa bei Aameri (2012), die Einordnung der BFO-TLO wie in dieser Sache verwandter Ansätze vollends unklar und hier entsprechend aufzuklären. Im Kern handelt es sich dabei gewiss ebenfalls um *endurantistische* Ansätze; in frühen Fassungen vertritt Guarino auch explizit einen 3D-Ansatz.⁵¹⁴¹ Bei den Einzeldingen differenziert DOLCE zwischen *Enduranten* und *Perduranten*; bei den Enduranten wiederum zwischen *physischen* Enduranten und *nichtphysischen* Enduranten, womit sich bereits zeigt, dass sich die eigentlich beabsichtigte Neutralität gegenüber Existenzaussagen nicht durchgängig aufrechterhalten lässt. Enduranten sind im Sinne von *Objekten* oder *Substanzen* zu verstehen.⁵¹⁴² Wesentlich ist jener Aspekt, der genauso für die BFO-TLO bzw. die OCHRE-TLO gilt, nämlich dass auch bei DOLCE Enduranten lediglich in Perduranten partizipieren – soweit man dieser fragwürdigen Sprachregelung mit Masolo/Borgo et al. (2003: 16) folgen mag: »In DOLCE, the main relation between endurants and perdurants is that of participation: an endurant 'lives' in time by participating in some perdurant(s). For example, a person, which is an endurant, may participate in a discussion, which is a perdurant«. Damit handelt es sich in solchen Partizipationsfällen um nichts anderes als um ein "3D+T", jedoch in keiner Weise um 4D-Entitäten, wie zuweilen der Eindruck erweckt wird. Das Verhältnis zwischen Enduranten und Perduranten ist bei DOLCE das der *Teilhabe*: ein Endurant "lebt" gemäß des DOLCE-Ansatzes in der Zeit, indem er an einem bzw. mehreren Perduranten partizipiert: Hier wird konkret auf das Beispiel abgestellt, dass eine Person als Endurant an einer Diskussion als Perdurant partizipiert. Genauso sei das Leben einer Person ein Perdurant, indem eine Person über ihren gesamten Fortbestand an diesem Leben

⁵¹⁴¹ Vgl. etwa Borgo/Guarino/Masolo (1996, 1997).

⁵¹⁴² Vgl. etwa Mika et al. (2004).

partizipiere.⁵¹⁴³ Oberle (2006: 99) liefert analog das Beispiel, dass eine Softwarekomponente als Endurant an *ihrem* Lebenszyklus als Perdurant partizipiere; metaphysisch problematisch ist dabei, dass es sich dabei jeweils um Entitäten handelt. Objekte oder Personen als Substanzen, die *eine* Entität darstellen, *besitzen* einen Lebenszyklus, wie es etwa bei Bunge/Mahner (2004) ausführlich dargelegt wird. D.h. dieser objektbezogene Lebenszyklus lässt sich nicht als gesondert abgegrenzte Entität, also als eine Entität *für sich* behandeln. Es lässt sich damit insgesamt festhalten, dass in Bezug auf *R23* allein die Sowa-TLO grundsätzlich richtig konzipiert ist, indem sie auf einem ratio-empirisch begründeten Vierdimensionalismus aufbaut, der im Zeichen der Whiteheadschen *Klasse-4-Metaphysik* cyber-physisch gelten kann, indem diese sowohl techno-wissenschaftliche Metaphysik wie auch Digitalmetaphysik ist. Allerdings fehlt der Sowa-TLO jenseits des richtigen Fundaments auch in dieser Hinsicht der sachgerechte ontologische Überbau. Demgegenüber sind alle führenden TLO-Ansätze, also BFO, DOLCE, UFO, SUMO, Cyc und BWW in dieser Sache grundsätzlich falsch konzipiert und für eine IoX- bzw. CPSS-adäquate Ontologie genauso unhaltbar wie die Grubersche Ontologiekonzeption. Diese Feststellung hat es in sich, denn letztlich wird schon an der Nichteinlösung dieser Anforderung *R23* deutlich, dass die Informatik gegenwärtig *keinerlei* tragfähige bzw. zukunfts offene ontologische Basis besitzt, während mit Pisanelli et al. (2002) alle IT-basierten Systeme auf Ontologien gründen bzw. aufbauen sollten.

Ad (R24) [*Situationsbezogenheit/Situiertheit (Situativeness)*]: Die Situationsbezogenheit der Ontologie korrespondiert mit der Voraussetzung möglicher Welten. Insofern überrascht es nicht, wenn die BORO-TLO sowie DOLCE zu den situativen TLO-Ansätzen zu zählen sind. Bei DOLCE gibt es die *Ontology of Descriptions and Situations* (D&S bzw. DnS) als Plugin zur Kontextualisierung. Indessen geht es hier vor allem um situativen Wandel bei internen Prozessen,⁵¹⁴⁴ wie er im ODIS-Zusammenhang steht. Auf den universalen SAW- bzw. CAW-Zusammenhang *Cyber-physischer Systeme* (CPS) zielen die bisherigen TLO-Ansätze hingegen nicht ab. Dies würde auch wiederum mit *R14* eine *IS/KS-Kombination* erfordern und den Rekurs auf *Scientific Ontologies* mit einbeziehen. Auf solche ontologischen Kombinationen in situativen Kontexten sind die gegenwärtigen TLO-Ansätze nicht ausgelegt, womit sie auch für die Realisierung der mit Pkt. 6.3 intendierten *Superintelligenz* der dritten AI-Generation in keiner Weise wegweisend sein können. Universalisiert man jedoch Haeckels (1995, 1999) *Sense-and-Respond Model*, wie es für das *Internet of Everything* (IoX)

⁵¹⁴³ Vgl. Masolo/Borgo et al. (2003: 16).

⁵¹⁴⁴ Vgl. etwa Partridge (1996).

unabdingbar ist, dann ist genau diese ontologische Kombinationen in wandelnden situativen Kontexten für die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* wie damit für die TLO-Konzeption als universaler Referenzbasis zu fordern. Davon ist der gegenwärtige TLO-Forschungsstand jedoch noch ein gutes Stück entfernt, indem es dann um prozessuale Struktur- bzw. Ordnungsmuster gehen muss.

Ad (R25) [*MAS – Selbstorganisation, Kreativität, endogener Wandel*]: Die Kategorien der Wissensontologie lassen sich allein dann richtig bestimmen, wenn Klarheit über das metaphysische Weltmodell besteht. MAS-Agenten sind im IoX-Hyperspace selbst Teil *Cyber-physischer Systeme* (CPS) bzw. des jeweiligen Diskursuniversums. Insofern muss sich zum einen ihre *Selbstorganisation* bzw. die *Kreativität* im metaphysischen Modell widerspiegeln, zum anderen hat dieses den Wandel zu endogenisieren. Es steht außer Frage, dass alle linguistischen TLO-Ontologieansätze an diesem Erfordernis genauso scheitern wie alle TLO-Ansätze, die sich darüber hinausgehend als deskriptive Metaphysiken verstehen. Selbst im Kontext der revisionären Metaphysik bereitet dieses Erfordernis Probleme. So genügt Bunge selbst die BWW-TLO in dieser Hinsicht nicht. Bunge (1990b: 593) kritisiert Wand/Webers Annahme, »that a system in a stable state can only change as a result of some external event«; für ihn gilt vielmehr: »I suppose that it may also change as a result of its internal dynamics«. Allerdings liegen Wand/Weber in der Interpretation des Bungeschen Ansatzes letztlich richtig, insbesondere dann, wenn maschinelle Agenten Einfluss auf *Cyber-physische Systeme* (CPS) nehmen. Denn gerade in dieser Sache ist der Bungesche Ansatz für die Zwecke der Informatik unpassend bzw. ontologisch unhaltbar. Demgegenüber folgt aus der Endogenisierung des Wandels in Bezug auf die Wissensontologie die Notwendigkeit, diese in eine Ontologiearchitektur zu betten, die neben der "*belief revision*" auch insgesamt ein *Ontology Learning* eröffnet. Auch in dieser Sache ist wiederum festzustellen, dass die Sowa-TLO als einziger TLO-Ansatz auf dem richtigen Fundament aufbaut, ihm allerdings der entscheidende MAS/CAS-bezogene ontologische Überbau fehlt.

Ad (R26) [*WI/W4 – Semantic E-Science, objektives Wissen, ontische Kategorien*]: Cyber-physische Systeme (CPS) verlangen als autonom in realen Welten agierende AI-basierte Systeme mit ihren *maschinellen* Agenten in einem erheblich anderen Maß nach exaktem, rigoros geprüften objektiven Wissen, als es für menschliche Agenten ohnehin selbstverständlich ist. Handeln maschinelle Agenten in realen Welten tatsächlich autonom, dürfen ihre Weltmodelle keinerlei Inkohärenzen aufweisen; vor allem dürfen keinerlei Widersprüche zwischen verschiedensten Weltmodellen auftreten bzw. muss in solchen Fällen unmittelbar feststellbar sein, welche Ontologie superiores, d.h. methodologisch geprüftes Wissen repräsentiert. Die traditionellen methodologischen Prüfmechanismen, wie sie der

Kritische Rationalismus verkörpert, werden damit im Kontext von Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* wie auch im Kontext der *Semantic E-Sciences* wichtiger denn je. Denn es steht außer Frage, dass die Informatik schlecht beraten wäre, etwa wissenschaftlich genutzte komplexe IoX-Systeme wie das *Internet of Chemical Things* (IoCT), das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) oder das *Internet of Living Things* (IoLT) auf *Common Sense Ontologien* basieren zu lassen. Vielmehr ist offensichtlich, dass die Informatik ein dezidiert aufeinander abgestimmtes System wissenschaftlicher, technologischer wie praktischer Ontologien erfordert, deren Über- und Unterordnungsverhältnis im Vorhinein und damit prinzipiell zu klären ist. Bei einer solchen Hierarchisierung insbesondere von Domänenontologien ist evident, dass *Scientific Ontologies* die Spitze bilden, an die technologische Ontologien anschließen, auf die wiederum praktische Ontologien anknüpfen können. Vor diesem Hintergrund der *Semantic E-Sciences* ist somit evident, dass die Ontologiearchitektur in ihrem Kategoriensystem bei *ontischen Kategorien* beginnen muss, die in einem direkten Zusammenhang zur techno-wissenschaftlichen Klasse-4-Metaphysik stehen, die zugleich Digitalmetaphysik ist. Entsprechend stellt sich die Frage, um welche Art *objektives Wissen* maschinelle Agenten in *Cyber-physischen Systemen* (CPS) zurückgreifen können müssen, wobei mit *objektivem Wissen* im Gegensatz zu einem objektivierten bzw. intersubjektiven Wissen der Technopraxis hier allein streng methodologisch geprüftes *wissenschaftliches Wissen* gemeint ist. Unter Hinweis auf die durch Poppers Drei-Welten-Lehre inspirierte CYPO FOX kommen mit Pkt. 3.5 dabei zwei Arten von objektivem Wissen in Betracht. Das ist zum einen solches, das sich auf *natürliche Systeme* (W1) bezieht, zum anderen solches, das auf *soziale Systeme* (W4) und damit auf die Interaktion von Agenten abstellt. Beide Welttypen bauen zwar auf der gleichen ereigniszentrischen Metaphysik auf und es lassen sich die gleichen ratio-empirischen Mittler der Komplexitätsforschung auf beide Welten anwenden. Dennoch bestehen Unterschiede insofern, als die Welt 4 auf den Artefakten der Welt 3 aufbaut, also etwa auf Institutionen, Regeln usw., sowie eine Dynamik aufweist, die wiederum mit den Dispositionen der Agenten der Welt 2 unmittelbar zusammenhängen. Insofern sind die Welt 2, die Welt 3 sowie die Welt 4 unmittelbar als kausaler Komplex verwoben. Demgegenüber lässt sich die Welt 1 zunächst allein als solche erschließen, während auch hier regelmäßig kausale Rückwirkungen zu allen anderen Welten, insbesondere zur Technopraxis der Welt 3 bestehen, die man als Eingriffe in die Natur verstehen kann. – Darin besteht der Hintergrund, ohne den eine TLO-Evaluierung in Bezug auf die CPSS- bzw. IoX-Adäquanz einschließlich ihrer Eignung zur Fundierung der *Semantic E-Sciences* nicht zu bewerkstelligen ist. Vor diesem Hintergrund, der sich für

den Anspruch *universaler Ontologie* der TLO-Ansätze kaum anders darstellen kann, werden die umfassenden Defizite und Defekte, die alle bisherigen TLO-Theorieanwärter auszeichnen, nochmals offensichtlich. Diese liegen zuvorderst darin begründet, dass es bei der Top-level Ontologie zwar wesentlich um die Frage der Wissensrepräsentation geht, jedoch im TLO-Kontext in keiner Weise die Frage nach der *Natur des Wissens* gestellt wird. Allerdings ist diese in der Grundlegung einer CPSS-adäquaten Informatik, die Computer als kausal in die Realität eingebettete *cyber-physische "Reality Machines"* zum Gegenstand hat, ausdrücklich zu stellen. Bewegt man sich auf dieser Ebene, auf der die TLO-Debatte gewissermaßen zu beginnen hat, wird deutlich, dass sich die gesamte TLO-Forschung letztlich noch in einem primitiven Stadium befindet. Das heißt allerdings nicht, dass die Arbeit an den bisherigen TLO-Theorieanwärtern als wertlos zu verstehen wäre. Das ist sie ganz und gar nicht, weil sich erst auf einem breiten Spektrum an TLO-Theorieanwärtern, wie es heute besteht, die mitunter vertrackte TLO-Debatte sachgerecht führen lässt. Denn das Für und Wider einzelner meta-ontologischer Dispositionen kann erst anhand der einzelnen TLO-Ansätze illustriert werden. Dennoch ist festzustellen, dass kein einziger der bestehenden TLO-Theorieanwärter mit Blick auf das Zusammenspiel verschiedenster Ontologien, gerade solcher wissenschaftlicher, technologischer und praktischer Natur, als zukunftsfruchtig erachtet werden kann. Das liegt nicht nur an der fehlenden integrierten Ontologiearchitektur, sondern auch daran, dass sie mit ihren Kategorien und ihren Weltmodellen schlichtweg nicht dem Stand der heutigen Wissenschaften entsprechen. Diese sind erst dann richtig verstanden, wenn sie mit Mitteln der Komplexitätsforschung erschlossen werden, die heute sämtliche Disziplinen transzendiert. Wendet man sich den einzelnen TLO-Ansätzen vor der Frage einer CAS-adäquaten W1/W4-orientierten Wissensrepräsentation zu, stellt sich ein ernüchterndes Bild dar. Dieses geht primär darauf zurück, dass jenseits von Ausnahmefällen sämtliche Ontologiekonzeptionen völlig einseitig auf die Repräsentation von Alltagswissen (common sense knowledge) fixiert sind, was für ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis völlig unzureichend ist. Dieses Defizit betrifft nahezu sämtliche TLO-Ansätze, etwa die Chisholm-TLO, die DOLCE-TLO, die Cyc-TLO oder die SUMO-TLO, wobei es unter diesen Ansätzen wiederum unterschiedliche Qualitäten des Alltagswissens gibt. Am besten gestaltet sich dieses noch bei Russell/Norvigs *4D Upper Ontology*, weil diese auf einem wissenschaftlich orientierten *Common Sense* aufbaut, indem sie auf die *Qualitative Process Theory* bzw. auf die *Naïve Physics* von Hayes zurückgreift. Allerdings ist dieser Common Sense nicht mit einem solchen zu verwechseln, der tatsächlich streng hierarchisch von *Scientific Ontologies* abgeleitet ist. Das ist die richtige Richtung, die sich jedoch

gegenwärtig nicht realisieren lässt, weil ein in sich geschlossenes, transdisziplinäres System von *Scientific Ontologies* fehlt, das tatsächlich auch dem Stand der Wissenschaften gerecht wird. Im Grunde gibt es drei TLO-Theorieanwärter, die Aussicht darauf haben könnten, als Referenzbasis für *Scientific Ontologies* fungieren zu können. Das ist die BWW-TLO, insofern sie an Bunge's *Scientific Realism* orientiert ist, die Sowa-TLO, insofern sie Whiteheads kritischem Realismus verschrieben ist, sowie die BFO-TLO, die selbst ausdrücklich auf *Scientific Ontologies* zielt. Ergänzend ist auf die Position McCarthys (2000) zu verweisen, der das Quinesche Ontologieverständnis favorisiert, wobei Quines Empirismus gerade wiederum als Kritik der "*common man's ontology*" zu verstehen ist,⁵¹⁴⁵ also ebenfalls als Kritik am Common Sense. Allerdings eint all diese TLO-Ansätze allenfalls das als inferior erachtete Alltagswissen, während sie im Einzelnen ein völlig anderes Verständnis von dem besitzen, was unter einer *Scientific Ontology* zu verstehen ist. Kurz gefasst ist das bei der BWW-TLO ein Ratio-Empirismus, der als Klasse-3-Metaphysik bei Bunge auf einem überaus eigenwilligen Physikmodell steht, das mit der *New Physics* als inkompatibel erachtet werden muss. Bei der BFO-TLO gelten die Restriktionen des aristotelischen immanenten Realismus und ein 3D-Substanzzentrismus, der ebenfalls mit der *New Physics* als inkompatibel zu erachten ist. Bei Quine läuft dies auf einen *mathematischen Naturalismus* hinaus, der zwar mit der Whiteheadschen Position und damit auch mit der *New Physics* kompatibel ist, jedoch aufgrund seines strengen Empirismus genauso wie die beiden vorgenannten Positionen nicht für die Repräsentation von H.A. Simons (1969) AI-basierten *Sciences of the Artificial* in Frage kommen kann, obschon auch diese durch Simon teils explizit als *empirische* Wissenschaften erachtet werden.⁵¹⁴⁶ Daneben beschränkt sich der Transdisziplinaritätsgedanke bei Quine auf die reine Mathematik, während es bei ihm weder den *Ratio-Empirismus* noch die empiristische Universalsynthese wissenschaftlicher Metaphysik gibt, die für ein cyber-physisches Wissensverständnis jedoch ebenfalls unerlässlich erscheinen muss. So ist etwa auch die Informatik als Strukturwissenschaft mehr, als Quine ihr letztlich in seinem mathematischen Strukturalismus zubilligen könnte. So hat die Informatik zunächst an den tatsächlichen cyber-physischen Strukturen anzusetzen und bedarf somit auch eines universalen Weltmodells, wie es Whitehead (1925, 1929a) mit seinen *zellulären Organismen* im strukturalistischen Sinne seiner techno-wissenschaftlichen Metaphysik entwickelt. Insofern bliebe allein die auf Whitehead aufsetzende Sowa-TLO als Theorieanwärter, der tatsächlich zur sachgerechten Repräsentation von *Scientific Ontologies* in Frage kommen könnte. Allerdings

⁵¹⁴⁵ Vgl. hierzu etwa Quine (1977: 183).

⁵¹⁴⁶ Vgl. dazu H.A. Simon (1995a).

weiß Sowa diese positiven Voraussetzungen nicht richtiggehend zu nutzen, indem er weder die Ontologietypen mit Blick auf die Inferiorität des *Common Sense* sauber differenziert noch *Scientific Ontologies* überhaupt als solche adressiert. Allerdings erkennt Sowa zumindest – im Unterschied zu den meisten anderen TLO-Ansätzen – die Notwendigkeit, zwischen *belief* und *knowledge* zu unterscheiden.⁵¹⁴⁷ Doch bezieht sich Sowa dabei weder auf die eigentlich notwendige Differenzierung von subjektivem und objektivem Wissen, noch wird die disparate *Natur des Wissens* im wissensontologischen Sinne an einer weltstrukturbezogenen *Theorie des Wissens* festgemacht. In gewisser Weise wird daher mit seiner Monoweltenontologie auch eine *Monostruktur des Wissens* vorausgesetzt. Dabei lässt sich gerade im Sinne der Werke Leibnizens und Whiteheads, auf die Sowa rekurriert, unmittelbar auf sowohl disparate metaphysische Welten wie im Sinne Poppers auf damit verbundene disparate Wissenswelten schließen. Hier lässt sich etwa die Notwendigkeit von Poppers Differenzierung des W1- und W2-Typus etwa mit Leibnizens *Monadenerception* genauso folgern wie bspw. mit Whiteheads *subjektivistischem Subjekt-Superjekt*, das der Natur immanent ist. Indem bei Sowa Überlegungen hinsichtlich der *Scientific Ontologies* fehlen, kann durch ihn auch nicht das Verhältnis von wissenschaftlichen und technologischen Ontologien adressiert werden, das jedoch für den Aufbau eines Systems von Referenzontologien ein ganz wesentliches ist. Mit Blick auf ihre große Verbreitung sei abschließend in dieser zentralen Sache noch auf die DOLCE-TLO sowie die BFO-TLO eingegangen: wie bereits dargelegt, fußt DOLCE bewusst nicht auf ontischen, sondern im Kantischen Sinne auf epistemischen Kategorien. Allerdings sind sie damit weder CPSS-adäquat noch lässt sich darüber das Inkommensurabilitätsproblem aus der Ontologiearchitektur entfernen. Darüber hinaus ist DOLCE zur Repräsentation von W1- und W4-Ontologien, also von wissenschaftlichen bzw. empirisch gerichteten Ontologien ungeeignet, da dieser TLO-Ansatz keine für wissenschaftliche Ontologien adäquate *Truthmaker* breithält. Insgesamt wird DOLCE zu wenig dem Gesichtspunkt von Newell/Simon (1976) bzw. H.A. Simon (1995a) gerecht, wonach AI eine *Empirical Science* ist, wobei diese im Sinne Simons an objektivem Wissen festmacht. Mit Blick auf die *Semantic E-Science* kann gar von einem fundamentalen Defekt gesprochen werden. Die BFO-TLO ist mit Blick auf *Scientific Ontologies* zwar bedeutend besser aufgestellt als DOLCE, doch sind auch hier schwerwiegende Defizite und Defekte zu konstatieren: Der große Vorteil von BFO gegenüber DOLCE in Bezug auf *Scientific Ontologies* ist zunächst im Ontologieverständnis als solchem zu sehen. Denn das BFO-Ontologiekonzept ist durch und durch auf *öffentliche*, auf gemeinsame Wissensteilung

⁵¹⁴⁷ Vgl. Sowa (2000: 379 ff.).

und Standardisierung abstellende Ontologien geprägt, also etwa auf die *Scientific Ontologies* der OBO-Foundry. Demgegenüber steht das DOLCE-Ontologiekonzept unter einem gänzlich anderen Gedanken, der sich mit der ODIS-Orientierung auf einen privaten Ontologiekontext bezieht. Dieser läuft entsprechend auf eine nicht-öffentliche Wissensteilung hinaus, die sich im bloßen Konsens der jeweilig Beteiligten organisieren lässt. Das spiegelt sich auch darin wider, dass DOLCE eine *Top-level Ontologie der Einzeldinge* verkörpert, und nicht wie BFO eine *Top-level Ontologie von Universalien*. Man könnte also geneigt sein zu sagen, dass der Aspekt der *Scientific Ontology* die große Stärke der BFO-TLO ausmacht, während er die große Schwäche von DOLCE markiert. Relativ gesehen ist dies so, auch mit Blick auf den Aspekt der *Truthmaker*, der bei BFO entsprechend auch im Gegensatz zu DOLCE dezidiert auf den Gedanken der öffentlichen Teilung von *Scientific Ontologies* zielt. In dieser Sache liegt Smith (1992b: 519) zumindest insofern auf einer Linie mit Popper (1972a), als er im Zeichen von *Common Sense-Meinungen* genauso wenig bereit ist, eine *Konsenstheorie der Wahrheit* zu akzeptieren, die für die DOLCE-Verfechter unproblematisch ist. Smith stellt zu Recht fest, dass eine These noch lange nicht deswegen wahr ist, weil alle sie akzeptieren. Eine CPSS-adäquate Ontologie kann etwa in physikalischer Hinsicht in dieser Sache gar nicht anders disponieren, was umgekehrt die CPSS-Inadäquanz von DOLCE impliziert. Allerdings ist dabei zu beachten, dass Smithens methodologische Position nichts mit der Popperschen gemein hat, welche jedoch als die richtige zu werten ist.⁵¹⁴⁸ Während es bei Popper gerade um das im Zuge *methodologischer* Wissenschaftspraxis vom Subjekt abgelöste *objektive Wissen* geht, bleibt bei Smith im psychologischen Sinne Brentanos wie im phänomenologischen Sinne Husserls und Schülern das Subjekt im Fokus. Denn das Prinzip zur Herstellung von Objektivität ist bei Smith kein methodologischer Falsifikationsprozess sondern vielmehr ganz offiziell das Prinzip der *Veridikalität*, das ein *kognitionswissenschaftliches* bzw. mit Hogarth (1980) ein *psychologisches* Moment markiert und insofern auch einen *epistemologischen*, nicht methodologischen Begriff verkörpert. Dabei zielt die Veridikalität (von lat. *veridicus*: "wahr, durch Erfahrung bestätigt") auf die Tatsache bzw. den erfüllten Grad realitätsgerechter, wirklichkeitsentsprechender Wahrnehmung genau *eines spezifischen* Subjekts. Smithens Rede von *Scientific Ontologies* sollte entsprechend nicht auf eine Ebene gehoben werden etwa mit dem BWW-relevanten methodologischen Anspruch Bunges, der im Kern mit dem Popperschen korrespondiert. Schließlich bleiben in

⁵¹⁴⁸ Zumindest überträgt B. Smith (1992a, 1996a) das Poppersche Falsifikationsprinzip auf den Apriorismus und versucht somit einen "*fallibilistischen Apriorismus*" zu begründen. Allerdings bezieht sich dieser spezifisch auf die *ökonomische* Realität, konkret auf das *a priori* der Österreichischen Schule, vgl. B. Smith (1992a: 268); vgl. hierzu auch B. Smith (1990, 1994).

W1/W4-Hinsicht zwei Fundamentalprobleme: das erste besteht in der gerade auch durch die BFO-TLO sowie DOLCE verkörperte Idee der *deskriptiven Metaphysik* als solcher, indem Heils (2003: 189) Kritik gilt: »the linguistic tail wagging the ontological dog«. Sie bildet damit das genaue Gegenteil des *Ratio-Empirismus* und damit einer streng erfahrungswissenschaftlich verankerten *revisionären Metaphysik*, was mit Blick auf echte *Scientific Ontologies* einen grundlegenden Defekt darstellt. Denn wissenschaftliche Probleme direkt mit den Mitteln der Alltagssprache angehen zu wollen, ist mit Blick auf die mangelnde Exaktheit der Normalsprache keine gute Idee. Es sei nur auf die verkehrte Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis verwiesen, die nichts anderem als der Grammatik der Alltagssprache geschuldet ist und somit die Realitätssphäre in wissenschaftlicher Hinsicht quasi von vornherein falsch bestimmt. Insofern scheitern als deskriptive Metaphysiken entwickelte TLO-Ansätze auch an einer Realitätsrepräsentation im Sinne objektiven Wissens. Während das erste Fundamentalproblem sämtliche TLO-Ansätze mit Ausnahme der revisionären BWW- und Sowa-TLO betrifft, gilt das zweite Fundamentalproblem tatsächlich für alle bestehenden TLO-Ansätze: ihnen allen ermangelt es an einer ausdifferenzierten Ontologiearchitektur, die der eigentlichen *Natur des Wissens* gerecht wird, wobei zwischen wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien zu differenzieren ist.

Ad (R27) [*W2 – Belief Systems, subjektives Wissen, epistemische Kategorien*]: Cyberphysische Systeme (CPS) beziehen sich regelmäßig auf AI-Systeme, die in vernetzten Strukturen in Interaktion mit anderen AI-Systemen autonom agieren bzw. reagieren. Das können intelligente Maschinen in der *Smart Factory* sein, global verteilte intelligente Dinge, etwa PEID-Produkte usf. Immer sind solche Systeme als agentenbasierte Systeme zu verstehen, die in ihrer Vernetztheit den MAS-Gedanken und somit in Adaptionshinsicht den CAS-Gedanken implizieren. Insofern hat eine CPSS-adäquate Ontologiearchitektur zwingend W2-Ontologien vorauszusetzen, die als Agentenwelten zu verstehen sind, die sich hinsichtlich aktueller, möglicher wie fiktionaler Welten mittels Subtypen weiter ausdifferenzieren lassen. Diese W2-Ontologie entspricht zwar prinzipiell den *Belief Systems* der klassischen AI-Tradition, jedoch mit dem entscheidenden Unterschied, dass sie in einem ganzen System von Ontologien mit anderen Ontologietypen wechselwirkt. Damit geht es zugleich um die Wechselwirkung unterschiedlicher Kategorientypen, die jedoch auf die gleiche *Top-level Ontologie* referenzieren. Denn der W2-Typus basiert auf *epistemischen Kategorien*, während die W1- und W4-Ontologietypen *ontische* Kategorien verkörpern, die wiederum auf die Poppersche abgestufte Realitätsauffassung rekurrieren. Das betrifft damit insbesondere die *Natur des Wissens*, indem subjektives Wissen

(W2) mit objektivem Wissen (W1, W4) bzw. objektiviertem Wissen resp. Artefakten (W3) wechselwirkt. Das betrifft auch die *W2-W3-Transformation* des Kritischen Rationalismus (R33). Entsprechend ist im CYPO-Ansatz der ebenfalls in der AI-Forschung gängige Gedanke der "*belief revision*" nicht ein beliebiger, sondern er ist mit Verweis auf die in Pkt. 3.5 dargelegte *Vier-Welten-Architektur* genau zu bestimmen, indem die Prozesse einer solchen "*belief revision*" genau zu spezifizieren sind. Dabei kann sich diese in dreifacher Hinsicht darstellen: in Form eines *W2/W1-Abgleichs* (R29), eines *W2/W3-Abgleichs* (R30) oder eines *W2/W4-Abgleichs* (R31). Indem die *Belief Systems* der klassischen AI-Tradition solche systematischen Abgleiche in einem TLO-referenzierenden System von Referenzontologien nicht eröffnen, wird nochmals deutlich, dass sie im Sinne der Kritik von Hayes (1979) tatsächlich allein "*toy problems*" gerecht zu werden vermögen. Demgegenüber verlangen CPSS-adäquate Ontologien im Zeichen von "*nontoy worlds*", dass ein integrierter Abgleich gerade auch mit solchen Ontologien möglich wird, die als *Scientific Ontologies* zu charakterisieren sind. Hierbei ist jedoch evident, dass alle Referenzontologien auf denselben meta-ontologischen Dispositionen aufbauen müssen; mit anderen Worten haben sie auf ein und dieselbe metaphysisch verankerte *Top-level Ontologie* zu referenzieren. Die meisten der gängigen Ontologiekonzeptionen, von Gruber bis DOLCE, stehen dabei noch im Zeichen der *Belief Systems* der klassischen AI-Tradition. Bei DOLCE wird das daran deutlich, dass sie sich mit Fokus auf der Intension (Konzepten) in der Sphäre epistemischer Ontologie bewegt. Dabei bilden Konzepte geistabhängige Kategorien. Es geht also um *Denk-Kategorien* im Kantischen Sinne, nicht im Sinne klassisch philosophischer Ontologie um *Seins-Kategorien* wie bei BFO oder BWW, was ohne Frage einen gänzlich anderen Typus von Ontologie bedingt. Insofern ähnelt die Ontologiekonzeption unter Berücksichtigung der jeweils unterschiedlichen primären Relevanz von Intension und Extension jener Grubers. Im fundamentalen Unterschied zu Gruber erfolgt bei DOLCE jedoch eine dezidierte Festlegung meta-ontologischer Kriterien, die jeweils in einem philosophischen Begründungszusammenhang steht. Während DOLCE auf *Kantischen epistemischen Kategorien* aufsetzt, gründet die BFO auf *aristotelisch ontischen Kategorien*. Dennoch gehen beide TLO-Ansätze insofern mit Strawsons (1959) deskriptiver Metaphysik konform, als dieser ihre Ursprünge sowohl bei Aristoteles als auch bei Kant verortet. Demgegenüber stellt sich die Problematik der Sowa-TLO insbesondere in diesem W2-Kontext, indem deutlich wird, dass Sowa zwar auf Whitehead (1929a) aufbaut, jedoch das Whiteheadsche System in den verschiedensten Hinsichten nur sehr bedingt bzw. gerade nicht im Kern umsetzt. Der eigentlichen ontologischen Idee des Whiteheadschen Systems wie seiner Genialität wird

Sowa jedoch in keiner Weise gerecht. Denn die Ontologie bei Whitehead (1929a) ist zuvorderst gerade in seiner zweiten Kopernikanischen Wende zu verstehen, nämlich gerade in der Primarität des Ontischen. Und genau diese Position ist es, die für eine CPSS-adäquate Ontologie einschließlich des Whiteheadschen *Subjekt-Superjekts* vorauszusetzen ist. Denn dieses ist seinerseits als W1-Entität interagierender, selbstorganisatorischer Teil der realen Welt, was bei Sowa in keiner Weise herausgestellt wird. Sowa wird damit insgesamt weder dem ontischen Gesichtspunkt Whiteheads noch seinem CPS-Agentenaspekt gerecht, womit eine universelle, nämlich logico-mathematische Klasse von Agenten gemeint ist, die ihrerseits in ein logico-mathematisches Automatenuniversum eingebettet ist. Sowa berücksichtigt also gerade den Kern des Whiteheadschen Systems nicht, obschon dieser für eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption entscheidend ist. Vielmehr behandelt er den Ontologiedanken letztlich nicht viel anders als es bei den *Belief Systems* der klassischen AI-Tradition geschieht, mit dem entscheidenden Unterschied, dass bei Sowa (1995) TLO-Kategorien ins Spiel kommen, bei denen es sich zuvorderst um Whiteheadsche Kategorien handelt. So gesehen lässt sich auch die Sowa-Ontologie nur sehr eingeschränkt als W2-Ontologie verstehen, weil sie in kein ganzes System von Ontologien eingebettet ist und insofern auch nicht etwa in einem aktuellen Modus mit den aktuellen Welten verkoppelt sein kann. Vielmehr ist Sowa jenseits seiner kategorialen Ausdifferenzierung auf keinem anderen Stand als Grubers inferiores Ontologieverständnis. Denn auch Sowas Ontologien konstituieren sich »not of all the things that exist in the real world, but of all the things that may be imagined in the mind«. ⁵¹⁴⁹ Das führt dann zu Sowas (1984) *possibilistischer* Ontologie. Das Resultat jeder konzeptuellen Analyse ist dann »an ontology for a possible world – a catalog of everything that makes up that world, how it's put together, and how it works«. ⁵¹⁵⁰ Auch insofern kommt Sowa über Gruber nicht hinaus, indem er die Entitäten von aktuellen und möglichen Welten nicht sauber in einem ausdifferenzierten integrierten Ontologiesystem trennt. Damit ist die CPSS-Adäquanz bei Sowa jedoch insgesamt nicht gegeben, auch wenn das metaphysische Fundament an sich richtig gewählt ist.

Ad (R28) [*W2 – Kritischer Realismus, begrenzte Rationalität, Fallibilismus*]: Es steht außer Zweifel, dass eine CPSS-Adäquanz der Ontologie die Klärung des Realitätsverständnisses beinhaltet. Naive Ontologiekonzeptionen wie jene von Genseereth/Nilsson (1987: 13) nehmen mit ihrem »lack of commitment«, das sich bei Gruber (1995: 910) in Form eines »minimal ontological commitment« darstellt, keinerlei Dispositionen gerade auch in dieser Sache vor. Indessen gilt in Wirk-

⁵¹⁴⁹ Ibid.

⁵¹⁵⁰ Vgl. Sowa (1984: 294).

lichkeit: »ontological commitments and design criteria are implicit and explicit in the ontology code«,⁵¹⁵¹ was linguistische AI-Ontologen regelmäßig übersehen. Entsprechend sind die TLO-basierten Ontologieansätze in dieser Sache wesentlich besser aufgestellt. Allerdings weicht zwischen ihnen das, was mit einem *Realismus* gemeint ist, ganz erheblich voneinander ab. Agentenbasierte Ansätze sollten von einer *begrenzten Rationalität* ausgehen, wie sie durch H.A. Simon bzw. Newell mit Verweis auf Pkt. 3.5 im AI-Kontext besonders betont wird. Bei H.A. Simon (1995a) wird auch die AI-Disziplin richtiggehend als eine *Empirical Science* konzipiert. Allerdings zieht daraus bisher niemand die erforderlichen Konsequenzen, nämlich dass wissenschaftliche Erkenntnis fehlbar ist, womit ein *Fallibilismus* vorauszusetzen ist. Dann aber müssen Theorien an der Realität scheitern können, womit schließlich auch mit Popper bzw. Rescher ein metaphysischer Realismus vorauszusetzen ist. Das aber ist, mit indirekter Ausnahme der BWW-TLO bzw. der Sowa-TLO, bei keinem der TLO-Theorieanwärter der Fall. Und schließlich zielen auch diese beiden TLO-Theorieanwärter nicht auf *Scientific Ontologies* ab. Von einem echten *kritischen Realismus* lässt sich bei keinem TLO-Theorieanwärter sprechen, auch nicht bei Sowa, da das ratio-empirische Wechselspiel zwischen Metaphysik und Wissenschaft im Sinne einer systematischen Prüfung der empiristischen Universalhypothese nicht vollzogen wird. Immerhin vertreten Wand/Weber (1995: 208) keinen naiven Realismus; vielmehr ist dieser an kognitive Akte von Individuen bzw. sozialen Gruppen gebunden. Demgegenüber wurzelt Miltons *Common Sense-Realismus* der Chisholm-TLO, der im Zeichen der Alltagsrationalität als *naiver Realismus* zu werten ist, in einer völlig anderen Metaphysik als Bunges *Scientific Realism* der BWW-TLO.⁵¹⁵² Schließlich gipfelt die Realismusproblematik im *Konstruktivismus* der DOLCE-TLO, der zwar als ein gemäßigter *Konstruktivismus* zu werten ist, der jedoch dennoch weitaus mehr bedingt als ein *kritischer Realismus*. Das gilt auch dann, wenn DOLCE nicht um verschiedene Positionen umhin kommt, die unmittelbar die Realismusfrage betreffen.

Ad (R29) [*W2/W1-Abgleich zur Belief Revision bzgl. physischer W1-Realität*]: Im Grunde besteht in B. Smithens (1998a) Differenzierung von *R-ontologies* (referent- or reality-based ontologies) und *E-ontologies* (elicited or epistemological ontologies) die erste wesentliche Erkenntnis, dass nämlich ontische Ontologien etwas anderes sind als epistemische Ontologien. Die zweite Erkenntnis sollte darin bestehen, dass für eine CPSS-adäquate Ontologie beide von grundlegender Relevanz sind, weil Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* letztlich

⁵¹⁵¹ Vgl. Fernández-López et al. (1999: 37).

⁵¹⁵² Vgl. hierzu Milton/Kazmierczak (2004: 20).

nichts anderes bedeuten, als dass sich Agenten mitsamt ihrer Agentenwelten (W2) in der physischen Welt bewegen. Die dritte Erkenntnis muss die sein, dass Agenten nicht nur in materieller, sondern auch in kausaler Hinsicht mit der physischen Welt (W1) gehören und in diese als ein Agens des Wandels eingebettet sind. Die vierte Erkenntnis läuft darauf hinaus, dass es nicht nur in perzeptiver Hinsicht eine *W2/W1-Relation* gibt, sondern auch ein *W2/W1-Abgleich zur Belief Revision* bzgl. der physischen W1-Realität erforderlich werden kann. Es geht entsprechend nicht allein darum, im Sinne B. Smithens (1998a) zwei Ontologietypen abzugrenzen, sondern es muss darum gehen, beide auf Basis einer *integrierten metaphysischen Wissensontologie* zu integrieren. Und das kann nur in der Weise gelingen, wie es in Pkt. 3.5 mit *CYPO FOX* konzipiert ist, weil dies nicht allein Whiteheads *Subjekt-Superjekt* in metaphysischer Hinsicht betrifft, sondern damit verbunden Poppers Wechselspiel von Welt 2 und Welt 1 in wissensontologischer Hinsicht. Eine solche Konzeption gibt es bisher bei keinem einzigen der TLO-Theorieanwörter, doch ist sie für ein CPSS-adäquates Ontologieverständnis genau in dieser Weise zu vollziehen. Das betrifft nicht zuletzt auch die Sowa-TLO, die es versäumt, die Whiteheadschen metaphysischen Grundlagen in sachgerechter Weise in die *Top-level Ontologie* der Informatik zu transformieren. Demgegenüber kann dies etwa in Ontologien wie der BWW-TLO von vornherein nicht in dieser Weise praktiziert werden, da die Bungesche Ontologie in ihrer neo-aristotelischen Tradition keine Agenten im Kantischen Sinne der Whiteheadschen *Subjekt-Superjekte* vorsieht, wie sie hier im Zeichen einer aktiven Prozessmetaphysik stehen. Das aktive Momentum bildet dabei das bereits bei Leibniz gegebene perzeptive Moment. Demgegenüber würde bei der BWW-TLO die Abgrenzung gesonderter epistemischer Kategorien auf Basis einer materialistischen Substanzmetaphysik einen Widerspruch bedeuten.

Ad (R30) [*W2/W3-Abgleich zur Belief Revision bzgl. technologischer W3-Realität*]: W3-Ontologien sind solche der Technopraxis, insbesondere technologische Ontologien im engeren Sinne, wie sie in Pkt. 3.3.1 als Methoden-, Aufgaben- oder Funktionsontologien abgegrenzt wurden. Der *W2/W3-Abgleich zur Belief Revision bzgl. der technologischen W3-Realität* ist vor dem Hintergrund von maschinellen Agenten zu sehen, die in umfassendere Systeme, Prozesse oder Workflows eingebettet sind. Dabei gilt es solche maschinellen Agenten unter technologischen Aspekten zu orchestrieren, um übergeordnete Aufgabenkomplexe bewerkstelligen zu können, wie sie z.B. im Kontext der *Smart Factory* als *Factory of Things* gegeben sind. Solche Koordinationsaufgaben übernimmt etwa bei ADACOR das im zweiten Teil erwähnte *Supervisor Holon* (SH), das auf eine globale Optimierung zielt. In diesem Sinne ist auch der *W2/W3-Ab-*

gleich zur Belief Revision zu sehen, indem etwa die einzelne Agentenwelt (W2) auf Basis aktualisierter Totalpläne einer Belief Revision zu unterziehen ist. Das würde dann etwa das Moment der Aufgabenontologien betreffen. Ähnliches gilt etwa in Bezug auf Services, die einzelne Agenten anbieten bzw. in Anspruch nehmen und in der SOA-Gesamtarchitektur in ähnlicher Weise zu orchestrieren sind. Das würde dann das Moment der Funktionsontologien betreffen. Schließlich kann auch ein methodisches "Update" erforderlich werden; insofern müsste die Agentenwelt in Bezug auf Methodenontologien einer W2/W3-Belief Revision unterzogen werden.

Ad (R31) [*W2/W4-Abgleich zur Belief Revision bzgl. sozialer W4-Realität*]: Die wenigsten TLO-Ansätze sind an sich agentenbasiert; richtiggehend MAS-orientiert ist hingegen kein einziger. Allerdings ist die MAS-Adäquanz mit der CPSS- bzw. IoX-Adäquanz gleichsam vorauszusetzen, womit die TLO-Theorieanwärter auch in dieser Hinsicht nicht CPSS-adäquat sind. MAS-adäquat sind Ontologiearchitekturen allein dann, wenn ein systematisches Wechselspiel von Agentenwelt zur sozialen Welt angelegt ist. Anders gewendet geht es um die kausale Verbindung der W2- und der W4-Ontologie, womit W3-Artefakte genauso einzubeziehen sind, indem sie das institutionelle Regime der W4-Sphäre konstituieren. Ein *W2/W4-Abgleich zur Belief Revision bzgl. der sozialen W4-Realität* wird etwa dann erforderlich, wenn ein einzelner Agent seine Ziele bzw. eigene Weltsicht aufgrund neuer sozialer Konstellationen revidieren muss. Dabei verläuft allein die *Belief Revision* einseitig, während einzelne Dispositionen in der Agentenwelt genauso kausal auf die W4-Realität wirken können. MAS- und SOA-Aspekte gehen in dieser W4-Sphäre etwa mit dem im zweiten Teil erörterten *Commitment-Based SOA* (CSOA) bei M.P. Singh et al. (2009) Hand in Hand. Insofern lässt sich in modernen Ontologiearchitekturen gerade nicht von der Welt 4 abstrahieren, womit die Ontologiearchitektur insgesamt auf die in Pkt. 3.5 dargelegte CYPO FOX hinausläuft. Insgesamt ist festzustellen, dass sich die *Belief Revision* auf das gesamte Spektrum von Referenzontologien beziehen kann, einschließlich der *Top-level Ontologie* als oberster Referenzebene.

Ad (R32) [*W2/W1-, W2/W3-, W2/W4-Kausalität*]: Während Bunge's Ontologie keine Agenten vorsieht, steht außer Frage, dass sich gerade auch die metaphysische Ontologie grundsätzlich ändert, wenn mit Whitehead eine universale Agentenklasse im Zuge perzeptiver *Subjekt-Superjekte* Einzug in die physische Welt hält. Im Grunde ändert dies alles, denn damit lässt sich kaum mehr das Argument vertreten, dass nur das existiert und damit für die Ontologie primär relevant ist, was materiell ist. Die Bunge'sche Ontologie ist in diesem Sinne bereits mit dem Kantischen Moment *ad acta* zu legen, während Whitehead dieses Momentum aufnimmt und mit ihm die zweite Kopernikanische Wende vollzieht.

Die universale Agentenklasse ist bei Whitehead eine logico-mathematische Klasse, genauso wie das Universum als solches im Zeichen des Leibnizschen Automatenuniversums in diesem logico-mathematischen Sinne adressierbar ist. Whitehead wie Bunge teilen einen Systemismus, doch dieser stellt sich in beiden Metaphysiken grundlegend anders dar. Bei Whitehead stellt dieser im Zeichen seiner *zellulären Organismen* das metaphysische Prinzip dar, das ein strukturalistisches Prinzip verkörpert. Bei Bunge ist der Systemismus demgegenüber ontologisch lediglich aufgesetzt; ontologisch primär ist indessen sein Materialismus, der gerade keinen Strukturalismus verkörpert. Das ist nur beim Antimaterialismus von Whitehead und Russell der Fall, wenn mit Russell (1927a: 400 f.) auch *Materie* als "*system of events*" zu verstehen ist. Eine Reihe von Ontologien, etwa die DEMO *Enterprise Ontology*, rekurrieren auf Bunges Systemismus. Allerdings übersehen sie dabei seine grundlegenden Defekte, die daraus resultieren, dass dieser lediglich auf dem Bungeschen Materialismus aufgesetzt ist. Und das wird dann zu einem grundsätzlichen Problem, wenn Cyber-physische Systeme (CPS) ins Spiel kommen, denn dann wird deutlich, dass es keine bidirektionale kausale Verbindung zwischen dem Materialismus und dem Systemismus Bunges gibt. Demgegenüber verhält sich dies im Systemismus Whiteheads grundlegend anders, indem dieser durch ein strukturalistisches Prinzip geeint ist, das nicht nur konzeptionell, sondern auch physisch gegeben ist. Denn auf dieser Grundlage ist ein durchgängiges biokybernetisches Prinzip tatsächlich gegeben, nämlich in Form informatorischer Signale bzw. Bits und Bytes, mithin in Form der grundlegenden Ereigniskategorie. Im Hinblick auf die integrierte metaphysische Wissensontologie ist die Differenzierung von Welt- bzw. Ontologietypen unumgänglich; andererseits ist dies nur dann möglich, wenn sie in einem kosmologischen Weltganzen stehen. Das ist dann gegeben, wenn diese Welten kausal wechselwirken, wie es bereits im Realitätsverständnis Poppers angelegt ist. Bezogen auf Agenten als Agens des Wandels ist damit eine *W2/W1*-, *W2/W3*- sowie eine *W2/W4-Kausalität* vorauszusetzen. Anders als bei Bunge bzw. der BWW-TLO sind Cyber-physische Systeme gerade im *kausalen* Sinne als *Systeme* aufzufassen, womit die physische Welt (W1) mit den Cyberwelten maschineller MAS-Agenten (W2, W3, W4) notwendig kausal wechselwirkt. Insofern sind sie unter diesem kausalen Gesichtspunkt auch allesamt als existent vorauszusetzen und bilden somit arteigene Bestandteile einer integrierten Ontologiekonzeption, wie sie mit CYPO FOX gegeben ist.

Ad (R33) [*W2/W3-Transformation (Generierung objektiven Wissens)*]: Eine agentenbasierte Ontologie muss nicht nur Agenten als prozessuale Momente begreifen, sondern sie muss sie auch als Ganzes zu erfassen vermögen. Damit ist nicht nur an sich etwa über Bratmans (1987) BDI-Agentenmodell hinauszugehen, son-

dem dieses ist in einer integrierten metaphysischen Wissensontologie selbst mit in die Ontologie zu inkorporieren. Das ist in der Weise zu vollziehen, dass das *Ontology Learning*, das sich auf die Wissensontologie bezieht, im Zuge der metaphysischen Ontologie selbst als prozessualer Aspekt aufgefasst werden kann. Insofern ist auch die *Generierung objektiven Wissens* in einer integrierten metaphysischen Wissensontologie abzubilden. Dabei geht es um eine Transformation von Elementen der W2-Agentensphäre in W3-Artefakte der Technopraxis. In diesem Sinne lässt sich metaphysisch wie wissensontologisch von einer *W2/W3-Transformation* sprechen, wie sie im Kritischen Rationalismus angedacht ist. Dabei stellt seine Methodologie letztlich selbst ein W3-Artefakt dar, das auf nichts anderem als intersubjektivem Konsens beruht. Es ist nicht mehr als ein Verfahren. Demgegenüber ist das daraus resultierende Wissen im Sinne der Korrespondenztheorie objektiv wahr, wobei der Fallibilismus gilt. Alles objektive Wissen ist also in seiner Korrespondenz mit realen Welten objektiv wahr, jedoch immer fallibel. Insofern entspricht diese Position keinem naiven Realismus, sondern jener des *kritischen Realismus*, der sowohl Whitehead wie auch Popper verschrieben sind. Somit erscheint es vor diesem Hintergrund legitim, das objektive Wissen als W1- bzw. W4-Wissen zu kategorisieren, auch wenn es sich dabei letztlich ebenfalls um W3-Artefakte handelt. Demgegenüber bildet die Methodologie per se ein W3-Artefakt, da sie in jedem Fall nur als intersubjektiv vereinbart gelten kann. Die TLO-Debatte ist gewiss noch nicht bei der Methodologie des *Kritischen Rationalismus* angekommen. Hier ist nochmals auf das problematische Prinzip der *Veridikalität* bei der BFO-TLO zu verweisen, dass keinen methodologischen Anforderungen genügen kann. Auch in Bezug auf andere TLO-Ansätze sind in dieser Sache Defekte zu konstatieren: So muss es fragwürdig erscheinen, SUMO als linguistische 3D-TLO bzw. UFO als inkonsistenten eklektizistischen TLO-Ansatz als fundamentale Ontologie für wissenschaftliche Experimente heranziehen zu wollen.⁵¹⁵³

Ad (R34) [*W3 – Workflows, ODIS Engineering Artefakte, PPRLT-Framework*]: Ungeachtet des großen Spektrums an TLO-Theorieanwärttern gibt es nur wenige TLO-Ansätze die sich zur Steuerung von Workflows eignen, also auf ODIS-Aspekte angelegt sind. Denn dabei fallen sowohl jene Ansätze raus, die sich einseitig den CM-Aspekten verschrieben haben, als auch solche, denen es lediglich um eine allgemeine Wissensrepräsentation geht, ungeachtet dessen, ob es sich dabei um *Common Sense* oder um *Scientific Ontologies* handelt. Insofern sind die Cyc-TLO sowie die BFO-TLO für diese Zwecke kaum geeignet. Vielmehr geht es um ein modernes *Workflow Engineering*, das entsprechende *ODIS Engineering Artefakte* im Zeichen von W3-Entitäten einfordert. Dazu kommen neben der

⁵¹⁵³ Vgl. zu *SUMO* Soldatova/King (2006); vgl. zu *UFO* S.M.S. Cruz et al. (2012).

DOLCE-TLO prinzipiell jene TLO-Ansätze in Frage, die im zweiten Teil als Referenzbasis für die REA-EO ins Spiel gebracht wurden, also (i) Sowas (2000) Prozessontologie, (ii) die BWV Substanzontologie, (iii) die UFO-TLO, (iv) die SUMO-TLO, und schließlich auch (v) die BORO-TLO. Stellt man indessen die Frage der CPSS- bzw. IoX-Adäquanz, kommt das in Pkt. 2.5.2 erörterte *PPRLT-Framework* ins Spiel, womit es eines perdurantistischen TLO-Theorieanwärters bedarf. Somit bliebe von den genannten TLO-Ansätzen allein die BORO-TLO, die allerdings mit *RI4* kaum der IS/KS-Kombination gerecht wird. Insofern empfiehlt sich noch ein weiterer TLO-Theorieanwärter, nämlich GFO-neu. Dieser entspricht zwar an sich dem ODIS-Anforderungsprofil, ist jedoch in keiner Weise auf moderne IoX-Aspekte wie etwa die Sensorik, CEP-Anwendungen oder auf eine ED-SOA-Orchestrierung ausgelegt. Auch fehlt bei diesem die gerade hierzu notwendige *TLO-EO-Verkopplung* (R39).

Ad (R35) [*W4 – MAS-Interaktion, Artificial Societies, Swarm Intelligence*]: Die Ontologie der Informatik hat im Allgemeinen bisher lediglich die Agentenwelt zum Gegenstand, wie es von Anfang an die Idee der *Überzeugungssysteme* (Belief Systems) war. Einige wenige Ontologien zielen auf andere Welten, und das ist entweder mit dem *immanenten Realismus* von Smithens BFO die natürliche Welt mit Zielsetzung einer *Scientific Ontology* oder aber der allgemeine *Common Sense*, also das Alltagswissen im Allgemeinen etwa bei Cyc. Demgegenüber behandelt Smith ergänzend auch bereits die *soziale Welt*, allerdings nicht im Sinne eines Bestandteils einer MAS-orientierten Ontologiearchitektur. Vielmehr ist für Smith die *soziale Realität* die "Common Sense Realität",⁵¹⁵⁴ Smith setzt sich eingehender mit diesem *Common Sense* auseinander und kommt zu dem Schluss, dass *Common Sense-Ontologien* gegenüber *Scientific Ontologies* inferior sind.⁵¹⁵⁵ Auch setzt sich Smith mit Searles *Social Reality* auseinander.⁵¹⁵⁶ Smith (1993) berücksichtigt *Common Sense-Ontologien*, da die Repräsentation von Alltagswissen für manche Zwecke unerlässlich ist. Allerdings steht Smith solchen Ontologien insgesamt kritisch gegenüber.⁵¹⁵⁷ Erforderlich wird jedoch vielmehr ein W4-Ontologietypus, der auf alle Agentenklassen abstellt, d.h. sowohl auf menschliche Agenten als gerade auch auf maschinelle Agenten. Entsprechend steht der W4-Typus vor allem auch im Zeichen der *MAS-Interaktion*, die im Zeichen von H.A. Simon (1995a) in dieser Hinsicht ebenfalls eine empirisch zugängliche Sphäre darstellt. Darüber hinaus sind hier auch AL-Agenten zu berücksichtigen, so dass es um *Artificial Societies* bzw. *Swarm Intelligence* jeglicher Form gehen kann. Keiner der TLO-Theorieanwärter zielt auf eine sol-

⁵¹⁵⁴ Vgl. B. Smith (1995c, 1999a).

⁵¹⁵⁵ Vgl. B. Smith (1992b).

⁵¹⁵⁶ Vgl. B. Smith (2003c, 2008c); vgl. dazu kritisch Sowa (2006c).

⁵¹⁵⁷ Vgl. B. Smith (1992b) sowie Smith/Casati (1994).

che integrativ behandelte soziale Welt, die jedoch für den MAS/SOA-Konnex unabdingbar ist. Insofern sind sämtliche TLO-Theorieanwärter in dieser Sache auch als CPSS-inadäquat zu werten.

Ad (R36) [*Mehrebenenontologie, Emergenz, multiplikative TLO-Konzeption*]: Eine auf dem Vierdimensionalismus aufbauende integrierte metaphysische Wissensontologie hat die Emergenz von Objekten voraussetzen und damit die Emergenz insgesamt. Das deckt sich nicht nur mit den modernen Naturwissenschaften, etwa der Physik der Evolutionsprozesse, sondern auch mit den Anforderungen von H.A. Simons (1969) *Sciences of the Artificial*, namentlich der AI-basierten AL-Forschung. Gilt das Emergenzmoment auf metaphysischer Ebene, ist es auch wissensontologisch entsprechend zu berücksichtigen. Daraus folgt insgesamt das Erfordernis einer *Mehrebenenontologie*, wie es Emmeche et al. (1997) voraussetzen. Aus dieser folgt, dass die wissensontologischen Domänenontologien in einem entsprechenden Hierarchieverhältnis stehen, womit es insgesamt eine Ordnung im System der Referenzontologien gibt, die es bei der Verschaltung der verschiedensten Ontologiearten zu berücksichtigen gilt. Solche Mehrebenenontologien finden sich mit Verweis auf Pkt. 6.2.7 sowohl in der Bunge-schen reduktionistischen Ontologie im Zeichen von Systemebenen, die damit auch für die BWW-TLO gelten. Konsequenterweise kann die BWW-TLO letztlich nur auf eine *reduktionistische* TLO-Konzeption hinauslaufen. In anderer Form, nämlich auf Basis des zu Bunge anders gearteten Realitätsverständnisses der *Neuen Ontologie* werden sie auch mit Herre (2010a) durch die GFO-TLO eingefordert, konkret in Anlehnung an Poli bzw. N. Hartmann. Das Emergenzmoment ist genauso auch der Whiteheadschen Prozessmetaphysik inhärent; insofern ist diese auch als kompatibel zum Schichtengedanken N. Hartmanns zu werten, nicht zuletzt, indem beide Ansätze im Zeichen der empirisch gerichteten *Neuen Ontologie* stehen. Allerdings zieht die Sowa-TLO auch in dieser Hinsicht nicht die richtigen Schlüsse aus dem Whiteheadschen Fundament, auf das sie eigentlich rekurriert. In dem der emergentistische Aspekt bei Sowa nicht richtiggehend umgesetzt wird, handelt es sich bei der Sowa-TLO auch nicht um eine Mehrebenenontologie, was auch nicht dem Gedanken ihrer fälschlichen W2-Fixierung entspricht. Eine Mehrebenenontologie im Hartmannschen ontischen Sinne impliziert eine *multiplikative TLO-Konzeption*; ungeachtet dessen, dass es sich bei DOLCE um eine epistemische Ontologie handelt, folgt sie ebenfalls einem *multiplikativen* Ontologieverständnis. Verschiedene Entitäten können bei DOLCE somit in der gleichen raumzeitlichen Position eines Raum-Zeit-Systems ko-lokalisiert sein.⁵¹⁵⁸ Dies ist hingegen etwa bei der BFO-TLO

⁵¹⁵⁸ Vgl. Borgo/Gangemi et al. (2002); vgl. auch Mascardi et al. (2007).

unzulässig,⁵¹⁵⁹ indem sie einen reduktionistischen Ansatz verkörpert. Auch diese disparate Position offenbart wiederum die grundlegende Inkompatibilität beider TLO-Ansätze, die oftmals in eine vermeintliche Nähe gerückt werden.

Ad (R37) [*Multiple Wahrmacher (Truthmakers)*]: Für Grubers (1993: 199) Ontologieverständnis gilt: »For knowledge-based systems, what ‘exists’ is exactly that which can be represented«, und entsprechend spielen bei Gruber *Wahrmacher (Truthmakers)* keinerlei Rolle. Demgegenüber bezieht Sowa eine diametral andere Position, indem bei ihm jede Wissensrepräsentation eine entsprechende "*theory of truth*" einfordert.⁵¹⁶⁰ Allerdings ist dabei zu beachten, dass gänzlich andere Ontologietypen auch spezifisch andere Wahrmacher einfordern. Smithens *Scientific Ontologies* fordern gewiss andere Wahrmacher als etwa Guarinos ODIS-Ontologien. Im Zeichen strikter Realitätsrepräsentation vertritt Smith eine spezielle *Korrespondenztheorie der Wahrheit*, die neben Dingen auch Husserlsche *Momente*, d.h. etwa Tatsachen oder Sachverhalte, als Wahrmacher postuliert.⁵¹⁶¹ Smithens Wahrmacher ist dabei *phänomenologischer* Natur, nämlich mit dem Argument, dass *Momente* wie *Dinge* Gegenstände psychischer Akte, insbesondere der Perzeption, zu sein vermögen.⁵¹⁶² Eine Korrespondenztheorie gängiger Art findet sich demgegenüber im Kontext von Bunges *Scientific Realism*. Wie festgestellt, handelt es sich bei DOLCE um gänzlich andere Wahrmacher, was auch an sich seine Richtigkeit hat. Zunächst ist herauszustellen, dass DOLCE im Gegensatz zu Smithens BFO auch mögliche Welten berücksichtigt, womit die Korrespondenztheorie *per se* keine Alternative ist. Mögliche Welten bei DOLCE stehen im Zeichen des Modalen Realismus; es geht also um solche, die selbst vor Fiktion und Mythologie nicht Halt machen. Ferner ist zu berücksichtigen, dass DOLCE nicht von einem objektiven Realitätsverständnis ausgeht sondern einen Konstruktivismus favorisiert. Insofern kann der adäquate Wahrmacher bei DOLCE auch nur in der Konsens Theorie bestehen. Insofern Gruber (2004: 5) später ebenfalls an diesem Konsensprinzip festmacht, besteht auch in dieser Hinsicht eine engere Verwandtschaft zwischen beiden Ontologiekonzeptionen. Geht es um eine integrierte Ontologiekonzeption, sind entsprechend auch multiple Wahrmacher vorauszusetzen.

Ad (R38) [*SEA/SOA-Adäquanz, EA-Lebenszyklusorientierung, Enterprise Engineering*]: Die wenigsten TLO-Ansätze machen an der *Enterprise Architecture* (EA) und damit an den infrastrukturellen Gesichtspunkten Cyber-physischer Systeme (CPS) fest. Darin besteht allerdings insofern ein grundlegender Defekt, als eine *Smart Enterprise Architecture* (SEA) Ontologien genauso zur Steuerung dieser

⁵¹⁵⁹ Vgl. auch Seyed (2009b: 2).

⁵¹⁶⁰ Vgl. Sowa (2000: 40).

⁵¹⁶¹ Vgl. Mulligan/Simons/Smith (1984), insbes. p. 302.

⁵¹⁶² Vgl. Mulligan/Simons/Smith (1984: 304).

infrastrukturellen Komponenten erfordert. Nicht umsonst gibt es etwa EA-Ontologien, SOA-Ontologien usw. Die BFO-TLO bildet hier ein gutes Beispiel für den Umstand, dass diese eigentlich überaus zentralen Aspekte systematisch ausgeblendet werden. Ansätze wie die Sowa-TLO erweisen sich in dieser Sache bereits als besser, indem sie genauso auf die Aspekte der konzeptuellen Modellierung abstellen. Auch setzen sich etwa Sowa/Zachman (1992a, 1992b) mit EA- bzw. EI-Aspekten auseinander, wobei dies allerdings keinen Niederschlag in der Ontologiearchitektur Sowas findet. Demgegenüber bleibt der zentrale SOA-Aspekt im Zeichen der Serviceorientierung agentenbasierter Systeme außen vor. Die BORO-TLO stellt demgegenüber detaillierter auf solche infrastrukturellen Aspekte ab. Bei der DOLCE-TLO werden später entsprechende Anpassungen vorgenommen, indem zumindest das Fundament gelegt wird. So wird durch Guarino et al. in Kooperation mit SAP Research eine für das SOA-Serviceparadigma relevante *Service Science* entwickelt.⁵¹⁶³ Die UFO-TLO stellt mit UFO-S in besonderer Weise auf das Serviceparadigma ab: »UFO-S is a commitment-based service ontology whose conceptualization [...] is based on the establishment and fulfillment of commitments and claims between *service participants* (service providers and service customers) along the service life cycle«. ⁵¹⁶⁴ Dabei spielen nicht nur Servicelebenszyklen eine Rolle, sondern auch die Produktlebenszyklen, die in dieser Kombination durch moderne U-PLM-Systeme im PSS-Sinne zugrunde gelegt werden. Da damit das gesamte PPR-Framework, also auch Prozesse und Ressourcen berührt sind, ist insgesamt eine *EA-Lebenszyklusorientierung* einzufordern, die zwar in modernen EA-Frameworks berücksichtigt wird, jedoch in den TLO-Ansätzen regelmäßig noch nicht. Allerdings wird dies insofern erforderlich, als auch das *Enterprise Engineering* als solches zunehmend ontologiegestützt vollzogen wird.

Ad (R39) [*TLO-EO-Verkopplung zum SEI-Vollzug komplexer IoX-Systeme*]: Mit Verweis auf den im zweiten Teil gezeigten Stellenwert des *Real-Time Enterprise* (RTE) als globale Intelligenz komplexer IoX-Systeme verlangen diese den entsprechenden Vollzug der *Smart Enterprise Integration* (SEI). Dieser kann allein über die *Enterprise Ontology* (EO) als integrative Kernontologie führen, die dabei im Zeichen der Heavyweight-Ontologie zwingend wie umfassend auf die *Top-level Ontologie* referenziert. Insofern wird die *TLO-EO-Verkopplung* maßgeblich, die jedoch nur dann richtig verstanden ist, wenn sie als integrativer Teil der *Top-level Ontologie* selbst entwickelt wird. Denn nur dann kann diese mit Verweis auf Abb. 3 auch tatsächlich als universale Referenzebene sämtlicher Ontologien, insbesondere auch solcher infrastruktureller Art, fungieren. Tat-

⁵¹⁶³ Vgl. Ferrario/Guarino/Janiesch et al. (2011); vgl. ergänzend Ferrario/Guarino/Fernández-Barrera (2011).

⁵¹⁶⁴ Vgl. J.C. Nardi (2014: 62).

sächlich aber gibt es nur zwei TLO-Ansätze, bei denen diese Anstrengungen von den TLO-Entwicklern selbst unternommen werden. Dabei zielt in dem ersten Fall, der hier maßgeblich ist, der ganze TLO-Ansatz auf diese *TLO-EO-Verkopplung*, während im zweiten Fall, der hier nicht maßgeblich ist, diese Verkopplung an späterer Stelle thematisiert wird. Dabei stellt sich indes schnell heraus, dass der TLO-Ansatz dafür eigentlich ungeeignet ist. Dieser zweite Fall ist mit der BFO-TLO gegeben, indem Ceusters/Smith (2007) eine Art BFO-EO *systematisch* auf Grundlage der BFO-TLO zu entwickeln suchen. Unabhängig davon haben bereits Hagengruber/Schauer (2002) eine solche Entwicklung angeregt. Demgegenüber bildet den ersten, maßgeblichen Fall die BORO-TLO, indem diese als *Top-level Ontologie* (TLO) gedachte Ansatz selbst eine *Core Enterprise Ontology* (CEO) inkorporiert.⁵¹⁶⁵ Auch lässt sich sagen, dass die ganze BORO-TLO etwa mit ihrem Einsatzkontext in der chemischen Prozessindustrie gänzlich auf diese Zwecke angelegt ist. Bei ihr besteht das primäre Anwendungsspektrum gewiss nicht wie bei Smith in *Scientific Ontologies*, sondern vielmehr in Steuerungsfunktionen im industriellen Enterprise-Kontext. Das schließt gar das universale SOA-Serviceparadigma mit ein,⁵¹⁶⁶ womit BORO in dieser Hinsicht zumindest als IoS-adäquat gelten kann. Insofern handelt es sich bei BORO um jenen TLO-Ansatz, der das Postulat einer umfassenden *TLO-EO-Verkopplung* am besten erfüllt, während die meisten anderen TLO-Ansätze dieses Erfordernis nicht einmal erkennen. Allerdings offenbart die BORO-TLO im Zeichen dieser *TLO-EO-Verkopplung* zwei grundlegende Defizite, nämlich zum einen, dass sie in dieser EO-Fixierung gar keinen echten, universalen TLO-Ansatz darstellt, wie es B. Smith (2006b) zu Recht grundsätzlich kritisiert. Dabei ist ergänzend festzustellen, dass die BORO-TLO zwar mit ihrer 4D-Metaphysik in die richtige Richtung zielt, jedoch mit der Klasse-2-Metaphysik dabei die falsche Basis besitzt. Zum anderen ist festzustellen, dass die BORO-TLO insofern defizitär gelten muss, als sie auch in Bezug auf die EO-Konzeption nicht richtig liegt. Denn es wird bei ihr konkret eine Synthese der TOVE-EO sowie der EEO versucht. Allerdings erkennen Partridge/Stefanova (2003a, 2003b) dabei bereits selbst die grundsätzlichen Defizite, die diese älteren EO-Ansätze aufweisen. Vielmehr aber ist die *TLO-EO-Verkopplung* genau in der Weise zu vollziehen, dass sie dezidiert zur jeweiligen Metaphysik passt, was darauf hinausläuft, dass nicht nur die *Top-level Ontologie*, sondern auch die *Enterprise Ontology* unter das Regime der *Klasse-4-Metaphysik* als ereigniszentrische techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik zu stellen ist. Insofern bedarf es auch einer neuen, CYPO-konformen *Enterprise Ontology* (CYPO CEOX). In dieser Sache muss

⁵¹⁶⁵ Vgl. Partridge/Stefanova (2003a, 2003b).

⁵¹⁶⁶ Vgl. Partridge/Bailey (2010).

insbesondere die Sowa-TLO kritisiert werden, weil sie zwar auf der richtigen Metaphysik steht, jedoch die zentrale Bewandnis der *TLO-EO-Verkopplung* verkennt. Damit wird zugleich deutlich, dass mit der *TLO-EO-Verkopplung* nicht bloß die EO-relevante konzeptuelle Modellierung adressiert ist, wie sie neben der Sowa-TLO vor allem Gegenstand der BWW-TLO ist. Auch nicht gemeint ist damit, dass separat entwickelte *Enterprise Ontologies* auf spezifische TLO-Ansätze gewissermaßen im Nachhinein referenzieren. Denn das ist für viele der TLO-Ansätze gegeben, erfüllt jedoch in keiner Weise den integrativen Gedanken der *TLO-EO-Verkopplung*, der bereits in *der Top-level Ontologie* selbst angelegt ist bzw. von ihren Entwicklern selbst im Zeichen eines integrativen Ganzen zu konzipieren ist. Damit ist insbesondere ihre gemeinsame CPSS- bzw. IoX-Adäquanz gemeint, wobei dem *PPRLT-Framework* im RTE-Kontext eine besondere Funktion zukommt. Dass diese nachträgliche TLO-Referenz von EO-Ansätzen im Grunde mehr oder weniger aussagegelos ist bzw. völlig beliebig erfolgen kann, hat im zweiten Teil die Referenzpraxis bei der REA-EO offenbart. Denn hier werden als Referenzbasis solch unterschiedliche TLO-Ansätze wie (i) Sowas (2000) Prozessontologie, (ii) die BWW Substanzontologie, (iii) die UFO-TLO, (iv) die SUMO-TLO, und schließlich auch (v) die BORO-TLO ins Spiel gebracht. Analoges gilt für den Fall, in dem die SUPER-EO mit ihrer *Upper-level Process Ontology* (UPO) auf die DOLCE-TLO referenziert. Insofern wird insgesamt deutlich, dass die zukünftige Entwicklung von EO- wie TLO-Ansätzen nicht unabhängig voneinander erfolgen kann, sondern diese in den SEA/SEI-Kontexten der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* in umfassender Weise miteinander verwoben sind.

Ad (R40) [*Integrative Ontologiekonzeption via "ontological backbone"*]: Die Idee einer *integrativen Ontologiekonzeption* muss eigentlich den Kerngedanken einer universalen *Top-level Ontologie* manifestieren. D.h., dass sie tatsächlich als "*ontological backbone*" für die unterschiedlichsten Ontologietypen und Ontologierarten fungiert und sämtliche Ontologien *ad hoc* miteinander verschaltbar macht. Das muss in SEA/SEI-Kontexten entsprechend infrastrukturelle Ontologien mit einschließen; bei IoX-Systemen muss also die TLO-Basis etwa mit ED-SOA-Ontologien kompatibel sein, während die infrastrukturelle EO-Kernontologie den verschiedensten DO-Ansätzen gerecht zu werden hat, die etwa die *Smart Factory* mit sich bringt. Im Grunde lässt sich sagen, dass keine aufwändige TLO-Entwicklung mehr sinnvoll erscheinen kann, die in dieser Richtung nicht zukunfts offen ist. Denn dann wird sich über kurz oder lang herausstellen, dass sie als Referenzbasis komplexer IoX-Systeme bzw. für SEA/SEI-Zwecke doch nicht richtig geeignet ist. Es bedarf insofern keiner weiteren Ausführungen um festzustellen, dass kein einziger der TLO-Ansätze tatsächlich auf eine solche

universale Koordinationsfunktion zielt. Zumeist scheidet das bereits daran, dass sie entweder einseitig den IS- oder KS-Gesichtspunkten verschrieben sind, oder aber daran, dass sie bei einer solchen IS/KS-Kombination die notwendige *TLO-EO-Verkopplung* unrealisiert lassen. Ohne Frage ist es kein leichtes Unterfangen, einen solchen *TLO-Totalansatz* zu realisieren; indem sie jedoch eigentlich nur als universale Ontologie zu verstehen ist, die auch faktisch realisierbar bleibt, muss die weitere TLO-Forschung schließlich doch genau darauf hinauslaufen. Insofern liegen Malik et al. (2015) richtig, wenn sie von einer "*Super Ontology*" sprechen; allerdings geht auch ihre Konzeption an dieser Leitidee entscheidend vorbei.

Ad (R41) [*Reifegrad (Maturity)*]: Vor dem Hintergrund der Beurteilung der vierzig vorstehenden Evaluierungskriterien muss die Frage nach dem Reifegrad der einzelnen TLO-Theorieanwärter in doppelter Weise gestellt werden; nämlich einmal in absoluter, und einmal in relativer Hinsicht. In absoluter Hinsicht kann keinem einzigen der zahlreichen TLO-Theorienanwärter ein ausreichender Reifegrad attestiert werden. Einzig lässt sich feststellen, dass die Sowa-TLO in ihrer Wahl des metaphysischen Fundaments richtig liegt, allerdings ist dabei zu konstatieren, dass dieses Fundament in vielen zentralen Hinsichten nicht richtig ausgelegt bzw. interpretiert wird. Mit Blick auf seine mangelhafte Transformation in eine entsprechende *Top-level Ontologie* ist damit auch der Sowa-TLO in absoluter Hinsicht eine mangelnde Reife zu bescheinigen. Relativ betrachtet ist der Reifegrad der einzelnen TLO-Ansätze hingegen völlig anders zu bewerten. Legt man die universale, direkt praktische Verwendung bzw. Verwendbarkeit als Maßstab an, kann ungeachtet ihrer zahlreichen Defizite und Defekte die DOLCE-TLO als insgesamt reifster TLO-Ansatz herausgehoben werden. Denn DOLCE ist umfassend philosophisch und formallogisch fundiert samt einer Mereologie, die in Form der *General Extensional Mereology* (GEM) gestellt wird. Ergänzt wird diese um entsprechende Theorien zur Identität und Abhängigkeit. Auch ist bei DOLCE eine *Ontologie der Artefakte* vorhanden. Ferner haben Guarino und Welty davon unabhängig die Methodologie OntoClean entwickelt,⁵¹⁶⁷ in der ein Ansatz zur Analyse von Ontologien besteht. Dabei ist auch OntoClean auf Basis der philosophischen Ontologie umfassend fundiert. Diese Einschätzung gilt dabei unabhängig davon, dass DOLCE insgesamt als CPSS-inadäquat zu werten ist, indem sie der deskriptiven Metaphysik folgt, und einen endurantistischen (3D+T) Ansatz verkörpert. Auch kann ihr *Modaler Realismus* wie ihre Ablehnung einer objektiven Realität bzw. eines metaphysischen Realismus keine Basis für ein tatsächlich CPSS-adäquates Physik- bzw. Metaphy-

⁵¹⁶⁷ Vgl. hierzu Guarino/Welty (2009); vgl. ergänzend Guarino/Welty (2002), Andersen/Menzel (2004), Carrara et al. (2004), Welty/Andersen (2005) sowie Seyed (2012b).

sikmodell stellen. Auch der BFO-TLO kann relativ in der Hinsicht ein hoher Reifegrad bescheinigt werden, als sie analog zur Sowa-TLO auf umfassenden philosophischen Grundlagen und Erwägungen aufbaut.

Ad (R42) [*Robustheit*]: Analog zum Reifegrad ist auch die Robustheit der TLO-Ansätze zu beurteilen, nämlich absolut und relativ. Absolute Robustheit besitzt kein einziger TLO-Ansatz, indem es etwa unmöglich ist, die verschiedensten Ontologien *ad hoc* miteinander zu verschalten. Es ist auch nicht möglich, sämtliche ontologische Belange auf der Basis eines einzelnen TLO-Ansatzes sachgerecht zu entwickeln, wie es jedoch etwa für das sensorbasierte *Internet of Chemical Things* (IoCT), das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) oder das *Internet of Living Things* (IoLT) notwendig wäre. Dann jedoch müsste der jeweilige TLO-Ansatz nicht nur etwa eine CEP- oder ED-SOA-Adäquanz besitzen bzw. als Referenzbasis etwa für Sensorontologien fungieren können, sondern er müsste gleichzeitig auch tatsächlich den Erfordernissen echter *Scientific Ontologies* gerecht werden. Von der Erfüllung solch multipler Anforderungen sind jedoch sämtliche gegenwärtigen TLO-Theorieanwärter noch ein gutes Stück entfernt bzw. lässt ihre Architektur eine solche Abdeckung von vornherein nicht zu. Insofern folgt auch aus dieser mangelnden Robustheit bzw. dem mangelnden Reifegrad, der in absoluter Hinsicht besteht, der in Pkt. 8.4 konstatierte weitere Forschungsbedarf. Analog zu R41 können DOLCE und auch die BFO-TLO insofern in relativer Hinsicht als robust gewertet werden, indem sie in den unterschiedlichsten Kontexten praktisch am umfassendsten angewendet werden. Allerdings ist davon auszugehen, dass den Anwendern kaum in allen Fällen die vielfältigen Probleme, die aufgrund der zahlreichen Defizite und Defekte in verschiedener Hinsicht auftreten können, immer bewusst sind.

Ad (R43) [*Technische Dokumentation, verfügbare Schulung/Support*]: Auch in Bezug auf die technische Dokumentation gibt es große Unterschiede zwischen den einzelnen TLO-Ansätzen. Hier ist zu bemängeln, dass bei einigen Ansätzen, etwa der Cyc-TLO wesentliche Aspekte unklar bleiben, etwa, ob es sich tatsächlich um einen endurantistischen oder einen perdurantistischen Ansatz handelt. Beides wird thematisiert, jedoch unklar entschieden. Es lässt sich feststellen, dass bei der BFO-TLO die jeweils vertretenen Positionen am besten erörtert werden; in konzeptioneller Hinsicht stellt die BFO sicherlich den am besten dokumentierten TLO-Ansatz dar,⁵¹⁶⁸ der allein in dem Widerstreit *Endurantismus vs. Perdurantismus* missverständlich bzw. unklar ist.

Ad (R44) [*Potential breiter Akzeptanz (Diffusion)*]: In Bezug auf die Diffusion ist zwischen einer faktischen und einer auf die Zukunft bezogenen Perspektive zu unterscheiden. Die größte Verbreitung besitzt nach Zahl der Nutzer die BFO-TLO

⁵¹⁶⁸ Vgl. etwa Hagengruber/Schauer (2002), Grenon (2003b, 2003d), Spear (2006) sowie Arp et al. (2015).

sowie nach Maßgabe der Rezeption in der Ontologiedebatte die DOLCE-TLO. Dabei sieht Guarino selbst die DOLCE-TLO *offiziell* nicht als Kandidaten einer *universalen Standardontologie*.⁵¹⁶⁹ Allerdings besitzt sie im Zuge ihrer umfassenden Verbreitung heute diesen Status. Weitere Ansätze mit nennenswerter Diffusion bilden die SUMO-TLO sowie Cyc mitsamt der Cyc UCO. Demgegenüber ist die Sowa-TLO praktisch nicht verbreitet; Ansätze wie die GFO-TLO oder noch mehr die Chisholm-TLO konnten sich nie auf breiter Basis durchsetzen. Das gilt auch dann, wenn die GFO-neu der BFO konzeptionell betrachtet genauso überlegen ist wie der DOLCE-TLO. Demgegenüber sind TLO-Ansätze wie die UFO-TLO oder die BORO-TLO jüngerer Datums, finden jedoch erst langsam zunehmende Aufmerksamkeit.

Ad (R45) [*Domänenadäquanz, exemplarische Anwendungen*]: Der Aspekt der *Domänenadäquanz* offenbart zugleich die Stärken und Schwächen der jeweiligen TLO-Ansätze. Denn nahezu sämtliche TLO-Theorieanwärter sind mit einem spezifischen Fokus entwickelt worden, der etwa die CM/AI-Dichotomie, die IS/KS-Dichotomie, jene von *aktualistischer vs. possibilistischer Ontologie*, jene von *universaler vs. regionaler Ontologie* oder jene von *Scientific Ontology vs. Common Sense Ontology* betrifft. Das wird nicht nur mit Smithens *Scientific Ontologies* deutlich, sondern genauso etwa anhand der BORO-TLO, die sich explizit als *Business Objects Reference Ontology* versteht, und in ihrem speziell-einseitigen Industriefokus auch zu Recht B. Smithens (2006b) Kritik findet. Dabei zielt die BORO-TLO tatsächlich genauso wenig auf universale KS-Zusammenhänge wie Smithens BFO-TLO nicht auf die Erfordernisse betrieblicher Informationssysteme. Insofern ist die *Domänenadäquanz* einschließlich exemplarischer Anwendungen der BORO-TLO wie auch der BFO-TLO eine letztlich höchst spezifische und jeweils als *nicht-universal* zu werten. Das aber ist bei allen anderen TLO-Ansätzen, mit bedingter Ausnahme von Sowas Prozessontologie, letztlich nicht anders. Wenn der TLO-Kern jedoch gerade darin besteht, dass sie im Zeichen transdisziplinärer Wissensrepräsentation *universale Ontologie* ist, wird offensichtlich, dass im Grunde sämtliche TLO-Theorieanwärter auch in dieser Hinsicht einen fundamentalen Defekt aufweisen.

Ad (R46) [*Kompatibilität, Modulare Architektur, Wartbarkeit*]: Zunächst ist festzustellen, dass modular gehaltene wie eng zugeschnittene TLO-Ansätze weitaus besser zu warten bzw. aktualisieren sind als überbordene, verschachtelte bzw. monolithische TLO-Ansätze. Insofern läuft etwa Keets (2012) Kritik der BFO, wonach alle anderen TLO-Ansätze reichhaltiger seien als dieser, ins Leere. Vielmehr legt Smith zu Recht bewusst Wert darauf, dass die BFO eine *Top-level Ontolo-*

⁵¹⁶⁹ Vgl. Masolo et al. (2002: 8; 2003: 5).

gie von ganz engem Zuschnitt repräsentiert.⁵¹⁷⁰ Demgegenüber vertreten Arp/Smith/Spear (2015: 39) die genauso zutreffende Auffassung, dass die SUMO-TLO insofern nicht echten TLO-Status besitze, als sie sich nicht allein auf echte TLO-Kategorien beschränkt, sondern auch domänenspezifische Aspekte, etwa biologische Terme, abdeckt. Für die Wartbarkeit folgt daraus, dass die Änderung solcher domänenspezifischen Aspekte insgesamt eine neue TLO-Version erfordert, die in praxi entsprechend ausgerollt werden muss. Das macht deutlich, dass eine wegweisende Architektur der *Top-level Ontologie* tatsächlich darauf hinausläuft, diese modular zu halten und allein tatsächlichen TLO-Aspekten vorzubehalten. Im Sinne der TLO-EO-Verkopplung gehören tatsächlich alle infrastrukturellen Entitäten in die *Enterprise Ontology* (EO), während lediglich die fundamentalen Aspekte der *Top-level Ontologie* vorbehalten sind. Umgekehrt folgt aus dieser Architektur, dass nicht nur sämtliche TLO-Module, sondern auch sämtliche Ontologien des in Pkt. 3.3.1 behandelten Systems von Ontologien zueinander Kompatibilität aufweisen müssen. Das aber ist allein durch eine strenge TLO/EO-Referenz und klaren Kernkategorien zu gewährleisten. Indessen weisen bisher die wenigsten TLO-Ansätze tatsächlich eine modulare Architektur auf. Dieses Ziel verfolgt insbesondere die UFO-TLO, bei der unterschiedliche Anwendungen auf verschiedene Module zugreifen: So besteht die Ausgangsbasis für die *Discrete Event Simulation Ontology* (DESO) in der *Essential Unified Foundational Ontology* (eUFO), die eine vereinfachte Version von UFO darstellt und auf UFO-A und UFO-B gründet. Demgegenüber baut deren agentenbasierte Erweiterung, die *Agent-Based Discrete Event Simulation Ontology* (ABDESO) als agentenbasierte Konzeption auf UFO-C auf.⁵¹⁷¹ Dabei gliedert sich die modulare Architektur von UFO wie folgt: UFO-0 definiert als "*foundation layer*" die Top-level Kategorien. UFO-A bildet eine Ontologie von Objekten bzw. Enduranten, UFO-B eine Ontologie von Ereignissen bzw. Perduranten, während UFO-C eine Ontologie sozialer Konzepte zum Gegenstand hat. Dabei ist UFO-C1 eine Ontologie einfacher Agenten, UFO-C2 eine Ontologie kognitiver Agenten, während UFO-C3 institutionelle Agenten und Objekte zum Gegenstand hat. Allerdings besteht zwischen diesen Modulen bereits insofern keine Kompatibilität, als der "*foundation layer*" bei UFO letztlich nichts anderes sein kann als der "*metaphysical layer*" bei Lambert/Nowak (2008). Dann ist evident, dass eine Metaphysik als geschlossenes System nicht gleichzeitig den Endurantismus und Perdurantismus verkörpern kann, indem diese letztlich auf einem gänzlich anderen Physikmodell stehen.

⁵¹⁷⁰ Vgl. hierzu auch Janssen/Obrst/Ceusters (2010: 6).

⁵¹⁷¹ Vgl. hierzu Wagner (2011) sowie Guizzardi/Wagner (2011).

Ad (R47) [*Formalsprachliche Flexibilität*]: Je nach Einsatzkontext bietet sich eine andere *formalsprachliche* Basis an. Diese ist an sich zu hinterfragen, nämlich etwa in ihrer grammatikalischen Strukturiertheit, was eine gesonderte Problematik darstellt. Ungeachtet dessen bietet sich für KS-orientierte TLO-Ansätze insbesondere OWL an. Insofern überrascht es nicht, dass etwa die BFO-TLO in OWL repräsentiert ist. Analog dazu ist auch eine maschinenlesbare Variante der BWW-TLO in OWL,⁵¹⁷² darüber hinaus auch in XML verfügbar.⁵¹⁷³ Demgegenüber ist etwa die UFO-TLO partiell in SBVR repräsentiert. Da es hier um *Rules* geht, bietet sich eine solche Variante für IS-orientierte TLO-Ansätze an. DOLCE basiert hinsichtlich der Repräsentationssprachen bzw. Austauschformate auf einer dreiteiligen formalsprachlichen Strategie: (i) im ersten Schritt zeigt sich DOLCE als modale Prädikatenlogik erster Stufe (FOL) vollständig beschrieben. (ii) Im zweiten Schritt wird jener Teil der Axiomatisierung, der sich in OWL repräsentieren lässt, isoliert und implementiert. (iii) Schließlich wird in einem dritten Schritt der verbleibende Teil in Form von KIF-Beschreibungen ergänzt.⁵¹⁷⁴ Statt des KIF-Formats wird dabei auch die *Common Logic* (CL) bzw. das *Common Logic Interchange Format* (CLIF) in Betracht gezogen,⁵¹⁷⁵ worin eine Weiterentwicklung von KIF besteht. Die Diffusion der TLO-Ansätze ist in dieser Sache positiv mit allgemein akzeptierten und weit verbreiteten Repräsentationssprachen korreliert, indem die Verschaltung von Ontologien auch mindestens kompatibel, im besten Fall die gleiche Repräsentationssprache bzw. Austauschformate voraussetzt. Dabei muss insgesamt eine *formalsprachliche Flexibilität* vorteilhaft erscheinen.

Ad (R48) [*Verknüpfbarkeit mit EA-Frameworks, CM-Methoden, Notationen*]: Eine enge, auf eine Top-level Ontologie als "*general world view*" bezogene, d.h. eine auf Basis eines globalen Weltmodells koordinierte Entwicklung von *EA-Frameworks*, *CM-Methoden* oder *Notationen* gibt es bisher nicht. TLO-Ansätze wie die BORO-TLO weisen allerdings in diese Richtung, auch wenn sie insgesamt dafür als ungeeignet erscheinen müssen. Die Frage der *Smart Enterprise Integration* (SEI) bzw. die Realisierung globaler Intelligenz im IoX-Hyperspace im Zeichen des *Real-Time Enterprise* (RTE) hängt indessen entscheidend von der Verknüpfung beider Bereiche ab. Mit anderen Worten bezieht sich die Problematik der Top-level Ontologie gewiss nicht allein auf den CPS-Aspekt und somit auf das, was zuweilen als externe Metaphysik bezeichnet wird. Vielmehr ist sie genauso auf das, was die interne Metaphysik betrifft, auszurichten. Letzteres steht bei komplexen IoX-Systemen im Zeichen der *Smart Enterprise Architec-*

⁵¹⁷² Vgl. Evermann (2009).

⁵¹⁷³ Vgl. Wang/Zhu (2004).

⁵¹⁷⁴ Vgl. Masolo/Borgo et al. (2003).

⁵¹⁷⁵ Vgl. Masolo/Borgo et al. (2003: 6, Fn. 3).

ture (SEA), die wiederum mit dem SOC-Paradigma bzw. der *Sense-and-Respond Infrastructure* (SARI) auf ED-SOA-Prozesse weist.

Ad (R49) [*Eigentumsrechte, Lizenzierung, Nutzungskosten*]: Die Idee der *Top-level Ontologie* als oberste ontologische Referenzbasis der Informatik geht Hand in Hand mit ihrer Diffusion. Insofern stellt sich die Frage, was die Diffusion eines TLO-Ansatzes bedingt, und das betrifft unmittelbar die Frage der *Eigentumsrechte, Lizenzierung* sowie der *Nutzungskosten* sowie weitere institutionelle Gesichtspunkte. TLO-Ansätze wie die Highfleet *Upper Level Ontology* (ULO) sind privatisiert und mit Nutzungskosten verbunden. Insofern ist bei ihnen auch nicht von einer allgemeinen Verbreitung auszugehen, was der TLO-Idee in ihrer universalen Relevanz widerspricht. Andere TLO-Ansätze wie die BFO-TLO oder die DOLCE-TLO wurden in ihrer Entwicklung mit öffentlichen Mitteln gefördert und sind als *Open Source Code* etwa in OWL verfügbar. Entsprechend fallen auch keine Nutzungskosten an, womit diese Variante der Diffusion eines TLO-Ansatzes förderlich ist. Dabei gilt wiederum aufgrund der ontologischen Interdependenz im IoX-Hyperspace, dass es auf Dauer kein Nebeneinander inkommensurabler TLO-Ansätze geben kann.

Ad (R50) [*Investitionssicherheit*]: Die Frage der *Investitionssicherheit* stellt gewiss eine der schwierigsten bei der TLO-Evaluierung dar, indem sie von einer ganzen Reihe von Faktoren abhängt. Zudem kann sie sich je nach Perspektive sehr verschieden darstellen. Dennoch lassen sich auch in dieser Sache einige Feststellungen treffen, die objektiver Art sind: die Investitionssicherheit hängt zum einen wesentlich von der Diffusion eines TLO-Ansatzes ab, zum anderen von seiner Zukunftsoffenheit. Denn die Diffusion entscheidet über weitere Wartung und Support, während nicht-zukunftsoffene TLO-Ansätze, die etwa mit Kern-CPS-Anforderungen nicht zurechtkommen, nicht minder problematisch sind. Wenn die Fundamente in dieser Hinsicht nicht stimmen, hilft auch kein Angebot an Wartung und Support. Entsprechend ist zwischen einer gegenwärtigen und zukünftigen Perspektive zu differenzieren. Keine Investitionssicherheit bieten also solche TLO-Ansätze, die nicht diffundiert sind, also etwa die Sowa-TLO. Das gilt somit ungeachtet dessen, dass bei ihr die Wahl des Fundaments gerade unter CPS-Aspekten als einzig richtige gewertet werden muss. Umgekehrt bieten TLO-Ansätze wie die BFO-TLO gegenwärtig eine vergleichsweise superiore Wartung und Support. Das ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass ihre Fundamente mit den CPS-Anforderungen nicht korrespondieren und sich damit mehr und mehr herausstellen wird, dass es sich bei diesem TLO-Ansatz in verschiedener Hinsicht um eine grundsätzliche Fehlentwicklung handelt, was insbesondere im Hinblick auf die CPSS/SEA-Anforderungen gilt. DOLCE erscheint in dieser Sache weitaus zukunftssicherer, etwa unter Hinweis auf ihre

Stellung als Referenzbasis der W3C SSN Ontology oder dem im Kontext der Smart Factory eingesetzten ADACOR-Ansatz. Allerdings sollte dies nicht über die großen Defizite und Defekte hinwegtäuschen, die auch dieser TLO-Ansatz besitzt. Dass diese allgemein unbekannt bzw. unbemerkt zu sein scheinen ändert nichts an der Tatsache, dass sie faktisch gegeben sind. Vor diesem Hintergrund muss kritisch gewertet werden, dass Aspekte wie etwa die mangelnde Akzeptanz objektiven Wissens, die fehlende objektive Realität, ihr endurantistischer Objektzentrismus, ihre Orientierung am *Common Sense*, das nicht mit den *New Physics* kompatible Physikmodell oder ihre mangelhafte Eignung als CM-Ontologie sowie ihre letztlich bestehende CPS- bzw. MAS/CAS-Inadäquanz dem Normalanwender kaum als problematisch erscheinen werden. Dennoch sind solche Aspekte im Ganzen hochproblematisch. Analoges gilt in der Hinsicht, dass ihre Fixierung auf den *cognitive bias* das Inkommensurabilitätsproblem eher verschärft als es heilt. Insofern die Frage der Investitionssicherheit die Zukunft betrifft, kann dieses Kriterium letztlich kein einziger der diversen TLO-Entwürfe für sich reklamieren.

7.4 Zwischenfazit: Zur Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter

»*Computer scientists and philosophers lack consensus in their communities for creating the very large, wide-coverage ontologies that are needed, although they have the necessary formal languages to do so.*«

— Ian Niles/Adam Pease (2001: 3)

Mit Pkt. 7.3 sind die IoX-bezogenen Defizite und Defekte bestehender TLO-Ansätze deutlich geworden, womit exemplarisch bereits ersichtlich wird, dass sie der Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Theorieanwärter insgesamt kaum entsprechen können. Dass die bisherigen TLO-Theorieanwärter zahlreichen Irrtümern aufgesessen sind, die keine Basis für integrierte Ontologien stellen können sondern zu Fehlentwicklungen führen, liegt mit Verweis auf Pkt. 7.1 nicht zuletzt in ihrem Verzicht auf ein systematisches wie universales *Requirements Engineering* begründet. Dabei steht außer Frage, dass die Entsprechung von McCarthys (1995) "*general world view*" an der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* festzumachen hat. Denn darin ist die maximale Anforderung zu erachten, mit der sich der "*general world view*" der AI-Disziplin im *Smart Web* bzw. insgesamt konfrontieren lässt. Entsprechend wurden mit diesem siebten Teil alle in Pkt. 1.3 definierten Teilziele (TZ7) erreicht: Nachdem die Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Theorieanwärter in Pkt. 7.2 systematisch wie universal bestimmt wurde, konnte in Pkt. 7.3 exemplarisch gezeigt werden, dass bestehende TLO-Theorieanwärter maßgebliche IoX-bezogene Defizite und Defekte aufweisen.

Darüber hinaus ist nicht zuletzt anhand der exemplarisch vollzogenen Konfrontation des in Pkt. 7.2 erarbeiteten TLO-Evaluierungsschemas mit bestehenden TLO-Ansätzen in

Pkt. 7.3 die zentrale Relevanz der adäquaten Bestimmung der Meta-Ontologie sowie der fundamentalen Kategorien offensichtlich geworden. Denn damit offenbart sich, wie vielfältig diese meta-ontologischen Dispositionen und Kategorien insgesamt bestimmbar sind. Insofern lässt sich auch nicht einfach eine beliebige *Top-level Ontologie* voraussetzen; vielmehr ist ihre Voraussetzung in umfassender Weise zu begründen und zwar in der Weise, die ihrer Eigenart als universaler Ontologie der Informatik gerecht wird. Vor diesem Hintergrund weist der Diskurs um die Anforderungsspezifikation IoX-konformer Theorieanwärter in diesem siebten Teil auch insgesamt den Weg in der Frage um das sachgerechte Verständnis wie die zukunfts offene Konzeption der Ontologie der Informatik. Tatsächlich bilden die IoX-bezogenen Defizite und Defekte in Wahrheit allesamt generelle Defizite und Defekte in Bezug auf das Ontologieverständnis der Informatik insgesamt. Wenn etwa der BWW-TLO die Agentenperspektive genauso fehlt wie der CEP-Ereigniszentrismus, wenn es mit Bunge keine möglichen Welten geben kann und keine 4D-Entitäten, dann ist sie nicht CPSS- bzw. IoX-adäquat. Tatsächlich aber kann sie damit insgesamt nicht für die Ontologie der Informatik wegweisend sein. Genauso muss es überaus zweifelhaft erscheinen, ob eine allgemeine Ontologiekonzeption der Informatik, die gerade auch den Belangen der *Semantic E-Sciences* gerecht zu werden hat, mit DOLCE tatsächlich auf dem *Modalen Realismus* von D.K. Lewis gründen kann. Dabei wird wohl niemand in Frage stellen, dass es sich dabei um eine metaphysische Position im engeren Sinne handelt. Doch *metaphysische* Ontologie im klassischen Sinne will DOLCE nicht sein, womit diese Position widersprüchlich ist. Richtig ist vielmehr, dass auch DOLCE als *deskriptive Metaphysik* mit einer linguistisch-kognitiven Ontologieauffassung an dem Erfordernis einer integrierten metaphysischen Wissensontologie versagt.

Ferner ist mit Pkt. 7.3 deutlich geworden, dass sich alle TLO-Theorieansätze grundsätzlich widersprechen. Alle TLO-Theorieansätze sind fundamental inkompatibel. Allerdings ist dies bei konkurrierenden TLO-Theorieanwärtern auch gar nicht anders zu erwarten. Jeder generische TLO-Ansatz ist definitionsgemäß inkompatibel, indem er eine gesonderte metaphysische bzw. meta-ontologische Position artikuliert. Genau darin besteht sein ureigenes Moment. Der explizite Anspruch der UFO-TLO, eine Synthese so verschiedener TLO-Ansätze wie BWW, DOLCE und GFO/GOL bilden zu wollen, scheitert vor diesem Hintergrund bereits im Ansatz. Analoges gilt für die SUMO-TLO, die einen ähnlichen Syntheseanspruch artikuliert. Dieser erstreckt sich von J. Allens (1983) Intervallalgebra (Allen-Kalkül) als inferentielle Logik zur Repräsentation zeitlicher Zusammenhänge über Ontologiebestandteile B. Smithens und Guarinos bis zu Russell/Norvig und der Prozessontologie Sowas.⁵¹⁷⁶ Es steht außer Frage, dass solche eklektizistischen Ansätze in sich weder homogen sein können, noch tatsächlich insgesamt einen "*general world view*" bedeuten können. Indem SUMO einen 3D-Ansatz darstellt, ist die Kombination von Teilen Sowas bzw. Russell/Norvigs widersprüchlich und letztlich inkompatibel, woraus folgt,

⁵¹⁷⁶ Vgl. Niles/Pease (2001b).

dass SUMO als Ansatz inkonsistent ist. Über alle fünfzig Anforderungen betrachtet ließen sich homogene Cluster allein anhand des 3D-Substanzkriteriums vs. 4D-Prozesskriteriums bilden. Doch 3D+T-Ansätze wie BFO oder DOLCE bleiben in zentralen Fragen speziell positioniert, etwa wenn es um die Frage möglicher Welten, um Konzepte oder Wahrma-cher geht. Genauso unterscheiden sich etwa BWW und DOLCE in nahezu allen Details in grundsätzlicher Weise. Man sollte auch nicht dem Irrtum verfallen und annehmen, dass Bunges *Scientific Metaphysics* mit Smithens *Scientific Ontologies* kompatibel wären; das sind sie aufgrund differenter Metaphysikklassen weder in metaphysischer Hinsicht, noch sind sie das unter epistemologischen bzw. methodologischen Gesichtspunkten.

Es wurde bereits herausgearbeitet, dass das Inkommensurabilitätsproblem der Ontologie bzw. der Top-level Ontologie zuvorderst *metaphysisch* bedingt ist. Das ist allerdings in dem Sinne gemeint, dass *jede* Ontologie, also auch linguistische Ontologien bzw. semanti-sche Netze eine ganze Reihe metaphysischer Dispositionen verkörpern. Entsprechend stellt sich das Inkommensurabilitätsproblem nicht nur im Kontext von metaphysischen Ansätzen im engeren Sinne, sondern auch selbst bei linguistischen Ontologien wie Cyc, etwa wenn die Kategorien bzw. Klassen zwischen Cyc und WordNet nicht äquivalent sind.⁵¹⁷⁷ In der Tat besteht das Inkommensurabilitätsproblem der TLO-Theorieanwärtler bzw. der Ontolo-gie als solcher bereits hinsichtlich einfachster Semantikfragen. Das fängt schon bei der Wurzel aller Kategoriensysteme an, indem "*Thing*" etwa in der BWW-TLO als materielles, real existierendes Konkretum einen vollkommen anderen Bedeutungsgehalt hat als "*Thing*" bei Cyc, wo es als vollständig generischer Begriff synonym zur "*Entität*" verwendet wird: »Syntactically speaking, a *thing* is anything *about which* you can state a fact, and *to which* you can ascribe a name«. ⁵¹⁷⁸ Entsprechend ist bei Cyc die Rede etwa von »a *thing* like Fred, Eating, Happiness, or the number 42«. ⁵¹⁷⁹ Es geht also umgangssprachlich um *lingu-istische "Things"* im Sinne des *Common Sense*, während das *metaphysische "Thing"* im Ratio-Empirismus Bunges in einem dezidiert physikalischen Zusammenhang steht. Nicht alle, jedoch eine ganze Reihe *linguistischer* Ontologieansätze erkennen diese Grundprob-lematik, und verstehen sich selbst als *deskriptive Metaphysiken*, die zwar linguistisch bzw. sprachphilosophisch (OLP) gehalten sind, dabei jedoch gleichzeitig eine kategoriale Aus-einandersetzung im Zeichen der *Ersten Philosophie* suchen. Doch sollte nicht übersehen werden, dass die metaphysischen Dispositionen bei *sämtlichen* Ontologieansätzen, also auch schon bei naiven Ontologieansätzen wie dem Gruberschen, implizit *immer* existent sind. Denn sie basieren auf der Grammatik der Sprache, und diese hat nicht nur in Bezug auf die Verhältnisbestimmung von Objekt und Ereignis eine ganz bestimmte fundamentale Struktur, sondern sie verkörpert insgesamt ein Weltmodell, nämlich das des *Common Sense*. Und auch dieses macht Dispositionen etwa in Bezug auf Raum und Zeit. So lässt sich gewiss sagen, dass die Alltagssprache metaphysisch explizit *nicht* auf einem exklusi-

⁵¹⁷⁷ Vgl. Kokla/Kavouras (2001).

⁵¹⁷⁸ Vgl. Lenat/Guha (1990: 150), Hvh. im Orig.

⁵¹⁷⁹ Vgl. Lenat/Guha (1990: 149), Hvh. im Orig.

vistischen Vierdimensionalismus aufbaut; dass für sie Objekte zentral sind usf. So gesehen kann unsere Feststellung, dass das Inkommensurabilitätsproblem der Ontologie bzw. der Top-level Ontologie zuvorderst *metaphysisch* bedingt ist, tatsächlich universal gelten. Somit gilt auch die These vom 'ontic commitment' für jedes Ontologieverständnis generell:

»[O]ntology provides a means for analyzing and deciphering the real world semantics that are hidden in the data. This is done through the notion of 'ontic commitment'. Ontic commitment is based on 'what exists' and it expresses a commitment to the existence of certain objects and their categories.«⁵¹⁸⁰

Natürlich man kann die Ursache des Inkommensurabilitätsproblems auch von anderer Seite aufschließen, nämlich mit der Feststellung, dass sie genau darin begründet liegt, dass in der Frage der Ontologiearchitektur bzw. im Engineering der Top-level Ontologie bisher kein systematisches wie universales *Requirements Engineering* vollzogen wird. Wenn keine konkreten meta-ontologischen Positionen bezogen werden, bleibt vieles vage, wie es insbesondere bei Cyc festzustellen ist. Es fehlen etwa die üblichen Gegensatzpaare von *Endurantismus vs. Perdurantismus*, genauso wie insgesamt ein Bekenntnis zu einer metaphysischen Programmatik. Dennoch ist das Werk von Lenat/Guha (1990) durchsetzt mit Metaphysik, auch wenn davon keine Rede ist. Wenn etwa nicht expliziert wird, ob es sich um einen 3D-, einen 4D-Ansatz oder einen kombinatorischen Ansatz handelt, bleibt allein der Weg, dies aus den Kategorien selbst herauszulesen. Dass es in dem Werk Lenat/Guhas (1990) unter anderem um "Space-Time Regions" geht, ist ein erster Hinweis darauf, dass es sich um einen 4D-Ansatz handeln könnte; allerdings wird dies mit einem "Really Worth Representing?" sogleich wieder eingeschränkt, was wiederum nicht klar beantwortet wird. Diese Kritik gilt selbst für TLO-Ansätze, die es in dieser Hinsicht bereits um einiges besser machen: Bspw. ist bzgl. der GFO positiv herauszustellen, dass sie auf Gracias (1999) metaphysischen Kategorien aufbaut. Allerdings bleibt unklar, was diese metaphysischen Grundlagen im Einzelnen sind, was der vollzogene Wechsel von der aristotelischen Tradition zur perdurantistischen Tradition unterstreicht. Die Problematik besteht hier darin, dass die philosophische Grundlegung der GFO in einem Eklektizismus besteht, der von den neo-aristotelischen Positionen Brentanos oder Chisholms über den Schichtengedanken der *Neuen Ontologie* Hartmanns bis hin zur Auseinandersetzung mit diversen 4D-Ontologien reicht.⁵¹⁸¹ Allerdings sind all diese Positionen alles andere als miteinander kompatibel. Wesentlich ist damit die Feststellung, dass Metaphysik nicht nur als *revisionäre* Metaphysik zu verstehen ist, sondern damit zusammenhängend auch, dass sie einem kohärenten Ganzen zu entsprechen hat. Die Ontologie der Informatik kommt mit einem Eklektizismus nicht weiter, nicht zuletzt weil sein Zuschnitt strittig wie variabel ist. Vielmehr benötigt sie das, was *Metaphysik* eigentlich ausmacht, nämlich ein *kosmologisches Totalmodell*, das nicht allein mit Zuses (1982) *Computing Universe* korrespondiert, sondern auch mit den Erfahrungswissenschaften und praktischen Technologien. Mit anderen Worten bedarf die

⁵¹⁸⁰ Daga et al. (2005: 227).

⁵¹⁸¹ Vgl. etwa Herre/Heller et al. (2006) sowie R. Baumann et al. (2012, 2014).

Informatik eines adäquaten, in sich konsistenten metaphysischen Systems mitsamt daraus abgeleiteten universal gültiger Kategorien.

Diese Problematik führt zwar letztlich auf den oben erörterten metaphysischen Zusammenhang zurück, doch wird erst mit dem Verweis auf das fehlende systematische wie universale *Requirements Engineering* ersichtlich, dass die Lösung nicht an sich in beliebigen Metaphysiken zu suchen ist, sondern dass sie allein in einer *revisionären Metaphysik* bestehen kann, die im Zeichen des *kritischen Realismus* steht. Man kann dies noch weiter einschränken, indem bei einer CPSS-adäquaten Ontologiekonzeption die Lösung des Inkommensurabilitätsproblems allein in einer techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* liegen kann, die gleichzeitig Digitalmetaphysik ist. Allein auf ihrer Basis lässt sich das Physikmodell, ein universales komplexes Systemmodell sowie die logico-mathematischen Grundlagen der Informatik sachgerecht klären. Dabei ist offensichtlich, dass alle drei genannten Aspekte etwas mit dem Strukturalismus zu tun haben, und sich das universale Moment *Cyber-physischer Systeme* (CPS) nur dann sachgerecht entwickeln lässt, wenn etwa mit C.F. von Weizsäcker (1974) bzw. Carnap (1928a) nicht nur die Informatik, sondern auch die Physik als *Strukturwissenschaft* erachtet wird. Nur dann kann es eine echte Transdisziplinarität geben, die auf einer einigenden Metaphysik aufbaut, welche mit Whitehead (1929a) ihrerseits strukturalistisch verankert ist.

8. Abschließende Betrachtung: Meta-Ontologie im *Internet of Everything* (IoX)

»In fact, the web of everything we know and use from day to day is complex: We need the power of a strong language to represent it.«

— Tim Berners-Lee (1999: 183)

Im Zuge dieser Abhandlung sind die elementaren Ontologieprobleme der Informatik offenkundig geworden. Sie gelten natürlich genauso für die Philosophie, und das nicht nur dann, wenn ein kausales Realitätsverständnis vorauszusetzen ist, das eine ontologische Berücksichtigung technologischer Aspekte im Zeichen des CPST- bzw. IoX-Hyperspace zwingend macht. Im Kern sind diese Ontologieprobleme dadurch begründet, dass nicht die richtigen Fragen gestellt werden und dass nicht systematisch nach einem allgemeingültigen Lösungsansatz gesucht wird, der mit einem neutralen, universalen *Requirements Engineering* beginnen muss. Dieses lässt sich wiederum allein auf Basis einer Digitalmetaphysik entwickeln, womit die Ontologieanforderungen einerseits in den Kontext des *IoX-Hyperspace* gestellt werden, andererseits im Zeichen *universaler Ontologie* genauso zwingend am "*Universe of Discourse of Anything*" festmachen müssen. Mit der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) wird diese Sichtweise zwingend, indem das ontologische Problem mit ihr nach einer Totallösung verlangt, die an sich mit Berners-Lee (1999) konform geht:

»[T]he world can be seen as only connections, nothing else. We think of a dictionary as the repository of meaning, but it defines words only in terms of other words. I liked the idea that a piece of information is really defined only by what it's related to, and how it's related. There really is little else to meaning. The structure is everything.«⁵¹⁸²

Die Informatik benötigt dabei Quines Ontologiediskurse nicht nur insofern, als er die Defizite *linguistischer* Ontologiekonzepte aufgezeigt hat, auf die Berners-Lee et al. (2002) wie die gegenwärtige Informatik insgesamt fixiert sind. Vielmehr richtet sich die Ontologiefrage mit Quine (1948) faktisch auf *alle Entitäten*; d.h., dass das *Internet of Everything* als "*Universe of Discourse of Anything*" sich ontologisch tatsächlich auf Quines "*Everything*" erstreckt. Allerdings scheitert Quines *Naturalismus* daran selbst; mit dem *IoX-Hyperspace* kommt man nicht an der cyber-physischen Digitalmetaphysik vorbei. Damit lässt sich abschließend feststellen, dass die tatsächliche Antwort auf McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" letztlich nicht in seiner eigenen Antwort bestehen kann: Entgegen McCarthy (2000: 45) kann die für die AI-Disziplin bzw. für die Informatik insgesamt adäquate Ontologie gerade nicht in jener Quines liegen, auch wenn sie auf Basis ihrer Whiteheadschen Momente in die richtige Richtung geht. Denn für Quine hat zwar ontologisch "*Everything*" Relevanz; indessen eröffnet er es in seinem strengen Empirismus und Naturalismus gerade nicht. Die Antwort auf McCarthys (1995) Grundsatzfrage führt damit vom Quineschen Derivat zur Whiteheadschen Ontologieposition als Original zurück, indem allein dieses tatsächlich *alle Entitäten* im *Cyber-Physical-Social-Thinking* (CPST) *Hyperspace* des *Internet of Everything* im Sinne einer *Ontology of Levels* eröffnet. Damit ist die metaphysische Antwort durch eine wissensontologische entsprechend unmittelbar

⁵¹⁸² Berners-Lee (1999: 12).

ergänzt, indem Popper, der metaphysisch explizit auf Whitehead aufbaut, diese *Ontology of Levels* mit seiner *Drei-Welten-Lehre* absorbiert. Indem McCarthys (1995) Frage indes auf die Belange der AI-Disziplin abstellt, läuft die Antwort auf seine Frage schließlich auf das IMKO *OCF* und *CYPO FOX* hinaus, indem sie die Positionen von Leibniz, Whitehead und Popper zu einem Ganzen verknüpfen und es für die konkreten Zwecke des *Internet of Everything* (IoX) um alle technischen Aspekte ergänzen, die mit der *Top-level Ontologie* als oberster ontologischer Referenzebene der Informatik notwendig werden. Hierzu gehört nicht zuletzt die erforderliche *TLO-EO-Verkopplung*, die erst die *globale* IoX-Intelligenz mit dem *Real-Time Enterprise* (RTE) verbindet, welches wiederum auf dem *Service-Oriented Computing* (SOC) von Multiagentensystemen (MAS) aufbaut.

Der Ontologiedebatte der Informatik ist jedoch noch ein grundlegend anderes Problem inhärent, und das besteht darin, dass es oftmals selbst jenen am notwendigen ontologischen Sachverstand ermangelt, die diese Debatte bereits auf vergleichsweise hohem qualitativem Niveau führen. Ein typischer Fehler besteht etwa darin, wie Wyssusek/Klaus (2005b) die Ontologieansätze Quines und Grubers für kompatibel zu halten, während sie in Wirklichkeit mit dem strengen Empirismus bzw. Naturalismus Quines kaum unterschiedlicher sein könnten. Vor allem aber liegen große Teile der Informatik mit ihrer grundlegenden Annahme falsch, dass in Gruber oder auch in der bereits unvergleichlich besseren Quineschen Ontologieposition tatsächlich die ontologische Lösung für die Disziplin bestehen kann. Vielmehr gehen beide, insbesondere aber Gruber, an den eigentlichen Zwecken der Informatik in elementarer Weise vorbei. Denn bei Quine (1948) bezieht sich die Ontologie letztlich allein auf das Physische, auf die Natur, während das Artifizielle, also Cyberwelten auf seiner Grundlage nicht adressierbar ist. Das gilt nicht zuletzt für die kausale Verknüpfung zu *Cyber-physischen Systemen* (CPS), die einen Emergentismus, jedoch keinen Quineschen Reduktionismus voraussetzt. Gerade wenn der Quinesche Naturalismus mit Maddy (1990, 1995) zu einem *mathematischen Naturalismus* weiterentwickelt wird, entspricht das nicht dem, was die Informatik tatsächlich ontologisch erfordert. Tatsächlich helfen die mathematischen Kategorien Quines nur bedingt; die Informatik bedarf jedoch in erster Linie vielmehr universaler techno-wissenschaftlicher Kategorien, indem allein auf dieser Basis eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation möglich wird. Sie sind genauso unangebracht für das *Cognitive Computing*, indem *Cyber-physische Systeme* (CPS) zunächst einmal eine *cyber-physische* ontologische Grundlegung erfordern. Diese setzt unter Maßgabe eines kausalen Realismus ein wissenschaftskonformes Physikmodell genauso zwingend voraus wie eine Digitalmetaphysik, die alle Cyberwelten universal adressierbar macht. Vor allem kann es dabei nicht wie bei Quine um einen reduktionistischen Naturalismus gehen; vielmehr bedarf es einer *emergentischen Mehrweltenontologie*, der mit Pkt. 6.2.7 ein *multiplikatives* Ontologieverständnis folgt.

Indessen läuft die CPSS-Adäquanz der Ontologie notwendig darauf hinaus, alle genannten Aspekte zusammenzubringen. Denn Physikmodell, Cyberwelten oder die transdiszip-

linäre Wissensrepräsentation können natürlich nicht unverbunden nebeneinander stehen. Vielmehr geht es gerade darum, alles in einer einzigen Ontologiekonzeption zu integrieren, womit diese allein auf der Grundlage einer techno-wissenschaftlichen *Klasse-4-Metaphysik* stehen kann, die zugleich Digitalmetaphysik ist. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass das *Internet of Everything* sich allein dann sachgerecht realisieren lässt, wenn es auf die Grundlage einer cyber-physischen Meta-Ontologie gestellt wird, die einen transdisziplinären, mithin universalontologischen Zugang zu allen Diskurswelten eröffnet. Entscheidend ist dabei mit Ooi et al. (2009) gerade der kausale Übergang zwischen dem physischen und virtuellen Raum. Das Kriterium der CPSS-Adäquanz der Ontologie impliziert das Erfordernis eines "*co-space environment*"; für dieses gilt, dass »the physical space and the virtual space co-exist«. ⁵¹⁸³ Elementar ist »the co-existence of the two spaces, not as independent entities but as an integrated world where the two spaces interact simultaneously, and users experiencing an augmented world (either reality or virtuality) seamlessly«. ⁵¹⁸⁴

Von alldem ist bei Gruber (1993, 1995) keine Rede, und es sollte nachvollziehbar sein, dass auf Basis von Alltagssprache wie beliebiger Repräsentierbarkeit ontologischer Welten keinerlei Zugang zu einer CPSS-adäquaten Ontologie bestehen kann. Vielmehr ist es an sich verkehrt, den Ansatz Grubers überhaupt als "Ontologie" zu bezeichnen, indem er gerade an dem, was Ontologie ausmacht, grundsätzlich vorbeigeht. Denn in der Ontologie geht es primär immer um ein *fundamentales* Weltmodell, womit sie nicht nur an sich als *universale Ontologie* zu begreifen ist, sondern auch als *Heavyweight-Ontologie*. Diejenigen Informatiker, die sich auf Gruber stützen, können also letztlich kaum im Kern verstanden haben, worum es bei der Ontologie – gerade auch in der Informatik – eigentlich geht – und gehen muss. Vielmehr steht außer Zweifel, dass sich eine CPSS-adäquate Ontologie weder auf Basis der Alltagssprache bzw. dem *Common Sense* als solchem begründen lässt, noch das dazu deskriptive Metaphysiken bzw. veraltete Metaphysikansätze wie der aristotelische bzw. der Cartesische wegweisend sein können. Mit all diesen linguistischen bzw. sprachphilosophischen Ansätzen, dem Gruberschen eingeschlossen, bleibt man notwendig auf dem Stand *semantischer Netze*, und erreicht gerade nicht jenen, den die *Ontologie* erst eröffnet. Insofern gezeigt wurde, dass eine CPSS-adäquate Ontologie auch MAS- bzw. CAS-adäquat sein muss, ist auch in dieser Hinsicht festzustellen, dass alle bisherige Ontologie auf einer nicht tragfähigen Grundlage aufbaut. Wenn alles "*Computing*" mit Castel (2002) *Ontological Computing* ist, lässt sich eine CPSS-adäquate Ontologie allein auf Basis der *integrierten metaphysischen Wissensontologie* des IMKO OCF realisieren, woran in Pkt. 3.5 mit der *Cyber-Physical Ontology* (CYPO) als entsprechender Ontologiearchitektur angeschlossen wurde. Tatsächlich muss die Metaphysik in doppelter Hinsicht der *Klasse-4-Metaphysik* entsprechen: zum einen, weil sie gleichzeitig ratio-empirische, d.h. reale Metaphysik wie Digitalmetaphysik zu sein hat; zum anderen, weil sie als erste in

⁵¹⁸³ Vgl. Ooi et al. (2009: 5).

⁵¹⁸⁴ Vgl. Ooi et al. (2009: 9).

techno-wissenschaftlicher Hinsicht vollständig korrekt sein muss. Dazu gehört insbesondere die Korrespondenz zur Physik bzw. anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen.

Nach fünfzig Jahren Ontologieforschung in der Informatik ist es an der Zeit zu klären, was "Ontologie" überhaupt ist und worin sie sich von den tradierten semantischen Netzen unterscheidet. Ihre hier vollzogene Reflexion, die nicht erst mit Mealy (1967), sondern mit Leibnizens (1714a) *Metaphysica* als erstem Ansatz zur Digitalmetaphysik beginnt, offenbart grundsätzliche Defizite und Defekte wie ein konfuses Ontologieverständnis der Informatik, dessen möglicherweise fatale Konsequenzen nicht zuletzt vor dem Hintergrund komplexer ontologischer Anwendungs- und Integrationsszenarien im *cyber-physischen "Reality Computing"* deutlich werden, wie sie das *Internet of Everything* bzw. die *Ontologie komplexer IoX-Systeme* mit sich bringt. Sie lassen sich allein auf Basis eines radikal neuen ontologischen Fundaments überwinden, das auf alle Klassen intelligenter Automaten resp. semantischer Maschinen projizierbar ist, und mit der Kombinierbarkeit verschiedenster Ontologietypen auf ein universales Ontologieverständnis wie auf eine integrierte Ontologiekonzeption hinausläuft.

Mit den verschiedensten Automatenklassen gilt im Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversum: Ontologie ist für alle Agenten da, nicht nur für *menschliche* Agenten, sondern genauso für *maschinelle* Agenten. Sie hat damit im *Internet of Everything* auf alle Interaktionsmodi von Agenten abzustellen. D.h. nicht nur auf jene, die sich unmittelbar auf das *Internet of People* (IoP) beziehen, also *Human to Human* (H2H), *Human to Machine* (H2M) sowie *Machine to Human* (M2H). Vielmehr erfordert sowohl das *Internet of Things* (IoT) als auch insbesondere das *Internet of Agents* (IoA) eigene bzw. andere Interaktionsmodi. Diese sind im AI-basierten IoX-Hyperspace gar insgesamt, d.h. etwa sowohl in Bezug auf die Anzahl an Interaktionen als auch im Hinblick auf ihre Bedeutung für das *Autonomic Computing* als die ausschlaggebenderen zu erachten. Hierzu gehört zuvorderst die Interaktion *Machine to Machine* (M2M), die jedoch nur dann sachgerecht zu verstehen ist, wenn diese um eine Kontext- bzw. Situationssensitivität ergänzt wird. Dann lässt sich im Sinne der Sensorik abstrakt von einer Interaktion *Reality to Machine* (R2M), sowie im Sinne der Aktorik abstrakt von einer Interaktion *Machine to Reality* (M2R) sprechen. Ontologisch sind diese beiden Ergänzungen von großem Stellenwert, indem mit ihnen deutlich wird, dass auch für die M2M-Interaktion die Semantik des inexakten *Common Sense* gänzlich unzureichend ist. Vielmehr werden exakte *Scientific Ontologies* erforderlich. Diese haben dem Stand der modernen Wissenschaft, insbesondere einem 4D-Physikmodell physischer *Event Streams* zu entsprechen, wie sie der *"New Physics"* bzw. der *Komplexitätsphysik* – nicht zuletzt von Whitehead ausgehend – inhärent sind.

Insofern liegen die Protagonisten *semantischer Netze* wie Gruber bzw. des *Semantic Web* als Web 3.0 wie Berners-Lee oder Hendler nicht nur mit ihrer Verwechslung von semantischen Netzen mit "Ontologie" falsch, sondern genauso mit der Universalisierung ihrer Semantik. Sie unterliegen auch hier einem grundsätzlichen Irrtum, indem sie übersehen,

dass sich die Semantik in der Informatik gerade nicht auf linguistischer Basis universal bestimmen lässt. Vielmehr gilt mit Simons (2006b: 95): »metaphysics constrains semantics«. Daraus folgt: es kann zwar *Common Sense Ontologien* für menschliche Agenten geben, und es *muss* sie mit Pkt. 8.2 gar geben; nur kann es sich dabei allein um einen gesonderten Ontologiemodus (W3L) handeln, der auf dem gemeinsamen metaphysischen Gerüst einer integrierten Ontologiekonzeption steht. Mit anderen Worten haben die konventionellen semantischen Netze, die mit Gruber et al. auf linguistischer Basis der unscharfen Alltagssprache stehen, insofern ausgedient, als in einer integrierten Ontologiekonzeption der Semantik stets eine cyber-physische Metaphysik vorauszugehen hat, auf die sie zu beziehen ist.

Cyber-physische Metaphysik kann nicht auf eine deskriptive Metaphysik hinauslaufen. Vielmehr ist der Versuch, deskriptive Ontologie ohne echte Metaphysik zu betreiben *naiv*,⁵¹⁸⁵ umgekehrt ist die Praxis, Metaphysik ohne Ontologie zu vollziehen,⁵¹⁸⁶ inkomplett, unsachgerecht und ohne tatsächlichen Aussagegehalt. Mit Wells (1951) benötigt *jede* Ontologie ein Kategoriensystem, da sie ansonsten inkomplett ist. Diese Kategorien sind immer, entweder direkt oder indirekt, metaphysische Kategorien; sie weisen also auf die fundamentalen Strukturen der Realität. Dabei sollte nicht übersehen werden, dass selbst Freges Ontologie,⁵¹⁸⁷ oder aber die Frege-Church Ontologie solche Kategoriensysteme aufweisen.⁵¹⁸⁸ Nun gibt es in der Tat die unterschiedlichsten Kategorien, nicht nur *realistische*, sondern ebenso *konzeptualistische*, *linguistische* oder – wie bei Quine – *mathematische*. Doch steht außer Frage, dass eine CPSS-adäquate Ontologie immer *realistische* Kategorien benötigt, und damit kommt die Informatik in ihrer Ontologiefrage nicht an der *revisionären* Metaphysik vorbei. Indem mit Van Inwagen (2002: 3) gilt: »This final or ‘ultimate’ reality is the subject-matter of metaphysics«, steht außer Frage, dass sich diese Realität gewiss nicht auf sprachlicher Basis bestimmen lässt. Vielmehr ist dies allein auf einer Grundlage möglich, die den Zugang zu einer cyber-physischen *kausalen* Realität eröffnet. McCarthys (1995) Postulat nach dem "*general world view*" für die oberste Ontologieebene der Informatik ist also mit McCarthy/Hayes (1969) in der Tat von fundamental *metaphysischer* Natur, nur sollte die Informatik dabei ganz genau überlegen, um welche Art von Metaphysik es dabei gehen muss. Vor dem Hintergrund unserer Ausführungen ist in dieser Sache evident, dass allein die *Klasse-4-Metaphysik* für die Informatik als adäquat erachtet werden kann. Somit sind alle metaphysischen bzw. meta-ontologischen Grundlagen der Informatik in Whitehead (1929a) zu suchen.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass die Ontologiepraxis der Informatik auf tönernen Füßen steht. Diese Feststellung gilt insofern als ihre Ontologiediskussion nicht nur an sich

⁵¹⁸⁵ Vgl. exemplarisch Varzi (2011).

⁵¹⁸⁶ Vgl. hierzu Walsh (1963: 63 ff.; 1967).

⁵¹⁸⁷ Die Frege-Ontologie differenziert *Funktion* und *Gegenstand* als ontologische Grundunterscheidung; während Begriffe als spezielle Funktionen angesehen werden, bilden Propositionen (Gedanken) Gegenstände, vgl. hierzu speziell Kutschera (1989: 90).

⁵¹⁸⁸ Vgl. hierzu Church (1951).

durch große Konfusion geprägt ist, sondern auch, weil es zwar eine überaus große Zahl konkurrierender wie inkommensurabler Ontologiekonzepte und TLO-Entwürfe gibt, jedoch keiner dieser Ansätze als tatsächlich CPSS- bzw. IoX-adäquat gewertet werden kann. In vielen Fällen sind die bisherigen TLO- bzw. EO-Theorieanwörter vielmehr sehr weit von dieser CPSS- bzw. IoX-Adäquanz entfernt, obschon diese für nahezu sämtliche moderne AI-Systeme als unabdingbar zu werten ist. Dabei ist bemerkenswert, dass entsprechende Defizite und maßgebliche Defekte gerade bei jenen Ansätzen auszumachen sind, die am verbreitetsten bzw. populärsten sind. Wenn das Ergebnis von fünfzig Jahren Ontologieforschung in der Informatik darin besteht, dass kein einziges der seit Mealy (1967) entwickelten Ontologieverständnisse haltbar ist, dann zeigt sich umso mehr das Erfordernis, die ganze Ontologiedebatte in radikal anderer Weise neu aufzusetzen. Die Informatik sollte in dieser Debatte den fokussierten Blick auf spezifische Diskursuniversen vermeiden und sich vielmehr dem "*Universe of Discourse of Anything*" zuwenden. Das wiederum läuft nach heutigem technologischem Stand auf die Frage der *cyber-physischen Spezifikation der Meta-Ontologie im Internet of Everything (IoX)* hinaus. Analog sollte sich das methodische Vorgehen darstellen, nämlich in Form eines systematischen *Requirements Engineering* für eine universale Ontologie der Informatik, wie es im siebten Teil vollzogen worden ist. Dabei steht außer Zweifel, dass sich die meta-ontologischen Dispositionen nur dann in neutraler Weise erörtern und bestimmen lassen, wenn zuvor im Zeichen von Leibnizens *Metaphysica* die Frage der Digitalmetaphysik gelöst ist.

Geht es um die Ontologie der Informatik, ist zunächst die Informatik selbst zu reflektieren. Universalinformatiker wie Zuse, McCarthy oder J. von Neumann haben ihre Natur verstanden und entsprechende Grundlagen gelegt, die im Grunde mit der Klasse-4-Metaphysik korrespondieren. Allerdings werden diese allgemeinen Grundlagen wie auch eine universale Perspektive durch heutige Fachinformatiker mehr oder weniger negiert. Im Fokus steht vielmehr das spezifische Problem, dessen Ontologieaspekte pragmatisch gelöst werden. Ontologie aber ist nicht nur in der Philosophie, sondern gerade auch in der Informatik primär etwas Universales, nur sekundär etwas Regionales und normalsprachlich fassbar. Ontologie ist auch an sich nicht sekundär, sondern primär, indem sie alles andere bestimmt, nämlich alle Modelle bzw. Modellierungssprachen, alle formalen Repräsentationen und formale Repräsentationssprachen. Ontologie ist nicht nur nachgelagerte Wissensontologie, sondern vielmehr primär vorgelagerte techno-wissenschaftliche Digitalmetaphysik. Zunächst sind die Grundstrukturen aller Welten bzw. Diskursuniversen zu klären, bevor diese modelliert bzw. repräsentiert werden können. Die heutige Ontologiedebatte der Informatik wird durch die mitunter sehr spezifischen Sichtweisen der Fachinformatiker, Linguisten oder OLP-Philosophen bestimmt, nicht durch die universalen Positionen der Universalinformatiker, wie es jedoch mit Blick auf die Koexistenz einer großen Vielzahl inkompatibler Ontologieverständnisse erforderlich ist. Die Realisierung echter AI-Intelligenz erfordert genau dieses universale Ontologieverständnis, und es ist auch dieses, das im

ganzen Leibnizprogramm angelegt ist. Die Disziplin kann sich im Grunde nur dann auf Leibniz als ihren eigentlichen Begründer berufen, wenn sie auch seiner universalen Sichtweise gerecht wird und die Reflexion mit grundlegenden Fragen wie seinem Automatenuniversum sucht. Mit allem anderen wird man gerade Leibniz kaum gerecht. Indessen ist dieser grundsätzliche Blick genauso zugunsten von Detail- oder Sprachproblemen abhandeln gekommen wie die Antwort auf die Frage, worum es bei der Disziplin im Kern eigentlich geht. Darauf gründet wiederum ein ganz grundsätzlicher Irrtum: Es kann nicht darum gehen, *einen* – bzw. mit Blick auf die Vielzahl konkurrierender Ansätze: *irgendeinen* – ontologischen Entwurf auf Basis einer beliebigen Philosophie zu entwickeln. Denn jeder dieser Ansätze wird über kurz oder lang scheitern, indem er sich bei einer anderen Anwendung als unpassend erweist. Vielmehr ist das Ziel letztlich anders zu verstehen, indem es gelten muss, das ontologische Fundament, das der Informatik mit dem Leibnizprogramm an sich inhärent ist, auf Basis der *Klasse-4-Metaphysik* freizulegen. Dieses Unterfangen resultiert im IMKO *OCF*, auf dem sich *CYPO FOX* als Ontologiearchitektur begründet.

Jeder breiter orientierte Informatiker, der die Natur seiner Disziplin tatsächlich verstanden hat, wird nach kurzer Reflexion bejahen können, dass die Informatik im CPSS/SEA-Sinne universale ontologische Fundamente besitzt. Nicht umsonst finden sich alle zentralen IoT- bzw. IoX-Aspekte wie der vierdimensionale Ereigniszentrismus, die Relationalität, Prozessualität, Komplexität oder der adaptive bzw. perzeptive Agentengedanke bereits in der Digitalmetaphysik Whiteheads (1929a). Gewiss gibt es damit auch in fundamentaler Hinsicht einen Gold Standard, die *Metaphysik der Informatik*; sie bedarf der systematischen Herausarbeitung, um die fundamentale Ontologie der Informatik, die *Top-level Ontologie*, zu begründen. Erst mit ihr werden ein einheitliches, allgemein anwendbares Ontologieverständnis sowie eine integrierte Ontologiekonzeption möglich. Demgegenüber kann ein letztlich willkürliches Festsetzen meta-ontologischer Dispositionen anhand der Normalsprache oder inadäquater philosophischer Programme, die gerade nicht cyber-physische Digitalmetaphysik sind, kaum zu dauerhaftem Erfolg führen. Denn auf solchen Grundlagen lassen sich natürlich die grundlegenden Momente der Informatik in keiner Weise systematisch erschließen. Die Linguistik bzw. das OLP-Paradigma ist bereits auf den ersten Blick genauso wenig auf diesen Zweck angelegt, wie die philosophischen Programme von Aristoteles, Chisholm, Bunge oder der zahlreichen anderen Philosophen, die in der Ontologiedebatte bemüht werden. Warum die heutige Ontologie der Informatik dennoch auf all diesen ungeeigneten Grundlagen steht, ist schnell geklärt: das Leibnizprogramm wurde nicht in seiner Gesamtheit verstanden und die cyber-physische Digitalmetaphysik Whiteheads wurde mit Verweis auf Pkt. 4.2 zu Unrecht diskreditiert; sie ist genauso unverstanden wie das ganze Leibnizprogramm als ihr eigentlicher Rahmen.

Der gegenwärtigen Informatik sind solche universalen Perspektiven weitgehend fremd. Hoppe (2017: 141) hält bereits für das vergleichsweise enge IoX-Feld der Industrie 4.0 den Versuch, »eine einzige Ontologie und Semantik aus der Taufe zu heben oder enge Stan-

dards für Industrie 4.0 festzulegen« für verfehlt. Ein Blick auf die Begründung dieser Position offenbart einmal mehr das Erfordernis einer austarierten Ontologieklassifikation für systematisches *Ontology Engineering* (OE), wie sie in Abb. 3 in Pkt. 3.3.1 illustriert ist. Das gilt mit Pkt. 3.5 genauso für die darauf aufbauende integrierte Ontologiekonzeption: Wie andere IoX-Szenarien bedarf auch die Industrie 4.0 eines ganzen Systems modularer Ontologien, deren Vereinbarkeit durch eine einheitliche Referenz auf den TLO-EO-Konnex gewährleistet wird. Dieser lässt sich universal definieren, während die durch Hoppe (2017) angesprochene heterogene Produktionsumgebung durch spezifische Industrieanpassungen gewährleistet wird. Diese industrielle Heterogenität ist dem in Pkt. 1.5 dargelegten U-PLM-Referenzszenario inhärent und damit kann es auch in dieser Hinsicht die notwendige Orientierung vorgeben. Was universale, was regionale Ontologie ist, lässt sich allein vor dem Hintergrund einer solchen Ontologieklassifikation klären. Die Crux jeder überzeugenden Ontologiearchitektur besteht gerade darin, Heterogenität durch eine ausgeprägte Modularisierung in dem Maße zuzulassen, indem diese erforderlich ist. Andererseits ist unter Aspekten der Systemintegration wie einer vollumfänglichen semantischen Interoperabilität ihre Homogenität nicht weniger wichtig. Diese lässt sich allein durch eine konsequente TLO- bzw. EO-Referenz bewerkstelligen.

So richtig Hoppes (2017) Position in Bezug auf spezifische Produktionsontologien ist, so unzutreffend ist sie in *fundamentaler* Hinsicht. Entsprechend müssen im Sinne von Abb. 3 verschiedene Ontologieebenen differenziert werden, die jedoch notwendig in einem System stehen. In der Folge semantischer Fehlinterpretationen und deren Auswirkungen wird über kurz oder lang die Kernfunktion einer universalen Ontologie bzw. der *Top-level Ontologie* und deren Vorteilhaftigkeit in der Disziplin erkannt werden. Dann ist entsprechend das TLO-Inkommensurabilitätsproblem zu lösen, indem universale Ontologie nur dann tatsächlich übergreifend zu realisieren ist, wenn dieses Kernproblem der Informatik gelöst ist. Jenseits der oben genannten ungeeigneten Grundlagen zur fundamentalen Ontologie der Informatik sind sie bei Whitehead (1929a) im Zeichen cyber-physischer *Logical Machines* im ratio-empirischen Sinne dargelegt. Die Disziplin wird letztlich nicht umhinkommen, diese Schritte ebenfalls zu gehen. Denn eine universale Ontologie ist nur dann realisierbar, wenn man ihre Aspekte vor dem Hintergrund der durchgängigen cyber-physischen Digitalmetaphysik reflektiert. Tatsächlich zeigt sich die cyber-physische Universalität und systemische Durchgängigkeit gerade durch den prozessmetaphysischen Logizismus des Leibniz-Whiteheadschen strukturalistischen Regel- bzw. Automatenuniversums bedingt.

In gleicher Weise wie der Ontologieaspekt ist im *Internet of Everything* auch der Informationsbegriff in universalen, cyber-physischen Weise zu klären. Wenn Ebeling et al. (1990: 293) im Zuge der *Physik der Evolutionsprozesse* mit Pkt. 4.2 drei wichtige Formen der Information differenzieren, setzt dies zunächst ein allgemeines Informationsverständnis voraus, also eines, das metaphysisch universal ist. Auch im Hinblick auf den Informations-

austausch von Agenten ist das *Information Processing* im Zeichen von Whiteheads (1925) *zellulären Organismen* universal auszulegen. Im Sinne des universalen Informationsverständnis der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik gilt für die Digitale Physik bei Fredkin (2003: 206): »The only kind of change is that caused by a digital informational process«. Demgegenüber sollte man erst gar nicht damit beginnen, auf Basis *unsachgemäßer* Grundlagen fundamentale Probleme der Informatik zu debattieren. Orientiert man sich konsequent an der Whiteheadschen Digitalmetaphysik, lassen sich die bisher überaus kontrovers geführten Debatten verkürzen. Denn sie gehen an den tatsächlichen Anforderungen der Disziplin systematisch vorbei, was wiederum mit Pkt. 7.1 am fehlenden *Requirements Engineering* liegt. Bevor etwa mit einer neo-aristotelischen TLO-Konzeption aufgewartet wird, sollte dezidiert der Nachweis erbracht werden, dass neo-aristotelische Grundlagen sich tatsächlich für ein cyber-physisches Ontologieverständnis der Informatik eignen. Da es bis heute genau *eine* cyber-physische Digitalmetaphysik, nämlich die Whiteheadsche (1929a) gibt, ist das Ergebnis einer solchen Reflexion klar: Als Kern dieser Digitalmetaphysik ist ein universelles, *cyber-physisch* veranlagtes *Information Processing* mitsamt seiner logico-mathematischen Grundlagen zu verstehen. Bereits aus diesem Aspekt lassen sich zahllose meta-ontologische Dispositionen ableiten. Denn mit diesem Kern geht es in der Informatik an sich immer um das Relationale, das Komplexe und das Emergente. Dann wird deutlich, dass bereits das *Information Processing* als solches das Entstehen neuer, irreduzibler Entitäten systematisch bedingt. Insofern lässt sich auch die in Pkt. 6.2.7 geführte Kontroverse um das multiplikative Ontologieverständnis problemlos entscheiden. Analog steht auf der Basis von Whiteheads (1925) *zellulären Organismen*, die in direkter Verwandtschaft zu Leibnizens (1714a) *Monad*en das Basisparadigma der Informatik bilden, außer Frage, dass Ereignisse, Ordnungsstrukturen und schließlich ein aktives Universum vorauszusetzen sind. Dessen Agens besteht in der Interaktion sämtlicher Agenten aller Agentenklassen. Insofern geht es auch universal um den cyber-physischen MAS/CAS-Gedanken, den jede Ontologie der Informatik zu berücksichtigen hat. Allerdings gibt es bisher keine einzige Ontologiearchitektur, die diesem Erfordernis tatsächlich gerecht wird.

Nichts in der kontroversen Debatte um die AI-Ontologie ist verstanden, wenn sie nicht an McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" festmacht. Wenn dieser "*general world view*" in Form der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik gegeben ist, dann bleibt das Ontologieproblem der Informatik solange unverstanden, bis der Zusammenhang zwischen McCarthys (1995) Frage nach dem "*general world view*" und den durch McCarthy/Hayes (1969) geforderten *metaphysisch adäquaten Repräsentationen* hergestellt ist. – Natürlich besitzt die Informatik ihre eigene Metaphysik, und das ist die Digitalmetaphysik. Mit Verweis auf Pkt. 4.1 erfordert jede Disziplin die Klärung ihrer metaphysischen Grundlagen. Das gilt für keine Disziplin in der Weise, in der es für die Informatik in ihrer Stellung als zentraler Strukturwissenschaft zu fordern ist. Allerdings ist die Thematik der

Digitalmetaphysik mehr oder weniger vollständig verwaist. Indessen kann diese nur dann für die Ontologie der Informatik und auch darüber hinaus für darauf aufbauende Disziplinen wegweisend sein, wenn sie selbst eine cyber-physische Verankerung besitzt. Sie muss also als *Klasse-4-Metaphysik* gleichzeitig einen techno-wissenschaftlichen Ratio-Empirismus repräsentieren. Nur dann lässt sich die Frage nach den grundlegenden Kategorien tatsächlich im Zeichen universaler Ontologie stellen. Der Schlüssel liegt dabei mit Pkt. 4.3 in der Komplexitätsforschung, speziell in der *Theorie zellulärer Automaten*, die wiederum im Zeichen der Booleschen Logik zu erschließen ist. In ihr besteht der techno-wissenschaftliche Mittler zur ratio-empirischen Metaphysik, auf der die universale Ontologie der Informatik, die *Top-level Ontologie*, zu begründen ist.

8.1 Zur Lösung der Inkommensurabilitätsfrage auf Basis von CYPO/IMKO

»*Good top-level ontology can [...] support data integration and information systems interoperability. At the same time the efforts directed towards constructing domain-specific ontologies can lead to improvements in top-level ontologies and in the philosophical theories underlying them.*«

— Simon K. Milton (2004: 85)

Mit dem "*Universe of Discourse of Anything*" und dem *Internet of Everything* (IoX) läuft das Wesen der Informatik unter Verweis auf Pkt. 1.2 naturgemäss nicht auf eine *Multi-, Pluri-, Quer-,* oder *Interdisziplinarität* hinaus; vielmehr handelt es sich um eine *transdisziplinär* zu veranlagende Disziplin.⁵¹⁸⁹ Insofern ist es auch angezeigt, all ihre Konzepte in diesem transdisziplinären Sinne zu verstehen, was indessen kaum ohne einen Rückgriff auf die Digitalmetaphysik gelingen kann. So gesehen avanciert nicht nur die AI-Disziplin mit Glymour et al. (2000: 113) zur Philosophie, sondern die Informatik insgesamt zur Digitalmetaphysik. Will sie seriöse transdisziplinäre Disziplin sein, muss sie auch ihre elementaren Konzepte in dieser transdisziplinären Weise definieren. Castels (2002: 29) Frage, "*what computing is*", Kauffmans (2008: 193) Frage "*what information is*" und schließlich die zu Beginn des dritten Teils daran anschließende Frage, "*what ontology is*", lässt sich nicht nach Maßgabe der *Multi-, Pluri-, Quer-,* oder *Interdisziplinarität* beantworten. Die Transdisziplinarität der Informatik ist indessen nicht nur für die Klärung des "*general world view*" entscheidend, sondern genauso für die Natur des Wissens: Geht es um die

⁵¹⁸⁹ Das gilt für beide Aspekte der *integrierten metaphysischen Wissensontologie*: während die metaphysische Ontologie ohnehin *universale Ontologie* ist, lässt sich die transdisziplinäre Adäquanz auch anhand der Wissensontologie verdeutlichen. Auf Grundlage der Ontologieklassifikation in Pkt. 3.3.1 gilt: *Multi-disziplinarität* bedeutet die Fixierung auf eine Domänenontologie; *Querdisziplinarität* die Reduktion auf eine Domänenontologie, insbesondere im Zuge eines Physikalismus bzw. Naturalismus. *Interdisziplinarität* ist demgegenüber als Fixierung auf *Top-Domänenontologien* zu interpretieren, womit sie nicht über den Status einer *Kernontologie* hinauskommt. Allein *Transdisziplinarität* meint, dass jenseits spezifischer Domänenontologien an der *universalen Ontologie* angesetzt wird; sie ist auf die *Top-level Ontologie* fixiert, die sämtliche Disziplinen bzw. Domänenontologien transzendiert. Domänenspezifische Ontologien bilden für sich genommen dann eine Kontradiktion zur Transdisziplinarität, insofern ihre Kategorien nicht von der *Top-level Ontologie* hergeleitet werden.

Frage der adäquaten *Knowledge Representation* (KR), sollte das Ziel in der *Einheit des Wissens* bestehen.

Die eigentliche Intelligenz AI-basierter Systeme lässt sich erst dann heben, ihre Stabilität nur dann gewährleisten, wenn die Informatik das entscheidende Ziel *vollumfänglicher semantischer Interoperabilität* einzulösen versteht. Diesem Ziel stehen die drei in Pkt. 1.2 dargelegten Ausgangsprobleme diametral entgegen, nämlich (i) das *Problem konzeptueller Heterogenität*, (ii) das *Problem semantischer Heterogenität* sowie (iii) das *Problem der fehlenden Integration konzeptueller und semantischer Modelle*. Mit dem Zusammenspiel dieser drei Ausgangsprobleme ist evident, dass der Schlüssel zu ihrer Lösung nicht in den naiven *semantischen Netzen* der Linguistik bzw. Sprachphilosophie bestehen kann, sondern allein in der *Ontologie*, was wiederum die Klärung der *Meta-Ontologie* voraussetzt. Insofern kommt die *Top-level Ontologie*, deren eigentlich elementarer Stellenwert in weiten Teilen der Informatik vollkommen unklar zu sein scheint, notwendig ins Spiel. Der Schlüssel zur Lösung dieser Ausgangsprobleme liegt also konkret in der *Top-level Ontologie* (TLO), und mit ihr in integrativer Hinsicht in der *Enterprise Ontology* (EO). Denn jedes qualifizierte *Ontology Engineering* (OE) hat zwingend an der *TLO-EO-Verkopplung* festzumachen, indem nur auf diesem Wege das in Pkt. 8.2 erörterte sachgerechte AI-Verständnis realisierbar wird. Insofern sind auch alle in Pkt. 2.4 aufgestellten zehn Hypothesen zu bestätigen, die für ein gutes *Ontology Engineering* verpflichtend sind.

Mit der Koexistenz einer Vielzahl konkurrierender TLO-Theorieanwärter stellt sich das eigentliche Kernproblem, insofern als diese Koexistenz mehr oder minder völlig disparater Weltansichten, meta-ontologischer Voraussetzungen und Kategoriensysteme kaum zur Realisierung des eigentlichen Ziels *vollumfänglicher semantischer Interoperabilität* beiträgt. Vielmehr impliziert diese Koexistenz das genaue Gegenteil, indem sie die Erreichbarkeit dieses Ziels letztlich in ganz grundsätzlicher Weise konterkariert. Jeden TLO-Theorieanwärter zeichnet in seiner expliziten bzw. impliziten metaphysischen Veranlagung gerade die Eigenschaft aus, dass er *inkommensurabel* ist; d.h. seine Kategorien und meta-ontologischen Dispositionen sind nicht in einen anderen TLO-Ansatz übersetzbar. Indem sich die Existenzberechtigung jedes eigenständigen TLO-Ansatzes letztlich in seiner *Inkommensurabilität* begründet, wenn er gerade als oberste Ontologie seine meta-ontologischen Dispositionen anders vollzieht und sein Kategoriensystem anders bestimmt als konkurrierende Ansätze, besteht in dem TLO-Inkommensurabilitätsproblem das eigentliche Kernproblem. Bezieht man dieses auf die drei Ausgangsprobleme, dann handelt es sich letztlich um das Kernproblem der Informatik schlechthin. Es ist also die *Top-level Ontologie* (TLO), die das fundamentale, alles entscheidende Weltmodell nicht nur in Bezug auf die Repräsentation bzw. Integration von Daten, Informationen und Wissen stellt, sondern genauso in Bezug auf die konzeptuelle Modellierung. Letztlich ist sie damit für sämtliche Modelle der Informatik bestimmend, indem im Allgemeinen *jedes* Modell konzeptuell und/oder seman-

tisch bestimmt ist. Insofern muss auch die *Top-level Ontologie* als fundamentales Weltmodell in das Zentrum der AI-Disziplin wie auch der Informatik insgesamt rücken.

Paradoxerweise sind die wenigsten Fachinformatiker bereit, sich mit solch grundlegenden Fragen auseinanderzusetzen. Mikas (2007) Rede von "*ontologies are us*" offenbart den Stand der Dinge; Ontologie wird also im Zeichen semantischer Netze so praktiziert, wie es den pragmatischen Zwecken gerade entspricht. Allerdings sollte erkannt werden, dass es mit Hayes (1979) nicht mehr länger um "*toy problems*" geht, sondern um "*nontoy worlds*", die mit dem *Internet of Everything* allgegenwärtig werden. Bei Computern als "*Reality Machines*", die mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind, sollte das eigentliche Kernproblem der Informatik auch durch den Fachinformatiker nicht mehr länger verkannt werden. Wenn im *IoX-Hyperspace* prinzipiell gesehen alle Systeme, Agenten, Daten usw. vernetzt sind, dann sind letztlich auch alle Ontologien interdependent. Damit aber wird ein paradigmatisches "*ontologies are us*" bei automatisierten Systemen kaum funktionieren, indem es gerade dieser zweifelhafteste Grundsatz ist, der die *paradigmatische Inkommensurabilität* begründet. Daraus folgt, dass über kurz oder lang auch das breite Feld der Informatiker zu der Einsicht kommen muss, dass die *Top-level Ontologie* als oberste Ontologie von elementarer Relevanz ist. Allerdings sollte diese Einsicht nicht zur naheliegenden Konsequenz verleiten, ohne weitere Reflexion auf den verbreitetsten TLO-Ansatz zurückzugreifen: Wie oben festgestellt, sind die Defizite und maßgeblichen Defekte gerade bei den verbreitetsten bzw. populärsten Ontologiekonzeptionen am größten. Zudem sollten "*Ontologies are us–Ontologen*" sich nicht zu einem naiven *TLO-Mapping* verleiten lassen, das nur dann naheliegt, wenn das eigentliche TLO-Inkommensurabilitätsproblem unverstanden ist.

Für IoX-Systeme ist das *Sense-and-Respond Model* kennzeichnend, wobei es bei Cyberphysischen Systemen vor allem um physische Sensorik, ggf. auch Aktorik geht. Dann aber sollten auch "*Ontologies are us–Ontologen*" erkennen, dass das ganze System interdependenter Ontologien in einem Integrationsszenario zuallererst physikalischen Restriktionen unterliegt. Das beginnt bei Sensorontologien bzw. SAW- und CAW-Ontologien und gilt genauso für alle Ontologien im Feld der Aktorik und damit für die AI-Agentenontologie als solcher. Was Hayes' (1979) "*nontoy worlds*" anbetrifft, ist der militärische Bereich in Sachen realweltlicher AI-Ontologien der zivilen bzw. kommerziellen Anwendung voraus: Lambert/Nowaks (2008) "*metaphysical layer*" ist unverzichtbar, und dieser kann mit Lambert (1996) nur im Zeichen des perdurantistischen Prozessgedankens stehen. Indem alle Ontologien prinzipiell interdependent sind, kann es keine zwei Ontologieverständnisse geben, also nicht ein CPSS-adäquates und parallel dazu ein CPSS-inadäquates der "*Ontologies are us–Ontologen*". Vielmehr ist die Informatik lange Zeit missverstanden worden, wenn das Leibnizprogramm im Zeichen der perzipierenden Automaten in Leibnizens *Metaphysica* als *cyber-physisches* Programm zu interpretieren ist. Insofern kann auch die Ontologie der Informatik an sich allein auf einem CPSS-adäquaten Ontologieverständnis

beruhen, das jedoch keineswegs primär über die Ebene der Normalsprache zu erschließen ist. Es besteht also offenbar in Sachen der Ontologie der Informatik ein grundsätzlicher Revisionsbedarf: An die Stelle von Mikas (2007) "*ontologies are us*" muss demgegenüber Lambert/Nowaks (2008) "*metaphysical layer*" treten, der sich im Grunde bereits bei McCarthy/Hayes (1969) findet.

Das Wesen der *Top-level Ontologie* besteht als philosophisch fundierter, *universaler Ontologie* darin, die fundamentale Weltsicht im Zeichen formaler Ontologie darzulegen. Demzufolge bedeuten konkurrierende TLO-Ansätze nicht konkurrierende Details, sondern vielmehr *konkurrierende fundamentale Weltsichten*, womit gleichzeitig außer Frage steht, dass ein spezifischer TLO-Ansatz nur dann überhaupt eine Existenzberechtigung hat, wenn er selbst eine solch *genuine* fundamentale Weltsicht repräsentiert. Insofern zeigt sich, dass das Phänomen der Koexistenz verschiedenster Top-level Ontologien in weiten Teilen der bisherigen Diskussion grundsätzlich missverstanden wird. Denn es kann nicht im Sinne eines naiven TLO-Mappings um Angleichung gehen, sondern vielmehr im Zeichen des Aufspürens fundamentaler Widersprüche um eine aktive Selektion der TLO-Ansätze. Mit anderen Worten lässt sich das Inkommensurabilitätsproblem echter TLO-Ansätze nicht, wie im ersten Teil dargelegt, durch ein TLO-Mapping überwinden, sondern allein durch eine *aktive Selektion*. Diese erfordert wiederum eine Fundamentalkritik, die metaphysisch, epistemologisch, methodologisch und schließlich im Sinne des Ratio-Empirismus auch an der Fallibilität aller ontologischen Theorie festzumachen hat. Es ist ein Fehler anzunehmen, dass sich das TLO-Inkommensurabilitätsproblem anders aus der Welt schaffen lässt. Denn es liegt in der Natur der Top-level Ontologien, dass sie zueinander widersprüchlich, teilweise gar zutiefst inkompatibel sind, wie es bei dem Zusammentreffen besonders gegensätzlicher TLO-Entwürfe – etwa bei der Konfrontation von BWW mit DOLCE oder etwa der BORO 4D-Ontology mit BFO – der Fall ist. In Bezug auf alle anderen Ansätze verhält sich dies prinzipiell analog, nur ist es in einem geringeren Maße ersichtlich.

Mit den elementaren Integrationszwecken der Informatik steht das Erfordernis einer *de facto* standardisierten Top-level Ontologie, also eines Quasi-Standards außer Frage, der damit zugleich der "Gold Standard" ist. Damit geht es um eine Synthese der Top-level Ontologien, die allein über die systematische Evaluierung und Selektion wie im Zuge eines TLO-Neuentwurfs bewerkstelligbar ist. Genauso unzweifelhaft ist der Umstand, dass eine Synthese allein auf Basis einer *integrierten Ontologiekonzeption* möglich wird, die eine *emergente Mehrweltenontologie* darstellt, die im MAS/CAS- wie im CPSS/SEA-Sinne eine ausdifferenzierte Ontologiearchitektur in Form dezidierter Weltypen erfordert. Diese haben einerseits eine *genuine* Bewandnis, müssen andererseits jedoch dem gleichen "*general world view*" folgen, was bei CYPO FOX im Zuge einer einheitlichen TLO-Referenz bewerkstelligt wird. Eine MAS/CAS- bzw. CPSS/SEA-adäquate Ontologiekonzeption erfordert mindestens diese vier Welten, während diese andererseits im Zeichen von Quines ontologischem Sparsamkeitsprinzip als hinreichend zu werten sind. Das gilt insbesondere

dann, wenn sie entlang geeigneter Submodi konkretisiert werden. Damit kann für die universalen Zwecke der Informatik in *CYPO FOX* die sachgerechte Ontologiearchitektur ausgemacht werden, indem sie sämtliche Anforderungen und Ansprüche an die Ontologie in kombinierter Weise vereinen kann. Damit bildet sie entsprechend auch die geeignete Referenzbasis für die Evaluierung und aktive Selektion aller inkommensurablen TLO-Theorieanwärter. Das Kategoriensystem von *CYPO FOX* ist von kombinierter Whitehead-Popper-scher Provenienz und nimmt als primäre Dichotomie die Differenzierung von abstrakten und konkreten Entitäten vor. Bei den Konkreta handelt es sich um 4D-Entitäten, wobei die Basiskategorie in Ereignissen besteht. Diese werden innerhalb der Vier-Welten-Ontologie gemäß der vier Welttypen im CPST-Hyperspace differenziert, wobei diese vier Welttypen mit Pkt. 3.5 wiederum Subtypen aufweisen. Ist eine konkrete Entität als W2A-Objekt klassifiziert, können maschinelle Agenten dieses genau einer spezifischen Agentenwelt zuordnen; es handelt sich um ein epistemisches Objekt, das strikt auf die aktuelle reale Welt bezogen ist und als solches raumzeitlich bestimmt ist. Es handelt sich jedoch dabei um eine Entität einer *subjektivistischen* Ontologie, nicht um eines einer objektiven Ontologie, womit der Wahrmacher differiert. In der nachfolgenden Abb. 63 ist diese Differenzierung von Ereignissen und Objekten für konkrete Entitäten exemplarisch wie vereinfacht dargestellt:

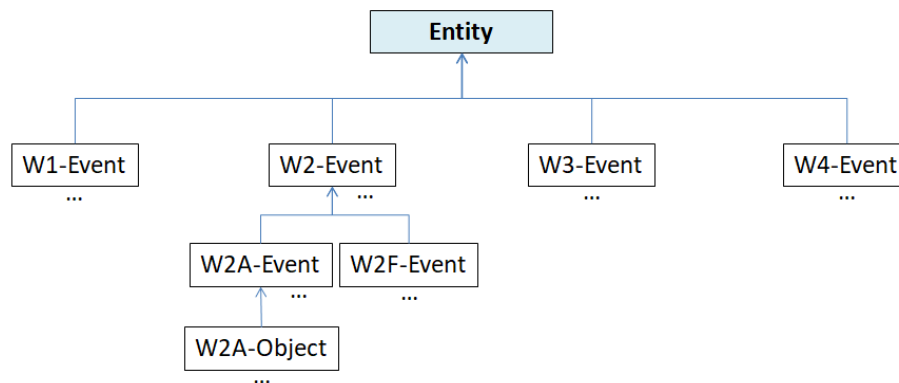


Abb. 63:⁵¹⁹⁰ Auszug konkreter Kategorien von *CYPO FOX* (vereinfachte Darstellung)

Abschließend bleibt in diesem Resümee kritisch zu hinterfragen, inwiefern das TLO-Inkommensurabilitätsproblem überwunden und die Zielsetzung dieser Abhandlung realisiert werden konnte. Mit Pkt. 1.3 ging es darum, die *CPSS- bzw. IoX-adäquate Anforderungsspezifikation der Top-level Ontologie* herauszuarbeiten und gleichzeitig einen aussagekräftigen Nachweis zu erbringen, dass alle bisherigen TLO-Theorieanwärter nicht CPSS- bzw. IoX-adäquat sind und insofern nicht einem "Gold Standard" entsprechen. Aufbauend auf den sechs vorauslaufenden Teilen konnte diese Zielsetzung im siebten Teil faktisch erreicht werden. Der Nachweis, dass alle bisherigen TLO-Theorieanwärter nicht CPSS-adäquat sind, wurde in Pkt. 7.3 anhand einer exemplarischen Evaluierung einzelner TLO-Ansätze in verkürzter Form erbracht. Ein detaillierter Nachweis hätte bedeutet, alle in Pkt. 1.1 genannten TLO-Theorieanwärter auf Basis der in Pkt. 7.2 identifizierten fünfzig Require-

⁵¹⁹⁰ Quelle: Behnen (2015).

ments einer eingehenden Evaluierung und schließlich insgesamt einer Selektion zu unterziehen. Das ist weder vom Umfang möglich noch notwendig. Denn dieser verkürzte Nachweis ist insofern als ausreichend zu erachten, als deutlich geworden ist, dass es bei den Defiziten und Defekten aller bisherigen TLO-Ansätze nicht um Detailfragen geht, sondern dass diese vielmehr in fundamentaler Hinsicht bedingt sind. Das bedeutet, dass alle bisherigen Ontologiekonzeptionen, neben jenen der TLO-Ansätze etwa auch jene linguistischen von Gruber, Berners-Lee und anderen aufgrund maßgeblicher CPSS- bzw. IoX-Defizite und Defekte für komplexe IoX-Systeme im Speziellen wie für die Informatik im Allgemeinen unhaltbar sind. Insofern kein einziger der gegenwärtigen TLO-Theorieanwärter den universalen Anforderungen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* entsprechen kann, sind weitere Schritte erforderlich, um das TLO-Inkommensurabilitätsproblem in praktischer Hinsicht zu überwinden. Das wird abschließend in Pkt. 8.4 aufgegriffen.

8.2 Ontologie als H2H-Common Sense vs. M2M-Superintelligence?!

»Since a robot with general intelligence requires some general view of the world, deficiencies in the programmers' introspection of their own world-views can result in operational weaknesses in the program.«

— John McCarthy (1977: 1043)

Die Zukunft der Ontologie der Informatik liegt vor dem Hintergrund des *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) nicht im Web 3.0 samt *Common Sense Knowledge*; sie liegt im Web 4.0 und dem, was in der Kombination lokaler MAS-Intelligenz und globaler RTE-Intelligenz auf die *IoX-Superintelligenz* der dritten AI-Generation hinausläuft. Allerdings erfordert auch diese Sache eine differenziertere Perspektive, indem von *Common Sense Knowledge* an sich keineswegs abstrahiert werden kann. Es bleibt relevant und unabdingbar, weil es Grundlage ist für die Agentenwelten *menschlicher* Agenten und somit entsprechende Benutzerschnittstellen AI-gestützter Systeme bestimmt. Gerade indem es relevant bleibt, jedoch nicht die Ontologiearchitektur an sich bestimmen kann, sind im IoX/RWI-Kontext genau jene damit unmittelbar zusammenhängenden Fehler im Ontologieverständnis zu vermeiden, die gegenwärtig nicht gesehen werden. – Wenn das *Web 4.0* bzw. *Smart Web* als »an Ultra-Intelligent Electronic Agent, symbiotic web and Ubiquitous web« zu verstehen ist,⁵¹⁹¹ sind alle drei definitorischen Bestandteile von zentralem Stellenwert. Im IoX/RWI-Kontext ist das "*Ubiquitous web*" mit Gershenfeld (1999a) im IoT-Sinne zu verstehen; d.h. wenn es um Intelligenz geht, kommen alle CPSS/SEA- bzw. MAS/CAS-Aspekte automatisch hinzu. Demgegenüber wird ihnen im Web 3.0 kaum eine Beachtung zuteil. Konkret ist damit gemeint, dass die Sensorik bzw. der lokale Agent samt SAW/CAW-Aspekt im Web 4.0 elementar ins Spiel gelangt; Intelligenz wird samt physischen GIS-Aspekten zur situativen Intelligenz, bei der sämtliche situative Kontextvariablen ontologisch mit einzubeziehen sind. Zweitens geht es im Web 4.0 um MAS-Agenten, wo-

⁵¹⁹¹ Vgl. K. Patel (2013: 416) sowie Kujur/Chhetri (2015: 137).

bei zu hinterfragen ist, was den "*Ultra-Intelligent Agent*" im Zeichen der Superintelligenz auszeichnet. Dazu ist mit Pkt. 6.3 zum einen auf eine hybride wie heterogene Agentenarchitektur zu verweisen, wie sie integrierter Bestandteil der CYPO-Ontologiearchitektur ist. Wie ebenfalls in Pkt. 6.3 festgestellt, ist Superintelligenz vor allem auch als globale Intelligenz zu verstehen, was neben der Digital Analytics in Echtzeit vor allem den Gesichtspunkt transdisziplinärer Referenzontologien betrifft. Superintelligenz resultiert also vor allem aus der Möglichkeit zur *ad hoc* Verschaltung verschiedenster Ontologietypen und Ontologiearten, was allein auf einer einheitlichen techno-wissenschaftlichen TLO-Grundlegung möglich wird. Unter Computerexperten ist die Zukunftsrelevanz dieser beiden Aspekte unstrittig, womit schließlich deutlich wird, dass die Zukunft der Ontologie tatsächlich nicht am Web 3.0 festgemacht werden kann.

Es ist indessen der dritte Aspekt, der des "*Symbiotic Web*", der mit Blick auf die konfuse Ontologiedebatte letztlich am wichtigsten erscheinen muss. Diese Einschätzung hängt damit zusammen, dass das *Common Sense Knowledge* wesentlich bleibt, während es gleichzeitig ursächlich ist für fundamentale Fehler im Ontologieverständnis. Denn es kann nicht mehr sein als ein Wissen um allgemein akzeptierte Alltagsweisheiten, die sich zuvorderst auf die soziale menschliche Lebenswelt (z.B. der Physiknobelpreisträger von 1986) oder auf Banalitäten der Natur (z.B. Schnee ist weiß) beschränkt. Es lässt sich jedoch mit Hayes (1985a, 1985b) auch so verstehen, dass es als Vereinfachung wissenschaftlichen Wissens dient (z.B. 4D-Perspektive auf die Objekte der Alltagswelt). Wichtig ist der Umstand, dass es mit Popper (1972a) ein elementareres, superiores Wissen gibt, nämlich das *Objective Knowledge*. Für den Informatiker ist dabei wesentlich, dass echte AI-Superintelligenz in erster Linie auf diesem superioren Wissen aufbauen muss, nicht auf dem dazu inferioren *Common Sense*. Dieser ist in Bezug auf die Superintelligenz für AI-Systeme letztlich nur insofern von Relevanz, als Computer im Sinne von IBM Watson auch auf alle Fragen der menschlichen Lebenswelt eine Antwort parat haben müssen. Vor diesem Hintergrund lässt sich die Konfusion in der Ontologiedebatte nicht aufheben, solange die Zusammenhänge um das "*Symbiotic Web*" nicht geklärt sind. Ontologisch betrachtet steckt dahinter viel mehr als der Umstand, dass mit dem "*Symbiotic Web*" nicht mehr gemeint ist als die Interaktion menschlicher und maschineller Agenten in Symbiose.

Auf wen muss die Ontologiearchitektur zugeschnitten sein, auf menschliche oder auf maschinelle Agenten? Wir erinnern: *Ontologie ist für alle Agenten da*. Sie ist im Sinne des Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversums nicht nur für menschliche Agenten, sondern vor allem für maschinelle Agenten zu entwickeln. Das "*Symbiotic Web*" ist als Wesensmerkmal des Web 4.0 gerade deshalb maßgeblich, weil im *Internet of Everything* allen Agentenklassen mit einer einheitlichen Ontologiearchitektur gerecht zu werden ist. Das "*Symbiotic Web*" macht gerade klar, dass maschinelle und natürliche Agenten ontologisch nicht separierbar sind; vielmehr erledigen maschinelle Agenten Aufgaben für menschliche Subjekte, was letztlich nur auf Basis eines universalen Ontologieverständnisses möglich

ist. Damit kommen wir nochmals auf die Ausgangsfrage zurück: Auf wen sollte die Ontologiearchitektur zugeschnitten sein? Die richtige Antwort kann nur in diese Richtung gehen: vom Bedienungskomfort und Verständnis auf menschliche Agenten; in Bezug auf die eigentliche *Superintelligenz* und damit den Kern der Architektur auf maschinelle Agenten. Damit wird erneut sichtbar, dass es fehlleitend ist, das allgemeine Ontologieverständnis der Informatik auf Grundlage des Web 3.0 oder auf Grundlage der Gruberschen Ontologiekonzeption entwickeln zu wollen. Denn beide stellen nur sehr bedingt auf maschinelle Agenten ab; in erster Linie sind beide vielmehr am Alltagsverstand menschlicher Agenten orientiert. Entsprechend sind alle philosophischen Systeme jenseits der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik fehlleitend. Das gilt insbesondere für die Phänomenologie Husserls bzw. Heideggers wie für die Analytische Philosophie. Denn all diese philosophischen Systeme drehen sich entweder um menschliche Agenten oder um deren Sprache. Sie stellen aber gerade nicht auf die speziellen Belange maschineller Agenten ab. Universal eröffnet werden diese allein durch das Leibniz-Whiteheadsche Automatenuniversum. Demgegenüber sind die bestehenden Ontologiekonzeptionen weder auf Superintelligenz noch auf den CPSS/IoX-Konnex zugeschnitten und damit *per se* ungeeignet, um die Zukunft der Ontologie zu entscheiden. Denn die Zukunft der AI-Intelligenz hat elementar etwas mit Multisensorsystemen und Multiagentensystemen zu tun, und dabei kann für die Zukunftsfrage der Ontologie im Sinne globaler Intelligenz allein die Frage der Realisierung der *IoX-Superintelligenz* entscheidend sein. Dabei sollte klar sein, dass sich diese nicht auf Basis von Gruber (1993, 1995) und darauf aufsetzenden Ontologieverständnissen erreichen lässt. Offenbar ist das Dominanzverhältnis in der Agentenfrage diametral umzukehren. Wegweisend für die AI-Ontologie sind die maschinellen Agenten und ihre Wissenserfordernisse. Diese müssen im Wechselspiel von lokaler, regionaler und vor allem globaler Intelligenz exakt, objektiv und cyber-physisch transdisziplinär sein, um echte AI-Intelligenz erreichen zu können.

Die Erforschung der AI-Intelligenz begann historisch mit "*toy problems*"; diese wurden erschlossen, indem man sich an der menschlichen Intelligenz orientierte. Hayes (1979) hat richtig konstatiert, dass diese Orientierung fehlleitend ist. Dennoch ist die Ontologie der Informatik letztlich immer noch hier. Denn die Position Grubers (1993, 1995) ist implizit jene von Sowa (1991g) *Semantic Interpreter*, der nicht nur auf *Common Sense* bzw. "*ordinary English*" basiert, sondern dabei auch explizit auf Wittgensteins (1953) *Sprachspielen* aufbaut.⁵¹⁹² Erklärt man solche *Sprachspiele* zur ontologischen Basis, resultiert daraus im Ergebnis eine auf "*toy problems*" fixierte AI-Disziplin. Diese adressiert nicht die Probleme, die *cyber-physisches "Reality Computing"* im Kontext intelligenter kognitiver MAS-Agenten im IoX-Hyperspace mit sich bringt. Komplexe "*nontoy worlds*" machen es erforderlich, dass *AI-Intelligenz* auch als solche verstanden wird, nicht auf der Grundlage des Alltagsverstands menschlicher Intelligenz. Zur richtigen Orientierung ist also an der Su-

⁵¹⁹² Vgl. Sowa (1991e; 1991f; 1991j: 75 f.).

perintelligenz verteilter sensorbasierter AI-Systeme festzumachen, d.h. an der *IoX-Superintelligenz*. Entsprechend übernehmen im CPSS/SEA- bzw. MAS/CAS-Ontologiekontext maschinelle Agenten notwendig den primären Agentenstatus. Denn sie sind es, die in die Bereiche der Superintelligenz vorstoßen, wenn diese *ex definitione* gerade über menschliche Intelligenz hinausgeht. Mit anderen Worten ist eine IoX-Superintelligenz von vornherein unerreichbar, wenn man Ontologie so angeht, wie es heute gemeinhin geschieht. Sie ist nicht annähernd erreichbar mit Gruber, Berners-Lee et al. oder der Cyc-Ontologie. *Common Sense* bleibt *Common Sense*; über Alltagsrationalität kommt man mit diesem nicht hinaus. Heute hält man AI-Lösungen wie Siri, Cortana, Watson etc., die unmittelbar auf menschliche Nutzer zugeschnitten sind, für das Nonplusultra an "AI-Intelligenz". Doch diese Einschätzung relativiert sich schnell, wenn zu bedenken ist, dass diese Systeme lediglich auf *Common Sense* Basis operieren. Zweifellos bleiben solche Systeme dauerhaft relevant, genauso wie das *Common Sense Knowledge* relevant bleibt, indem es das ist, was menschlichen Agenten primären Nutzen stiftet. Allerdings stellt dies nur *einen* der Aspekte der Ontologie im *Internet of Everything* dar. Tatsächlich bilden die beispielhaft genannten Systeme in ihrer heutigen Natur nicht mehr als eine erste Stufe der eigentlichen AI-Systeme. Das hat nicht einmal viel mit der Entwicklung von Rechenleistung, Algorithmen oder ähnlichem zu tun, sondern mit dem Umstand, dass sie sich an einem inferioren Wissen orientieren. Sie besitzen ihre Zwecksetzung in der Unterstützung der Alltagsrationalität im *Internet of People* (IoP) – nicht mehr und nicht weniger.

Indessen umfasst das *Internet of Everything* nicht nur das *Internet of Data* (IoD) oder das *Internet of People* (IoP); in mancher, etwa quantitativer Hinsicht entscheidender für die Ontologiefrage ist das *Internet of Things and Services* (IoTS) und damit das *Smart Web* bzw. Web 4.0. Komplexe IoX-Systeme wie das *Internet of Chemical Things* (IoCT) oder das *Internet of Bio-Nano Things* (IoBNT) stellen ontologisch betrachtet völlig andere Anforderungen als die semantische Repräsentation menschlicher Alltagsprobleme. Dennoch, und das ist das entscheidende, lassen sich die Ontologien genauso wenig trennen wie sich das *Internet of Everything* nicht in einzelne Teile bzw. Netze separieren lässt. Mit anderen Worten geht es um *das eine*, allgemeine Ontologieverständnis und *die eine*, integrierte Ontologiekonzeption, die für das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) bestimmend ist. Damit ist umgekehrt auch Platz für *Common Sense Knowledge* im *Internet of People*. Indem Ontologie für alle Agenten da ist, muss auch ein allgemeingültiges Ontologieverständnis wie eine integrierte Ontologiekonzeption den Anforderungen *sämtlicher* Agentenklassen entsprechen. Gleichzeitig ist mit dem *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) evident, dass alle Agentenklassen und somit alle Agentenwelten mit McCarthy (1995) auf genau dem gleichen "*general world view*" als fundamentalem Weltmodell aufbauen müssen. Cyber-physische Systeme (CPS) ändern in der Ontologiefrage alles, indem die Ontologie nicht zuletzt auf die CPS-Schnittstellen auszulegen ist, d.h. auf die physische Welt bzw. auf den durchgängigen wie spontanen

Übergang zwischen physischer Welt und Cyberwelten. Das betrifft etwa die Sensor Ontology, die SAW- bzw. CAW-Ontologie oder die U-CEP/SCEP-Ontologie. Das betrifft aber auch etwa das *"New Face of BPM"*, das nicht allein im BAM zu sehen ist,⁵¹⁹³ sondern damit zusammenhängend im ED-BPM bzw. IoT-BPM. Denn auch das BAM steht bei *cyber-physischen "Reality Machines"* notwendig im Wechselspiel mit der Sensorik bzw. Aktorik.

Im *Ubiquitous Computing*, das auf ein *IoX-Computing* hinausläuft, kann es keine ontologischen Insellösungen geben. Somit kann es auch keinen inkompatiblen, sondern nur zu *Scientific Ontologies* kompatiblen *Common Sense* geben. Prinzipiell gesehen ist davon auszugehen, dass sämtliche Ontologien direkt oder zumindest indirekt interdependent sind. Somit ist es inakzeptabel, wenn sie widersprüchliche Fundamente aufweisen. Das gilt umso mehr, als es im *Real World Internet* (RWI) unmöglich ist, dass kausal in die Realität eingebettete Agenten *ihre* Realität auf Basis ihrer Agentenwelt jeweils für sich konstruieren. Das offenbart schließlich auch die Abwegigkeit konstruktivistischer TLO-Ansätze, die sich als Gegenpol zum metaphysischen Realismus verstehen. Gleichzeitig wird offensichtlich, dass gängige Ontologiekonzeptionen wie jene Grubers (1993, 1995) tatsächlich mehr oder weniger ausschließlich auf die Zwecke *menschlicher* Agenten fixiert sind, indem *maschinelle* RWI-Agenten zu Grubers (1995: 910) »minimal ontological commitment« konträrkologisch veranlagt sind. Auch bei lokaler Interaktion mit anderen Agenten lässt sich nicht – und schon gar nicht *ad hoc* – bestimmen, was global richtig ist, was also in fundamentaler Hinsicht vorauszusetzen ist. So gesehen besitzt die AI-Tradition ein verfehltes AI-Verständnis; ihr richtiges kann in *"nontoy worlds"* allein am Moment der *IoX-Superintelligenz* und damit am *CPST- bzw. IoX-Hyperspace* festmachen. Wenn es um die Anforderungen sämtlicher Agentenklassen wie um ihre ontologische Durchgängigkeit geht, ist ein entsprechend systematisches wie universales *Requirements Engineering* zu vollziehen, das unvoreingenommen auf die generelle Anwendbarkeit wie auf die universale Natur der Ontologie abzielt. Welche meta-ontologischen Dispositionen eine solch universale Ontologie voraussetzt, wurde mit Pkt. 7.2 im Zuge der *fünfzig Requirements* dargelegt.

Eines der Grundprobleme der Ontologiedebatte besteht darin, dass man sie entweder naiv-pragmatisch führt oder aber in gleicher Weise wie in der Philosophie, nämlich im Zeichen des jeweilig eingenommenen Paradigmas ideologisch-rational. Diese Praxis führt jedoch nicht weit, denn auf keinem dieser Wege lässt sich eine allgemein anwendbare universale Ontologie für die Informatik realisieren. In dieser Debatte muss es vielmehr gelten, von allen naiven und ideologischen Positionen Abstand zu nehmen indem man sie pragmatisch-rational führt. Insofern kann es weder darum gehen, irgendeine philosophische Ontologie auf die Informatik zu projizieren, noch darum, ohne eine eingehendere Begründung einfach auf der Richtigkeit und Mächtigkeit der Alltagssprache zu insistieren. Ideologische Paradigmen helfen in dieser Sache nicht weiter; vielmehr muss es umgekehrt gelten, von den Anforderungen zu einem neuen pragmatisch-rationalen Paradigma zu

⁵¹⁹³ Vgl. dazu webMethods (2006).

kommen. Es ist also das ontologische Fundament, das der Informatik an sich inhärent ist, freizulegen. Demgegenüber ist es für die Ontologie der Informatik letztlich völlig unerheblich, was der einzelne Ontologe aus Sicht seines Paradigmas für richtig hält. Vielmehr ist allein entscheidend, was den Zwecken der Informatik dauerhaft genügt. Das gilt nicht zuletzt mit Blick auf die in Pkt. 1.1 erörterte fundamentale Änderungsproblematik, die daraus resultiert, dass Ontologien im Zeichen von Pisanelli et al. (2002) mit allen Systemen, Prozessen, Services, Datenmodellen usf. verwoben sind.

Vor diesem Hintergrund ist ein *linguistisches Paradoxon* zu konstatieren: die AI-Disziplin kommt in der Ontologiefrage nicht an der natürlichen Sprache bzw. Alltagssprache vorbei,⁵¹⁹⁴ während die Ontologie als solche nicht in ihr gründen kann. Im IoX/RWI-Kontext kann allein die Ontologie auf Basis *revisionärer* Metaphysik primär sein; ein sprachphilosophischer Zugang zur Ontologie der Informatik ist mit Pkt. 3.3.2 abzulehnen. Allerdings spielt ein alltagssprachliches Ontologieverständnis in einem zweiten, der revisionären Metaphysik nachfolgenden Schritt schließlich doch eine Rolle. Wie oben ausgeführt, ist Platz und muss Platz sein für *Common Sense Knowledge* im *Internet of People* (IoP); anders gewendet operieren AI-Systeme zwar im MAS-Sinne auf Basis maschineller Agenten, doch müssen sie schließlich genauso auf menschliche Agenten als Nutzer zugeschnitten sein. Es geht also um die in Pkt. 1.1 erwähnten Ansätze zum *Natural Language Understanding* (NLU) bzw. *Natural Language Processing* (NLP): es geht um Chatbots, um ontologiegestützte Textanalyse (OBTM) sowie die Maschinenübersetzung (KBMT). Indem solche und ähnliche Dienste zunehmend einen *elementaren* Bestandteil des menschlichen Alltags ausmachen, ist *Common Sense Knowledge* und mit ihm die Normalsprache ontologisch zwingend zu berücksichtigen: die Anwendungen reichen hier vom KBMT-basierten Echtzeit-Dolmetscher für Smartphones über Experten-Chatbots als Substitut für Call-Center bis hin zu Security-Chatbots, Lern-Chatbots, Unterhaltungs-Chatbots usf.⁵¹⁹⁵ OBTM-Anwendungen ermöglichen das direkte mündliche Diktat von Texten wie langer fachlicher Abhandlungen, wobei automatisch korrigiert und lektoriert wird. Darüber hinaus kann auch bei AI-Consumer-Lösungen die Benutzerschnittstelle allein auf Normalsprache basieren; analoges gilt für professionelle Anwendungen, wie es schon der SBVR-Standard und ähnliche Ansätze verdeutlichen. – Umgekehrt aber ist genauso klar, dass echte Superintelligenz nicht auf dem *Common Sense* basieren kann, denn sie geht *ex definitione* über die menschliche Intelligenz nicht nur in quantitativer, sondern vor allem in qualitativer Hinsicht hinaus. Das betrifft etwa Inkonsistenzen, die sich in komplexen Wissensbasen verbergen oder neue Rückschlüsse bzw. Erkenntnisse, die erst auf Basis der Verschaltung überaus komplexer Wissensbasen emergieren. Auch die *ad hoc* Kombination der *Smart Data Analytics* (SDA) bzw. *Real-Time Big Data Analytics* (RTBDA) mit komplexen Ontologien gehört hierzu. Oder die direkte Verschaltung digitaler Optik bzw. hoch-

⁵¹⁹⁴ Vgl. dazu Sowa (2011) sowie Gruber (2013).

⁵¹⁹⁵ Chatbots bilden dabei ein Interface menschlicher Agenten zur Ontologie, vgl. Augello et al. (2014).

sensibler Multi-Sensorik mit einem ganzen System von Ontologien. Mit dem cyber-physischen *Internet of Everything* (IoX) eröffnen sich techno-wissenschaftliche Sphären, die für menschliche Intelligenz unerreichbar sind. Die darauf gründende *IoX-Superintelligenz* wird erst die eigentliche digitale Revolution ausmachen. Voraussetzung dazu ist jedoch, dass die Ontologiearchitektur sich nicht am menschlichen *Common Sense* orientiert als vielmehr an der *IoX-Superintelligenz* maschineller Agenten.

Von der Ermöglichung von *IoX-Superintelligenz* kann heute bei keiner einzigen Ontologiearchitektur die Rede sein, womit sie weder CPSS- bzw. IoX-adäquat noch zukunfts offen ist für die unvermeidliche Emergenz der *IoX-Superintelligenz*. Diese wird auf Dauer in jeder Hinsicht wettbewerbsentscheidend sein, also auf allen Gebieten, auf denen Wettbewerb besteht und für alle Institutionen, die sich im Wettbewerb befinden. Denn die CPS-basierte *IoX-Superintelligenz* eröffnet Superiorität in allen Belangen, indem sie eine neue *Einheit der Erkenntnis* bzw. eine neue *Einheit des Wissens* in Echtzeit ermöglicht. Im Wettbewerb bzw. Widerstreit der Institutionen ist dies im Zeichen von Haeckels (1995, 1999) IBM-Vision des *Sense-and-Respond Model* ausschlaggebend hinsichtlich Innovation, Präzision oder Prognose sowie für das Verständnis *komplexer Systeme* als solche. Eine zukunfts offene wie investitionssichere IoX-Ontologiearchitektur wird jedoch allein realisierbar, wenn sie mit dem IMKO *OCF* auf das transdisziplinäre Fundament von *Scientific Ontologies* gestellt wird, die wie die "*New Physics*" dem Komplexitätsparadigma entsprechen. Insofern muss auch die Zukunft der Ontologie darauf hinauslaufen, *Scientific Ontologies* im System der Ontologien primären Status zu geben.⁵¹⁹⁶ Wie erörtert, kann im Verhältnis von wissenschaftlichen, technologischen und praktischen Ontologien allein der erste Ontologietypus der ausschlaggebende sein, indem er nicht über die beiden anderen zu erschließen ist. Insofern nähern wir uns der Beziehung zwischen *Top-level Ontologie* und natürlicher Sprache über das Verhältnis dieser drei Ontologietypen. Dabei entsprechen die praktischen Ontologien in vielen Fällen dem, was gemeinhin als *Common Sense* bezeichnet wird. Es handelt sich also um jene ontologischen Repräsentationen, die dem durchschnittlichen menschlichen Agenten als Nutzer auf Basis von Alltagssprache erschließbar sind.

Im Unterschied zu Quine (1977) schätzt Sowa (2006a) die Probleme der Präzision, Klarheit, Vagheit und Ambiguität der natürlichen Sprache bzw. Alltagssprache nicht nur weitaus geringer ein; vielmehr sieht er in Bezug auf ihre Variabilität durchaus Vorteile in ihr. Letztlich aber ist diese Position Sowas sehr deutlich zu relativieren, wenn es um die Frage der Zukunft der Ontologie geht, und diese den Zugang zur Superintelligenz nicht verstellen kann. Dann aber geht es um die exakte Realitätsrepräsentation und somit besteht ein Widerspruch zwischen Sowas (2006a) Favorisierung der Alltagssprache mit ihrer *objektzentrischen* Grammatik einerseits und Sowas (2000) *ereigniszentrischer* Top-level Ontologie andererseits. Dabei geht es nicht allein um die Frage der Verhältnisbestimmung zwischen diesen beiden Kategorien und damit um ihre jeweils unterschiedliche Position im

⁵¹⁹⁶ Sowa (2015) erkennt den Stellenwert von *Scientific Ontologies* und Metaphysik.

Kategoriensystem. Vielmehr hängt daran die ganze Physik, etwa in Bezug auf die Frage der Raumzeit, der Emergenz oder der Komplexität. Superintelligenz lässt sich auf Basis solcher Widersprüche kaum realisieren. Umgekehrt wäre die natürliche Sprache kaum erste Wahl, wenn es rein um maschinelle Agenten ginge, also menschliche Nutzer keine Rolle spielten. Tatsächlich wäre die Wahl dann im Sinne einer Maschinensprache eine mächtigere, ereigniszentrische Formalsprache, die der mathematischen Logik entspricht.⁵¹⁹⁷

Indem das System von Ontologien allen Agentenklassen gerecht zu werden hat wird deutlich, dass Ontologie auf Basis von Alltagssprache nur einen kleinen Teil dieses Systems bilden kann. Dabei besitzt dieser Teil vor allem zwei Funktionen: er dient einerseits zur operationalen Bewerkstelligung der Benutzerschnittstelle menschlicher Agenten; andererseits gewährleistet er die Beantwortung von *Common Sense* Anfragen, wie es mit IBMs Watson deutlich wird. Dabei steht im Zeichen der *DBpedia Ontology* (DBPO) außer Frage, dass es ein umfängliches *Common Sense Knowledge* gibt, das sich niemals aus technologischen oder wissenschaftlichen Ontologien herleiten lässt. Tatsächlich müssen auf menschliche Nutzer zugeschnittene AI-Systeme wie Watson gerade auch Antworten bzgl. der sozialen Realität parat haben, etwa auf die Frage, welcher Sportler in welcher olympischen Disziplin wann welche Medaille gewann, welcher Film wann von welchem Regisseur gedreht wurde usf. Das sind Fragen, die IBMs Watson auf Basis der *DBpedia Ontology* (DBPO) und anderer Ontologien direkt beantworten kann. Dem *Common Sense* ist ein solches, auf sozialen Artefakten basierendes Wissen exklusiv. Dabei können sich solche sozialen Artefakte selbst auf fiktive Wissensdomänen, etwa *Science Fiction*, beziehen. Wenn menschliche Intelligenz alle damit verbundenen Fragen prinzipiell beantworten kann, muss jede AI-Superintelligenz dazu gleichsam in der Lage sein. Sie besitzt gerade mit Blick auf solche Wissensdomänen eine Assistenzfunktion. Damit ist der *Common Sense* als wesentlicher Teil in jede universale AI-Ontologiesystematik notwendig zu inkorporieren. Allerdings ist dabei zu beachten, dass dieser *Common Sense* in "*nontoy worlds*" des *Ubiquitous*- bzw. *IoX-Computing* niemals gänzlich isoliert konzipiert werden kann. Das betrifft einerseits das naive Wissen bzgl. der Natur. Andererseits gehen soziale Artefakte Hand in Hand mit Geopositionen oder Geotagging und weisen insofern wiederum einen physischen Bezug auf. Es kann also insgesamt nicht um desintegrierte Ontologien gehen; Superintelligenz verlangt vielmehr nach vollständig integrierten Ontologien, deren fundamentale Korrespondenz allein durch eine einheitliche Referenz auf die *Top-level Ontologie* gewährleistet werden kann.

Somit bleibt die Frage, wie das ganze System von Ontologien integrierbar ist, so dass es keine Widersprüche gibt. Denn diese sind im Kontext von *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) prinzipiell gegeben, wenn alles zusammenspielt, also die physische Sphäre mit der sozialen Sphäre, maschinelle Agenten mit menschlichen Agenten usf. Insofern wird *de*

⁵¹⁹⁷ Auch Haken (2012: 38 ff.) bezweifelt, dass Normalsprache eine notwendige Voraussetzung für Denken ist; genauer reflektiert ist dies selbst bei *menschlichen* Agenten nicht der Fall; vielmehr ist festzustellen, dass ihnen das Denken in Normalsprache anezogen ist.

facto eine Ontologiearchitektur erforderlich, die ungeachtet der spezifischen Ontologieanforderungen jeder Agentenklasse ontologische Widersprüche systematisch ausschließt, die aus der transdisziplinären Verschaltung einzelner Ontologien resultieren können. Die Lösung dieser Problematik läuft auf das *Integrated Metaphysical Knowledge Ontology* (IMKO) Framework wie damit verbunden auf CYPO FOX als integrierter Ontologiearchitektur hinaus. Sie setzt dabei an dem für die linguistische *Knowledge Ontology* zentralen Charakteristikum an, das in ihrer *semantischen Struktur* auszumachen ist:

»An ontology is a *set of structured terms* that describes some domain or topic. The idea is that an ontology provides a skeletal structure for a knowledge base. If two system builders build their knowledge bases on a common ontology, the systems will share a common structure, and it will be easier to merge and share the knowledge bases.«⁵¹⁹⁸

Wenn festzustellen ist, dass die *semantische Struktur* der *Knowledge Ontology* nichts anderes ist als ein "*set of structured terms*", dann steht auch der Verkopplung mit einer strukturalistischen metaphysischen Ontologie im Zeichen des IMKO *Ontology Computing Framework* (OCF) prinzipiell nichts im Wege. Das IMKO OCF impliziert im präskriptivem Sinne: *Keine Wissensontologie ohne metaphysische Ontologie, keine metaphysische Ontologie ohne Wissensontologie!* Vielmehr bilden Metaphysik, Epistemologie, Methodologie, formale Logik und schließlich die formale Ontologie fünf Bausteine, die allein als ein in sich geschlossenes System sinnvoll zu konzipieren sind, jedoch als einzelner Baustein im Grunde genommen wenig Gehalt besitzen können. Denn eine *Knowledge Ontology* muss letztlich immer in der Weise konzipiert sein, dass sich der eine Wissensteil mit dem anderen im Zeichen der *Einheit der Erkenntnis* bzw. der *Einheit des Wissens* verknüpfen lässt. Insofern kann keine sachgerecht konzipierte *Knowledge Ontology* ohne strukturelle Korrespondenz zu einer realistischen techno-wissenschaftlichen *Metaphysical Ontology* auskommen. Umgekehrt lässt sich auch keine ausgereifte metaphysische Ontologie ohne Transformation in die Wissensontologie realisieren. Denn ihre vollständige innere Kohärenz und Stringenz kann erst auf dieser Ebene ersichtlich werden, indem das Kategorienschema mit der Wissensontologie einen ultimativen Test erfährt.

Insofern ist das IMKO OCF nicht nur analog zum *Ratio-Empirismus* zirkulär gedacht; vielmehr ist beides in einem großen Ganzen zirkulär zu denken: die fundamentalen Kategorien wie die meta-ontologischen Dispositionen bilden das Ergebnis des auf alle Wissenschaften wie alle Technopraxis bezogenen *Ratio-Empirismus*, während diese andererseits in einem zweiten Schritt auf die Ebene einer universalen bzw. transdisziplinären *Knowledge Ontology* gebracht werden. In einem dritten Schritt lässt sich diese mit ihrer nunmehr universalen bzw. transdisziplinären Struktur wieder durch sämtliche Disziplinen einschließlich der Technopraxis anwenden. Zur Realisierung des IMKO OCF ist die *semantische Struktur* der *Knowledge Ontology* in einer Weise zu definieren, die für das ganze System von Ontologien *universale* Gültigkeit besitzen kann. Damit besteht dieser Schritt darin, die Alltagssprache *technologisch* zu transformieren. D.h. die Terme der Alltagspra-

⁵¹⁹⁸ Swartout et al. (1997: 138), Hvh. des Verf.

che sind technologisch exakt in der Weise zu definieren, die mit der CPSS-adäquaten realistischen *Top-level Ontologie* bzw. der AI-Kernsemantik korrespondieren. Somit wird die Technologie zum Mittler zwischen wissenschaftlichen und praktischen Ontologien.

Wie das konkret vollziehbar ist, zeigt wiederum das *U-PLM-Referenzszenario*. Mit der SBVR-Notation wird deutlich, dass sich alle Termini bzw. Konzepte im Zeichen des *Structured English* exakt definieren lassen. Somit kann der CYPO *W3 Linguistics* (W3L) Ontologiemodus für Zwecke konsensbasierten *Common Sense* fungieren, indem der W3L-Ontologietypus mit allen anderen CYPO-Ontologiemodi auf Basis einheitlicher TLO-Referenz korrespondiert. Dazu ist im Sinne Mastermans (1984) auf jener *Common Sense-Forschung* aufzubauen, die *de facto* ohnehin im Zeichen von Whiteheads (1929a) Prozessmetaphysik steht. Entsprechende Grundlagen finden sich mit Davidsons (1967, 1969) *Action Sentences* bzw. *4D-Events* oder dem *4D-Common Sense* bei Hayes (1985a, 1985b). Auf dieser Grundlage lässt sich die unscharfe und bisweilen naive 3D-orientierte Alltagssprache in exakte *4D-Alltagssprache* überführen. Im Gegensatz zu den heutigen linguistischen Ontologien impliziert diese keine Konflikte mit *Scientific Ontologies* bzw. technologischen Ontologien. Eine solche Transformation lässt sich automatisieren, indem ein "4D-Word-Net" geschaffen wird, auf dessen Basis etwa Objekte automatisch als *Objektlebenszyklen* definiert werden usf. Entsprechend sind alle bisherigen Top-level Kategorien vollständig auszutauschen. Vielmehr lassen sich zehn fundamentale Charakteristika von Objekten definieren, die der CYPO-Ontologiearchitektur im Whiteheadschen Sinne gerecht werden:

- (i.) Ein Objekt ist prinzipiell weder als Ding noch als Substanz zu verstehen. Konkrete Objekte können Instanzen einer Universalie sein;
- (ii.) Ein Objekt ist ein System und besitzt eine ereigniszentrische Struktur. Es gibt einfache und komplexe Systeme, was cyber-physisch universal gilt;
- (iii.) Ein Objekt ist identisch durch Reproduktion seines Ordnungsmusters in 4D Event Streams;
- (iv.) Ein Objekt ist immer raumzeitlich situiert und steht relational im Kontext zu Ereignissen bzw. anderen Objekten;
- (v.) Ein Objekt ist immer informatorisch erschließbar, auch wenn es sich um ein rein physisches Objekt handelt (physikalische Information);
- (vi.) Ein Objekt besitzt immer einen Lebenszyklus; es hat prinzipiell zeitlich einen Anfang und ein Ende;
- (vii.) Ein Objekt ist emergentisch und unterliegt der Evolution in Raumzeit;
- (viii.) Ein Objekt ist genauso wie ein Ereignis immer einem der vier Welttypen von CYPO *FOX* zuzuordnen;
- (ix.) Ein Objekt ist nicht richtig auf Basis von Alltagssprache (Subjekt-Prädikat-Objekt) beschrieben; vielmehr ist seine Struktur mitsamt seiner Ordnungszustände primär; wird ein Objekt auf Basis von Normalsprache beschrieben, ist eine 4D-basierte Situations- bzw. Ereignissemantik zugrundezulegen;
- (x.) Ein Objekt als *Smart Object* ist ein "*Object as a Service*", für das alle vorgenannten Eigenschaften gelten.

In der Verwirklichung einer universal gültigen Meta-Ontologie besteht der einzige Weg zur Realisierung der ontologischen Konsistenz im ganzen *System von Ontologien*, indem bei IoX-Superintelligenz menschliche Subjekte als Nutzer zu inkorporieren sind. Ontologie ist zwar für alle Agenten da; in erster Linie ist die Ontologiearchitektur zur Realisierung von *IoX-Superintelligenz* jedoch auf die Erfordernisse der *stärksten* Agentenklasse, nämlich auf superintelligente maschinelle Agenten zuzuschneiden, ohne dabei inferiore Agentenklassen außenvorzulassen. Zwar muss sich die Relativitätstheorie nicht für jedes menschliche Subjekt unmittelbar erschließen, doch ist nicht einmal das *Theseus-Paradoxon* zu bemühen, um das Phänomen zeitlicher Teile begreifbar zu machen. Der Umstand, dass Alltagsgegenstände wie "Auto" zeitliche Teile besitzen, ist jedermann verständlich. Dass jedes Ding, jedes Produkt, jedes Lebewesen einen Lebenszyklus besitzt, ist in gleicher Weise klar. Insofern lässt sich dies genauso auf begrifflicher Ebene in dieser Weise voraussetzen. Umgekehrt gilt, dass es menschlichen Subjekte im Allgemeinen befremdlich wäre, ontologisch Gegenteiliges zu behaupten: Die These, dass ein "Auto" nicht zeitlich ist bzw. keine zeitlichen Teile besitzt, dass es nicht raumzeitlich situiert ist usf., widerspricht letztlich jedem alltäglichen Selbstverständnis. Menschliche Agenten besitzen vielmehr ein ausgeprägtes Vermögen reflexiver Intelligenz; ihnen ist Evolutionsdenken im Grunde weniger fremd als es auf Basis der auf Selbstidentität ausgelegten Substanzparadigmas erscheint, das für die Alltagssprache bestimmend ist. In der reflexiven Intelligenz besteht dabei die höchste Form der Intelligenz, da diese erst zur Herstellung des ganzen ontologischen Zusammenhangs bzw. echter Erkenntnis befähigt. Damit ist sie auch hinsichtlich der Frage der möglichen Realisierung von Superintelligenz maschineller Agenten konstitutiv.

Zudem können die Belange von Wissenschaftlern oder Technologen im IoP-Subsystem nicht unberücksichtigt bleiben. Das IoP-Subsystem muss vielmehr alle menschlichen Agenten subsumieren, auch solche, die Wissenschaftler und Technologen sind bzw. es für diese Zwecke nutzen. In der Hierarchie der Semantik gehört der naive Alltagsverstand dort hin, wo er – im Sinne des *reflexiven Intelligenzvermögens* – hingehört, nämlich an das untere Ende. Insgesamt bedarf der IoX-Hyperspace der semantischen Interoperabilität aller Automaten- bzw. Agentenklassen, was im Zeichen des *Reality Computing* eine ontologische Totallösung erfordert. Man kann also nicht so weit gehen, mit Einstein zu konstatieren, dass Wissenschaftler nicht sprachlich denken.⁵¹⁹⁹ Vielmehr sollte das IoP-Subsystem im Unterschied zum IoA-Subsystem im Ganzen grundsätzlich auf eine neue Form von Normalsprache gestellt werden, der eine kombinierte Situations- und Ereignissemantik zugrundeliegt: Wenn auch die Realität der praktischen Handlungssphäre im Sinne des in Pkt. 1.5.1 behandelten 4DP-Paradigmas mehr und mehr unmittelbar mit synthetischen Cyber-physischen Systemen durchsetzt ist und sich somit im digitalistischen Sinne höherentwickelt, muss sich die Menschheit auch mit ihrer Alltagssprache anpassen. Sie muss die 4DP-Artefakte in ihren Zustandsänderungen erfassen können. Entsprechend muss die

⁵¹⁹⁹ Vgl. Fn. 1320.

Normalsprache evolvieren. Dass eine auf Wandel ausgelegte Sprache dem Alltagsverstand viel näher liegt, ist vor allem ein Leibniz-Kantisches Verdienst, das später durch die Darwinsche Deszendenztheorie in spezifischer Hinsicht biologischer Arten untermauert wird. Alles im Kosmos, alles Leben ist ein Werden, kein statisches Sein. Es geht um Prozesse mit Reproduktionsmustern, nicht um die naive Idee der ewigen Substanz.⁵²⁰⁰

Alltagsbegriffe wie "*Auto*" sind semantisch unproblematisch, wenn sie unter expliziter Maßgabe dessen, was menschlichen Subjekten jenseits der Cartesischen Substanzlehre ohnehin bewusst ist, definiert werden: dass nichts ewig ist und sich Dinge und Lebewesen beständig verändern. Dass sie emergieren, sich entwickeln, wieder zerfallen, und wiederum Neues emergiert. Dass es sich dabei um eine Abfolge kosmologischer Ereignisse handelt, versteht sich dabei von selbst. Ontologisch betrachtet ist also nicht mehr zu tun als jedes Objekt in einen *ereigniszentrischen Objektlebenszyklus* zu stellen. Die ontologische Idee ewiger Partikularien, also der ersten Substanz, die an sich keine *wissenschaftliche* ist, bleibt *ad acta* zu legen. Damit ist die Substanzidee, die in den meisten TLO-Ansätzen bis heute mindestens indirekt fortwirkt, insgesamt hinfällig. Vielmehr repräsentiert jedes Objekt eine zeitliche Entität und besitzt als solche einen im Whiteheadschen Sinne gedachten organismisch-ereigniszentrischen Lebenszyklus mit einem zeitlichen Anfang und einem zeitlichen Ende. Jedes Objekt konstituiert sich also über Ereignisse und geht erst aus diesen hervor. Darüber hinaus ist jedes Objekt auch in Cyberwelten räumlich und insgesamt raumzeitlich definierbar. Jedes Objekt ist mit sich identisch, wenn die Reproduktion seines Ordnungsmusters identisch ist. Indem das *U-PLM-Referenzszenario* Produkte im Zeichen von Produktlebenszyklen definiert, ist damit der Weg gewiesen: ein einfachster Alltagsbegriff wie "*Auto*" lässt sich auch als generische Klasse im Sinne technischer PLM-Produkte exakt definieren und etwa nach Fahrzeugtypen genauestens spezifizieren. Solche Alltagsbegriffe stehen einer Auslegung in exakter *4D-Alltagsprache* in keiner Weise entgegen. Auf Basis eines *technologischen Mittlers* sind Thomassons (2007) *Ordinary Objects* somit in keiner Weise in einem unbedingten Widerspruch zu *Scientific Ontologies* zu sehen.

Vielmehr lässt sich über solche technologische Mittler die erforderliche Konsistenz des gesamten *Systems von Ontologien*, das durch alle Agentenklassen einheitlich nutzbar ist, garantieren. Die Informatik kommt auf dieser Basis mit genau einem "*general world view*" aus, und indem dieser universal ist, kann es auch nur einen geben. Genauso kommt sie auf dieser Basis mit genau einer Ontologiearchitektur aus, wie es mit *CYPO FOX* deutlich wird. Alles andere wäre nicht transdisziplinär, inkonsistent und somit inakzeptabel. In technologischen Ontologien, die immer an wissenschaftliche anknüpfen, besteht insgesamt die dominierende Ontologieart für alle Welttypen von *CYPO FOX*, was klar wird, wenn die Ontologietypen der in Pkt. 1.1 abgegrenzten *fünf IoX-Subsysteme* betrachtet werden:

⁵²⁰⁰ Selbst darauf gibt die Whiteheadsche Metaphysik, wie es gemäß der *metaphysica specialis* zu fordern ist, eine Antwort. Es handelt sich um eine im Sinne der physikalischen Feinabstimmung der Naturkonstanten zu sehende wissenschaftskonforme Alternativantwort, die selbst mit der Evolutionsbiologie korrespondiert; vgl. dazu etwa Hartshorne (1941).

- (i) *Internet of Data* (IoD): Technological Ontology / Scientific Ontology
(Common Sense für Social Media Monitoring)
- (ii) *Internet of Services* (IoS): Technological Ontology
- (iii) *Internet of Things* (IoT): Technological Ontology / Scientific Ontology
- (iv) *Internet of Agents* (IoA): Technological Ontology / Scientific Ontology
(Common Sense für M2H- bzw. H2M-Interface)
- (v) *Internet of People* (IoP): Technological Ontology / Scientific Ontology
(Semantic E-Science) / Common Sense Ontology

Dieser Sachverhalt erklärt sich nicht nur aus der *IoX-Infrastruktur* etwa mit ED-SOA-Ontologien oder *Method, Task* und *Functional Ontologies*, sondern auch dadurch, dass die Referenzontologien der Technopraxis im Allgemeinen *technologische* Ontologien bilden. Das gilt damit auch gerade für entsprechende Domänenontologien. In Industrien wie etwa der Medizintechnik verlangen sie jedoch unmittelbare Konsistenz zu korrespondierenden *Scientific Ontologies*. Mit Blick auf den erforderlichen *4D-Common Sense* ist vor diesem Hintergrund somit zu konstatieren, dass keine Gründe dagegen sprechen, warum ihre exakte Struktur nicht auf andere Kontexte menschlicher Agenten übertragbar sein soll, wenn die *prozessuale* Sicht für das Humanum die eigentlich erfahrungsgemäße Sicht bedeutet. Mit Masterman (1984) ist der *Common Sense* also auf Whitehead (1929a) zu beziehen.

Schließen wir mit den Implikationen für die Metaphysik der Informatik ab: Metaphysik ist nicht mehr und nicht weniger als das, was hinter der Physik kommt, die einmal *erfahrungswissenschaftlich* und einmal mit Carnap (1928a), Eddington (1939), C.F. von Weizsäcker (1974) im Sinne von Whitehead (1919, 1929a) und Russell (1927a) zusätzlich *strukturwissenschaftlich* verstanden sein kann. Metaphysik umfasst all das, was die Physik selbst nicht behandelt, nämlich zuvorderst die Frage nach den fundamentalen Strukturen aller Welten, allen voran der Realität. Metaphysik ist Kosmologie; die Physik baut wiederum fundamental auf kosmologischen Voraussetzungen auf. Auch das ist mit dem Whiteheadschen »interplay between science and metaphysics« gemeint. Das ist dann die revisionäre Metaphysik, indem diese unmittelbar auf die Natur bezogen ist. Für mathematische Physiker wie Whitehead steht außer Zweifel, dass die Physik nicht am ontologischen "*Everything*" orientiert ist; Kosmologie schon. Nur auf Ebene der Metaphysik lässt sich im transdisziplinären wie ratio-empirischen Sinne entscheiden, wie die Frage *Materie vs. Information* als "*Urstoff*" des Universums zu bestimmen ist. Das ist die Perspektive des Leibnizprogramms als solchem; im Ganzen fällt es unter revisionäre, nicht unter deskriptive Metaphysik. Demgegenüber ist die deskriptive Metaphysik "Prä-Leibniz", und zwar nicht nur insofern, als sie einerseits die *Scientia generalis* und damit das Empirische außen vor lässt,⁵²⁰¹ andererseits auf den durch Leibniz abgelehnten *Common Sense* bzw. der Alltagssprache beruht. Darüber hinaus ist die deskriptive Metaphysik auch insofern "Prä-

⁵²⁰¹ Hier ist zu beachten, dass die Leibnizsche *Scientia generalis* zwei Aspekte in sich vereinigt, nämlich eine *empirische* (Inventarium) und eine *apriorische* Basis (Buch der Deduktionen); vgl. dazu auch Poser (2016: 430 f.).

Leibniz", als sie faktisch an der aristotelischen bzw. Cartesischen Substanzmetaphysik angelehnt ist. Auch Whitehead lehnt die Subjekt-Prädikat-Struktur der Alltagssprache ab; die aristotelische Subjekt-Prädikat-Logik ist mit Popper (1979: 104) »etwas sehr Primitives«. Noch entscheidender ist, dass sie der Subjekt-Objekt-Dichotomie verhaftet ist. Die deskriptive Metaphysik ist also vor allem Cartesisch, indem die menschliche *res cogitans* die Natur sprachlich, d.h. im linguistischen OLP-Paradigma zu fassen sucht, ohne im Sinne der *Harmonie-These* ihre fundamentalen Strukturen im Einzelnen zu untersuchen. Indem die AI-Disziplin den Kern der modernen Informatik stellt, ist die AI-Metaphysik zugleich *Metaphysik der Informatik* (et v.v.). Das ist in verschiedener Hinsicht besonders herauszustellen, insbesondere in jener, dass die AI-Metaphysik auf die eigentlichen AI-Agenten (IoA), d.h. auf *maschinelle* Agenten zielt. Schließen wir mit einem Gedankenexperiment: Gesetzt den Fall, es gäbe allein maschinelle Agenten, die perzeptiv-kognitiv unmittelbar in der physischen Welt interagieren: welche Metaphysik wäre dann zu setzen? Tatsächlich käme dann nur eine in Betracht, nämlich die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik.

8.3 Leibniz-Whiteheadsche Cyber-Physik vs. "Philosophy of Information"

»The philosophy of modern systems science aims to explain the information and computational dynamics of complex systems [...]. From a philosophical point of view, dynamical systems in nature and society can be considered as information and computational systems. [...] By understanding complex systems we can make much more progress in evaluating our information technologies and choosing our next steps.«

— Klaus Mainzer (2004b: 28, 38)

Aus der in Pkt. 7.2 entwickelten Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwärter lassen sich genauso unmittelbar die Anforderungen der *Metaphysik der Informatik* spezifizieren. Indem alles *Computing* als *Ontological Computing* zu verstehen ist, und es universal allein als *cyber-physisches "Reality Computing"* aufgefasst werden kann, ist ein universales *Requirements Engineering* (RE) in einem Konkretisierungsgrad möglich, den bisher die meisten Informatiker für undenkbar gehalten haben. Nicht umsonst wurde ein systematisches universales *Requirements Engineering* (RE) erst gar nicht versucht, was in der Konsequenz die ontologische Konfusion der Informatik bedeutet. Mit dem in Pkt. 7.2 realisierten Konkretisierungsgrad kann es keine zwei Metaphysiken geben, die gleichzeitig den Anspruch erheben, die Informatik bzw. die AI-Disziplin als ihren Kern fundieren zu können. In Pkt. 4.2 wurde bereits umrissen, warum die *Metaphysik der Informatik* allein eine Whiteheadsche Metaphysik sein kann. Indessen artikuliert mit der *"Philosophy of Information"* (PI) eine andere Metaphysik genau den gleichen Anspruch, allerdings ohne sich überhaupt nur annähernd mit der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik auseinandergesetzt zu haben. Die PI-Tradition ist als eine heterodoxe wie heterogene Strömung zu verstehen, die in China mit K. Wu auf die 1980er Jahre sowie im Westen insbesondere mit

Floridi auf die Mitte der 1990er Jahre zurückgeht;⁵²⁰² beide werden in ihrem Paradigma als "father" der "*Philosophy of Information*" erachtet.⁵²⁰³ Damit wird nicht zuletzt für Dritte die Leibniz-Whiteheadsche Metaphysik genauso ausgeblendet wie jene Vielzahl von der Informationstheorie bzw. Kybernetik ausgehender Arbeiten,⁵²⁰⁴ die sich fundamental mit der *Philosophie der Information* auseinandersetzen.⁵²⁰⁵ Wenn unter Pkt. 1 festgestellt wurde, dass McCarthys (1995) Hilfsersuchen an die Philosophie weder von dieser gehört noch vom überwiegenden Teil der AI-Disziplin registriert – oder im Ganzen verstanden wurde, würden manche PI-Verfechter zwar das Gegenteil behaupten. Denn sie reklamieren auch den Anspruch, nicht nur die Informationswissenschaften begründen zu können,⁵²⁰⁶ sondern ebenso die AI-Disziplin,⁵²⁰⁷ und schließlich auch die Informatik insgesamt.⁵²⁰⁸ Dass dieser fundamentale Anspruch des PI-Paradigmas, der für sie von konstituierender Natur ist, in dessen in keiner Weise haltbar ist, wird im Folgenden kurz gezeigt.

McCarthys (1995) Hilfsersuchen an die Philosophie hat auch die "*Philosophy of Information*" insofern nicht vernommen, als sie sich mit den eigentlichen Problemen und Anforderungen der Informatik erst gar nicht auseinandersetzt. Vielmehr ist analog zu den im fünften Teil diskutierten philosophischen Programmen festzustellen, dass auch die PI-Protagonisten ihre philosophische Programmatik auf die Informatik zu projizieren suchen. Nicht wenige der PI-Protagonisten sind Philosophen, die wie Floridi (1999a) über die Computerethik auf das Feld der Informatik bzw. ihren AI-Kern vorrücken. Konkret wird hier das eigentlich für Zwecke der Computerethik entworfene philosophische Schema einer Informationsethik zu einer umfassenderen "*Philosophy of Information*" erweitert mit der man meint, die generellen metaphysischen Grundlagen für die Informatik bzw. AI-Disziplin stellen zu können. Tatsächlich aber vermag die PI-Strömung eine wirkliche Antwort auf McCarthys (1995) Frage des "*general world view*" nicht zu geben. Sie kann auch keine universale Antwort auf die unter Pkt. 3 aufgeworfenen Fragen Castels (2002: 29) "*what computing is*", auf Kauffmans (2008: 193) "*what information is*" oder – indem alles *Computing* ein *Ontological Computing* darstellt – "*what ontology is*" geben. Mit Castel (2002: 30) gilt: »Ontology is the key [...], but it needs to reach deep into philosophy«, und die dazu notwendigen Schritte haben die PI-Philosophen nicht verstanden. Denn sie argumentieren in eklektizistischer Weise über die verschiedensten philosophischen Programme, ohne dass ihnen dabei klar zu sein scheint, worin – in Anlehnung an Kant – der eigentliche *Skandal der Philosophie* besteht.

⁵²⁰² Vgl. dazu J.E. Brenner (2011b), G. Li (2011) sowie Zhou/Brier (2015).

⁵²⁰³ Vgl. etwa Da Silva/Ribeiro (2012: 180).

⁵²⁰⁴ Vgl. dazu Wiener (1948) sowie Shannon/Weaver (1949).

⁵²⁰⁵ Vgl. etwa Cherry (1951), Bar-Hillel/Carnap (1953), Bar-Hillel (1955), Ursul (1966), D.M. MacKay (1969), Hintikka (1970), Sayre (1976, 1986), Dretske (1981, 1983a, 1983b), Loewer (1983), Barwise (1986), Fodor (1986) oder P. Young (1987).

⁵²⁰⁶ Vgl. etwa Tomic (2010).

⁵²⁰⁷ Vgl. etwa Schiaffonati (2003).

⁵²⁰⁸ Vgl. etwa Kolin (2011).

Bezeichnenderweise im Jahr der Whiteheadschen (1929a) philosophischen Synthese hat Kröner (1929) implizit aufgezeigt, dass es ein Fehlschluss ist, wenn im Zeichen der "*Philosophy of Information*" verschiedenste philosophische Programme in eklektizistischer Weise miteinander kombiniert werden: »Der eigentliche Skandal der Philosophie besteht einfach und allein in der Anarchie der philosophischen Systeme: in der unreduzierbaren Vielheit und dem krassen Widerstreit der philosophischen Anschauungen untereinander«. ⁵²⁰⁹ Mit anderen Worten ist die ontologische Konfusion mit einer eklektizistischen Strategie nicht zu beheben. Die Bestimmung der *Metaphysik der Informatik* muss vielmehr genau umgekehrt ansetzen: Sie muss über ein systematisches wie universales *Requirements Engineering* (RE) zur Ontologie kommen. Das ist indessen genau das, was die "*Philosophy of Information*" nicht zu leisten vermag. Sie kann somit das in Pkt. 1.2 erörterte Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem der Informatik nicht lösen; vielmehr verschärft sie es mit ihrem Eklektizismus, selbst wenn sich dieser auf das informatorische Moment beschränkt. PI-Philosophen dringen aber nicht nur nicht in die Tiefen der Informatik vor, indem jeder RE-Vollzug unterbleibt. Vielmehr disqualifizieren sie sich auch in anderer genauso zentraler Hinsicht, indem sie auch nicht Castels (2002: 30) Forderung entsprechen, sich in die eigentlichen Tiefen der Philosophie herabzulassen. Denn eine eingehendere Auseinandersetzung mit Leibniz und insbesondere mit Whitehead fehlt bei ihnen komplett, obschon gerade die eigentliche *Information Philosophy* genau hier beginnt.

Ungeachtet dieser bereits auf den ersten Blick offensichtlichen Unzulänglichkeiten kommen wir aus drei Gründen nicht um eine nähere Auseinandersetzung mit der "*Philosophy of Information*" umhin. Zunächst ist (i) darauf abzustellen, dass es sich um ein Alternativparadigma zur Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik handelt, wenn der Fundierungsanspruch für die Informatik bzw. ihren AI-Kern gestellt wird. Das gilt auch dann, wenn für einzelne PI-Protagonisten etwa mit Verweis auf Mainzer (1994a) bereits evident ist, dass eine universale Informationstheorie im Kontext der *Theorie komplexer Systeme* zu entwickeln ist. Genauso wesentlich ist, dass die PI-Strömung (ii) in verschiedenen Disziplinen größeren Zuspruch erfährt. Hierzu gehören Teile der Philosophie, der Informationswissenschaften oder der Computerethik; in einigen Fällen werden ihre Überlegungen auch durch Informatiker aufgegriffen. Der wichtigste Grund ist jedoch (iii) darin zu sehen, dass die PI-Strömung bisher noch nicht einer Fundamentalkritik unterzogen wurde, was umso dringlicher erscheint, als sie explizit eine *philosophische Revolution* proklamiert. Allerdings liegt sie auch damit insofern falsch, als ihr diese Revolution einerseits gar nicht zuzuschreiben ist, andererseits sie sich damit zusammenhängend anders als von ihr gedacht gestalten muss. Das lässt sich mit Kröner (1929) und mit Heidegger (1966, 1972) begründen: Denn zum einen kann es eine wirkliche philosophische Revolution nur dann geben, wenn sie zugleich eine philosophische Synthese bedingt. Doch kann die PI-Strömung mit ihrem Eklektizismus eine solche Synthese tatsächlich gar nicht leisten. Vielmehr bleibt

⁵²⁰⁹ Vgl. Kröner (1929: 1), ohne Hvh. des Orig.

Kröners (1929) *Skandal der Philosophie* bestehen, zumal wenn sich herausstellt, dass das philosophische Fundament der Informatik bzw. AI-Disziplin gar nicht durch das PI-Paradigma, sondern durch ein anderes Metaphysiksystem gestellt wird. Demgegenüber bezieht Heidegger (1966, 1972) mit Pkt. 5.6 eine nicht minder kritische Position zur Philosophie; er sieht diese in die Wissenschaften übergehen und fasst die Kybernetik als Kulminationspunkt der wissenschaftlichen Entwicklung auf. Natürlich hängen beide Positionen zusammen, und man muss sie drittens mit der Kantischen Metaphysikkritik kombinieren. Wird dies vollzogen, folgt daraus folgendes: es bedarf einer philosophischen Synthese, die empirisch zu den Wissenschaften offen ist und mit der Kybernetik auch Technologien sowie die Technopraxis einbezieht. Es folgt daraus die Whiteheadsche Synthese.

Demgegenüber ist die PI-Tradition nicht nur irreführend, sondern sie ist auch als unhaltbar zurückzuweisen. Denn sie wird weder Kants (1781), Kröners (1929) noch Heideggers (1966, 1972) Kritik gerecht. Zwar geht die PI-Tradition mit ihrem "Putting Information First" auf den ersten Blick in die richtige Richtung; in Wahrheit aber wäre die Philosophie auch auf ihrer Basis im Heideggerschen Sinne am Ende, indem sie keine Cyber-Physik verkörpert. Dieses Manko lässt eine absolute Durchgängigkeit zwischen der Metaphysik und den Wissenschaften genauso wenig zu wie eine tatsächliche techno-praktische Begründung im Sinne der Kybernetik, deren Schutzpatron Wiener (1948) gerade in Leibniz ausmacht.⁵²¹⁰ Die damit zusammenhängenden Probleme werden im Folgenden im Zuge einer Kurzkritik näher erläutert, die sich in zwei Schritte unterteilt: In einem ersten Schritt wird die "*Philosophy of Information*" vor dem Hintergrund der zehn Kernthesen zur *Ontologie komplexer IoX-Systeme* reflektiert. Anhand dieser zehn Kernthesen wird deutlich, warum die "*Philosophy of Information*" weder die theoretische noch die praktische Informatik tatsächlich fundieren kann. Diese Konfrontation wird dabei nicht nur die Unzulänglichkeiten der PI-Tradition greifbar machen, sondern umgekehrt auch nochmals die Bewandnis der zehn Kernthesen verdeutlichen. Das gilt insbesondere für die Grundsatzthese, dass die einzig sachgerechte Metaphysik der Informatik in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik besteht. In einem zweiten Schritt werden die Konsequenzen resp. Implikationen dieser Fundamentalkritik aufgezeigt. Die wichtigste ist darin zu sehen, dass aufgrund des oben erörterten RE-Ausschlussprinzips aus den Darlegungen folgt, dass die proklamierte PI-Alternative vollständig zurückzuweisen ist. Beginnen wir mit dem ersten Schritt, und konfrontieren die "*Philosophy of Information*" mit den zehn Kernthesen der *Ontologie komplexer IoX-Systeme*; mit ihrem faktisch prägenden Stellenwert für die PI-Tradition wird dabei primär auf die Arbeiten Floridis Bezug genommen:

- Ad 1. *Der Ontologiebegriff ist ambivalent, die Ontologieverständnisse inkompatibel, die Ontologiedebatte konfus; ihre Klärung verlangt die fundamentale cyber-physische Perspektive, die nur digitalmetaphysisch fixiertes Ontological Com-*

⁵²¹⁰ Vgl. dazu auch die Ausführungen in Pkt. 4.2, speziell Fn. 2946.

puting eröffnet: Wie u.a. in Pkt. 4.2 dargelegt, lässt sich die ontologische Konfusion allein über eine transdisziplinäre Totalsynthese beheben, die notwendig auf dem Ratio-Empirismus aufbaut. Demgegenüber verschärfen PI-Protagonisten wie Floridi nicht nur die Ambiguität des Informations-, sondern auch des Ontologiebegriffs usw., indem sie in ihren Argumenten ungeachtet der philosophischen Kritik Kröners (1929) verschiedenste Philosophien miteinander kombinieren, um auf dieser Basis von Descartes über Platon zu Heidegger und schließlich über Marx zu Spinoza und Aristoteles zurück sprunghaft zu argumentieren. Ein solch eklektizistisches Vorgehen kann der bestehenden ontologischen Konfusion natürlich nicht entgegenwirken, sondern ist ihr vielmehr noch zuträglich. Das in Pkt. 1.2 behandelte Inkommensurabilitätsproblem als Kernproblem lässt sich auf diese Weise nicht überwinden, indem die einzelnen bemühten Philosophien gerade nicht ineinander übersetzbar sind; sie sind inkommensurabel. Nicht sprunghafte Argumente auf Basis inkommensurabler Metaphysiken bringen die Lösung, sondern allein ein systematisches Vorgehen im Sinne eines universalen *Requirements Engineering* (RE). Es gibt analog zur TLO-Debatte nur eine Lösung, und diese besteht in genau umgekehrter Strategie zum PI-Eklektizismus darin, die Frage nach der *einen* Metaphysik der Informatik zu klären. Genau das ist auch problemlos möglich. Demgegenüber ist bereits das, was als "*Philosophy of Information*" verstanden wird, selbst nicht konsistent: Floridi (2003) unterscheidet einen analytischen und einen metaphysischen Ansatz und will selbst eine Evolution von erstem zu zweiten vollzogen haben. Allerdings kann die durch Floridi (2003) behauptete Kohärenz beider Ansätze nicht universalisiert werden; denn jene Metaphysiken, die gerade am Informationsmoment und nicht an der Materie ansetzen, sind mit der analytischen Tradition fraglos als inkompatibel zu werten. Speziell erweisen sie sich nicht als mit dem OLP-Zweig resp. der "Oxford Philosophy" vereinbar. Zudem erscheint Floridis (2008b: 127) These fragwürdig, wonach die PI-Tradition aus der analytischen Bewegung hervorgehe. Denn sie baut vielleicht maßgeblich, aber kaum exklusiv auf analytischen Ansätzen auf. Aber auch was die Metaphysik betrifft, ist die PI-Tradition alles andere als gefestigt. Bspw. stützen sich Fleissner/Hofkirchner (1996) bei der Entwicklung ihrer vereinheitlichten Informationstheorie im Sinne emergenter Information in Bezug auf die Systemdynamik gerade auf die Bunesche Metaphysik, die nicht weniger als den materialistischen Gegenpart zur Whiteheadschen informatorischen Metaphysik darstellt. Warum Fleissner/Hofkirchner (1996) analog zu Floridi nicht die Auseinandersetzung mit Whitehead suchen, bleibt eine offene Frage. Indem die PI-Tradition dem Inkommensurabilitätsproblem als metaphysischem Kernproblem der Informatik in elementarer Weise gegenübersteht, versagt sie komplett am

Problem der ontologischen Interdependenz des CPST- bzw. IoX-Hyperspace. Lösen lässt sich diese ontologische Interdependenz allein vor dem Hintergrund des *"Universe of Discourse of Anything"*, das indessen mit Floridis (2004b) *Informational Realism* nicht richtig adressiert ist. Entscheidend ist vielmehr eine metaphysische Theorie, die sich auf das cyber-physische Automatenuniversum im Ganzen bezieht und alle Konzepte in dieser universalen Grundlegung entwickelt. Es muss also in techno-wissenschaftlicher Hinsicht um Cyber-Physik gehen, an die sich die Automatentheorie systematisch anschließt. Dies bezieht praktische Anwendungen etwa auf Basis der Theorie zellulärer Automaten mit ein. Es geht damit um Cyber-physische Systeme (CPS) als komplexe Systeme, die jedoch in den Kernansätzen der PI-Tradition keine Rolle spielen. Bei einigen PI-Ansätzen ist dies anders. So machen Fleissner/Hofkirchner (1997) nunmehr das Moment der *Information* nicht nur an Leibniz fest, sondern suchen im expliziten Rekurs auf Mainzer (1994a) seinen Zugang über die Komplexitätsforschung. Das jedoch erfordert mit Blick auf die erforderliche transdisziplinäre Totalsynthese eine Begründung im Sinne des Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversums. Denn nur über eine ratio-empirische Synthese lassen sich alle Konzepte universal bestimmen. Würde dieser Schritt vollzogen, könnten mit Fleissner/Hofkirchner (1997) einzelne PI-Protagonisten das verfehlt PI-Paradigma hinter sich lassen und sich der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik als philosophischer Synthese zuwenden.

Ad 2. *Linguistische "Ontologien" sind de facto semantische Netze ohne maximale ontologische Verpflichtung des fundamentalen Weltmodells; als solche sind sie IoX-inadäquat. Daher muss auf den "linguistic turn" ein erneuter "ontological turn" folgen:* Floridi (1999b: 202) vertritt noch eine rein linguistische Ontologieauffassung, die zwischen der Tradition Grubers und Guarinos verortet werden kann. Über Gruber geht Floridi insofern hinaus, als er nicht auf eine minimale ontologische Verpflichtung fixiert ist, sondern die Interoperabilität im Mittelpunkt steht, was an sich ein richtiger Gedanke ist.⁵²¹¹ Guarinos Ontologieauffassung wird demgegenüber nicht erreicht, indem Floridi nicht den zentralen Stellenwert der Top-level Ontologie erkennt, den diese indessen für jedes Integrationszenario besitzt.⁵²¹² Damit zusammenhängend ist herauszustellen, dass es bei Floridi (1999b) lediglich um linguistisches Vokabular geht; es handelt sich somit um das Gegenteil dessen, was hier mit dem IMKO OCF als Kombination von metaphysischer Ontologie und Wissensontologie im Kontext

⁵²¹¹ Vgl. Floridi (1999b: 203): »A sharable ontology is [...] designed to allow such a degree of commitment, on the side of intelligent agents (groups of people and/or programs, including ES and other KB systems), as to make their efficient interoperability unproblematic«. Anzumerken bleibt, dass maschinelle Agenten nicht als Programme aufgefasst werden sollten, vgl. dazu Franklin/Graesser (1997).

⁵²¹² Floridi (1999b: 204) sieht die Kernontologie als zentral an, was zwar besser als Grubers Position, jedoch schlechter als Guarinos TLO-bezogene Ontologieauffassung zu werten ist.

Cyber-physischer Systeme (CPS) vollzogen wird. In den Folgejahren vollzieht sich die oben mit Floridi (2003) erwähnte Transformation vom analytischen zum metaphysischen Ansatz, womit das Gesamtwerk Floridis nicht konsistent ist. Denn mit Floridis (2004b) *Informational Realism* geht es nunmehr explizit um Metaphysik. Dabei ist klar, dass eine informatorisch-strukturalistische Metaphysik mit Floridis (1999b) linguistischer Ontologieauffassung mindestens insofern grundsätzlich inkompatibel ist, als letztere im Sinne seines "3D Cartesian space" auf 3D-Objekte bezogen ist.⁵²¹³ Die Informatik ist jedoch allein auf Basis von 4D-Objekten bzw. Ereignissen richtig gedacht. Insofern findet der erneute "ontological turn" ohne die PI-Tradition statt.

Ad 3. *Ontologie ist "metaphysica generalis", womit der "ontological turn" die Frage der für die Informatik adäquaten Metaphysik impliziert; sie ist primär an cyber-physischen Signalen/Bits, Event Streams, und am Grundstoff Information zu entscheiden:* Floridi (2004a) liegt falsch mit der Auffassung, dass eine "unified theory of information" einen reduktionistischen Ansatz verkörpere. Vielmehr ist das genaue Gegenteil der Fall, wenn diese über die "metaphysica generalis" und einen entsprechenden "ontological turn" begründet wird; dann liegt diese Universalität in der *Vielheit in der Einheit* von Leibnizens *Ontological Computing* begründet bzw. im Sinne von Mainzers (1993) Transdisziplinaritätsgedanken. Nicht nur vor dem Hintergrund seines Eklektizismus muss Floridis (2004b) *Informational Realism* unklar bleiben, sondern auch aus zwei weiteren elementaren Gründen: zum einen lässt sich Floridis (2004b) Debatte um den Strukturenrealismus samt der Abgrenzung zwischen seiner ontischen (OSR) und epistemischen (ESR) Variante allein vor dem Hintergrund einer kompletten Metaphysik führen. Floridis (2008a) *Informational Structural Realism* (ISR) vermag indessen metaphysisch kaum zu überzeugen. Denn dieser impliziert ontologisch »a non-materialist view of the world as the totality of informational structures dynamically interacting with each other«. ⁵²¹⁴ Wie eine solche metaphysische Ontologie jedoch wissensontologisch in eine echte *Scientific Ontology* gekleidet werden soll, bleibt Floridis Arkanum. Denn um solch praktische Herausforderungen der Informatik geht es im abstrakten PI-Schema erst gar nicht. Doch selbst wenn man beim metaphysischen Strukturenrealismus bleibt, gilt: Wenn man diesen vertritt, dann muss es im kausalen Informationszusammenhang um einen *prozessualen Strukturenrealismus* gehen, wie ihn etwa Earley (2006, 2008) als Neo-Whiteheadschen *Process Structural Realism* (PSR) fordert. Diesen machen aber Floridis Informationsobjekte nicht mit. Indem Floridi (2004b) zwar explizit eine metaphysische Po-

⁵²¹³ Vgl. Floridi (1999b: 70).

⁵²¹⁴ Vgl. Floridi (2010b: 414).

sition vertritt, allerdings nicht auf einer Prozessmetaphysik aufbaut, sind seine Ausführungen für die Zwecke der Informatik *per se* nicht aussagekräftig. Analoges gilt für Cyber-physische Systeme (CPS), nicht zuletzt in ihrer Eigenart als *Complex Adaptive Systems* (CAS) in vernetzten Strukturen. Beides ist für die Informatik elementar, spielt jedoch in Floridis (2004b) Debatte um den Strukturrealismus wie für die Begründung seines *Informational Realism* keinerlei Rolle. Wenn die PI-Tradition gleichzeitig die Informatik fundieren soll, passt hier offensichtlich einiges nicht zusammen. Das gilt zum anderen mit Blick auf den Grundstoff als solchen: Wenn für Floridi (2004c: 560 f.) der Informationsbegriff ungeklärt ist, dann kann es auch um Floridis (2004b) *Informational Realism* nicht gut bestellt sein. Im Ganzen wird deutlich, dass die Informatik kaum auf Floridis fragwürdiger Metaphysik aufbauen kann.

Ad 4. *Jede neutrale Prüfung der Metaphysikfrage ergibt, dass die für die Informatik adäquate Digitalmetaphysik in Whiteheads ratio-empirischer Prozessmetaphysik besteht; als Cyber-Physik stellt sie universales Event Stream Processing (ESP) dar:* Zumindest Beavers (2017) stellt im PI-Paradigma Leibniz und Kant als bedeutende Informationsphilosophen dar. Wenn beide Positionen in Whitehead kumulieren, stellt sich die Frage, warum in der "*Philosophy of Information*" weder eine eingehendere Auseinandersetzung mit Leibnizens Gesamtansatz noch überhaupt irgendeine Beschäftigung mit Whitehead erfolgt. Wenn beide faktisch die am Informationsmoment orientierte Philosophie begründen, disqualifiziert sich die PI-Tradition auch in dieser Hinsicht. Das gilt umso mehr, als Floridi zwar die Lektüre Whiteheads empfiehlt,⁵²¹⁵ sich aber in keiner Weise mit dem epochemachenden Werk Whiteheads auseinandersetzt. Gerade als Informationsphilosoph kann man dieses Werk nicht negieren; vielmehr müsste mit seiner herausragenden Stellung schon gezeigt werden, warum die PI-Positionen im Detail gänzlich andere sind als die Whiteheadschen. Wenn das jedoch systematisch unterbleibt und die eigenen Positionen weder konsistent noch für die Informatik adäquat sind, drängt sich der Gedanke auf, dass die Leibnizsche Digitalmetaphysik wie die Whiteheadsche Prozessmetaphysik durch die PI-Protagonisten entweder nie richtig studiert oder aber nicht richtig verstanden worden ist. Die Verfechter der "*Philosophy of Information*" liegen zwar richtig, wenn sie von einem "Informational Turn in Philosophy",⁵²¹⁶ einem "Informational Philosophical Turn", von "Putting Information First",⁵²¹⁷ und schließlich von einer darauf gründenden "Revolution in Philosophy" sprechen.⁵²¹⁸ Dies allerdings wie Allo (2010) und manche PI-Epigonen direkt bzw.

⁵²¹⁵ Vgl. Floridi (2015).

⁵²¹⁶ Vgl. F. Adams (2003) bzw. K. Wu (2015).

⁵²¹⁷ Vgl. Allo (2010).

⁵²¹⁸ Vgl. J.E. Brenner (2017), K. Wu/Brenner (2017), H. He (2017) sowie K. Wu/Wang (2017).

einseitig mit den Arbeiten Floridis zu assoziieren, ist nicht nur vermessen, sondern auch falsch. Wenn es eine "Revolution in Philosophy" gibt, dann geht sie auf die Leibniz-Whiteheadsche *Vielheit in der Einheit* zurück und nicht auf den inkonsistenten Eklektizismus von Floridi et al. Das wird bereits an der informatischen Variante der Quantenphysik deutlich,⁵²¹⁹ die allein im Whiteheadschen Schema zu fassen ist, nicht aber in jenem der PI-Tradition. Allo (2010) hätte das "Putting Information First" sachgerecht Leibniz und Whitehead zuschreiben müssen; denn es ist genau das, was ihren Antimaterialismus begründet, den nur wenige Philosophen richtig, nämlich im cyber-physischen Sinne verstanden haben. Die eigentlichen Begründer aller Philosophie der Information sind also Leibniz und Whitehead und keiner der PI-Protagonisten. Indessen liegen sie mit ihrer These vom "Informational Turn in Philosophy" an sich richtig, indem die ganze materialistische Philosophie weder die synthetische Realität noch ihre Einbettung Cyber-physischer Systeme (CPS) sachgerecht erklären kann. Dann aber kann sie offensichtlich die Realität als Ganzes nicht fassen, womit solche antiquierten Ansätze faktisch obsolet sind. Ansonsten müsste man sich im Bungeschen Sinne auf den Standpunkt stellen, dass es solche Systeme in der Realität nicht gibt bzw. dass sie als solche auf Materie reduzierbar seien. Allerdings geht das vor dem Hintergrund des CPST- bzw. IoX-Hyperspace nicht mehr. Denn *cyber-physische "Reality Machines"* sind nicht nur im *Internet of Things*, sondern bereits im Leibniz-Whiteheadschen *Automatenuniversum* physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt. Insofern hat Heidegger (1966, 1972) in seinem Rekurs auf die Kybernetik schon recht: diese Art von Philosophie ist tatsächlich am Ende, selbst wenn sie irrtümlicherweise noch heute die ontologische TLO-Debatte der Informatik bestimmt. Indem sich Floridi nicht mit Whitehead auseinandersetzt jedoch klare Gegenpositionen zu diesem vertritt, während im Whiteheadschen Werk die *Metaphysik der Informatik* gesehen werden muss, gilt nach dem oben erörterten RE-Ausschlussprinzip: Floridi vs. Whitehead. Stellt man diese Metaphysiken gegenüber zeigen sich die wahren Abgründe der PI-Positionen. Eine solch komparative Analyse legt offen, dass PI-Fundierungsversuche der Informatik in keiner Weise ernst genommen werden können. Denn mit der modernen Informatik, die sich um *cyber-physische "Reality Machines"* zentriert, ist das PI-Paradigma in jeder Hinsicht inkompatibel, während sich umgekehrt die richtige Fundierung durchgängig bei Whitehead findet. Hier lassen sich alle wesentlichen Momente anführen, etwa die fehlende Verbindung zur *Theorie komplexer Systeme*, konkret zur *Theorie zellulärer Automaten*, die für theoretisch wie praktisch relevante Ansätze der Informatik essentiell sind. Es

⁵²¹⁹ Vgl. etwa J.A. Wheeler (1990).

wurde bereits gezeigt, dass gängige Ansätze wie etwa das *Complex Event Processing* (CEP) sich auf alle Formen der *Automatentheorie* und darauf gründende erweiterte Ansätze stützen. Somit ist evident, dass die Metaphysik der Informatik im Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversum anzusetzen hat. Floridi et al. scheitern aber nicht nur an der Metaphysik oder an der Big Data Analytics (BDA), sondern gleichermaßen am Computing im Ganzen: Während die Whiteheadsche Metaphysik nicht weniger als die ganze Basis für das *Ontological Computing Framework* (OCF) darstellt, bietet die PI-Tradition gerade auch hier keine richtigen Anknüpfungspunkte. Unter AI-Gesichtspunkten fehlt die Integration des CPST- bzw. IoX-Hyperspace und damit die Einbettung einer hybriden Agentenarchitektur sowie einer omnipotenten Ontologiearchitektur. Selbst in banalster Hinsicht versagt die PI-Tradition, nämlich im Hinblick auf das CPS-adäquate Programmierparadigma, und dabei geht es erneut um die in Pkt. 4.4 bzw. Pkt. 6.1.1 behandelte Kontroverse um Objekte und Ereignisse: Während sich an die Whiteheadsche Metaphysik mit einem neuen ereigniszentrierten evolutorischen Programmierparadigma für *cyber-physische "Reality Machines"* anschließen lässt, propagiert Floridi die Objektorientierte Programmierung (OOP), auch wenn seine *Informationsobjekte* nicht wirklich mit dem OOP-Paradigma konsistent sind.⁵²²⁰ Das OOP-Paradigma ist jedoch in Wirklichkeit insofern veraltet, als es generell um ereignisorientierte Programmierung gehen muss, wobei sich die Objekte aus der Reproduktion spezifischer Ereignisse konstituieren. Objekte sind also als *4D-Objektlebenszyklen* zu konzipieren, und sie sind im Kontext jener *Metaphysik der Erfahrung* zu sehen, die es bei Floridi nicht gibt. Selbst PI-intern wird der fundamentale Korrekturbedarf erkannt, indem Floridi nicht an Prozessen, sondern an Objekten orientiert ist. J.E. Brenner (2010) bringt seine *Logic in Reality* (LIR) ins Spiel,⁵²²¹ um die offenen PI-Probleme Floridis zu lösen. Statt einer objektzentrischen Perspektive wird nunmehr auf eine prozessontologische PI-Perspektive gesetzt. Indessen setzt aber auch Brenner auf den falschen Ansatz, indem er auf die Prozessontologie Seibts rekurriert.⁵²²² Mit Verweis auf die in Pkt. 5.7 dargelegte Kritik dieses Ansatzes ist evident, dass die offenen und letztlich fundamentalen PI-Probleme auch nicht über diese Modifikation geheilt werden können. Auch kann sie nicht darüber hinwegtäuschen, dass es sich im Ganzen um eine elementare metaphysische Korrektur handeln würde. Der AI-Prozesscharakter ist aber auch hier erst richtig verstanden, wenn am Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversum, an zellulären Automaten und einer entsprechend konzipierten Automatentheorie angesetzt wird. Gerade auch vor diesem Hintergrund

⁵²²⁰ Vgl. hierzu auch McKinlay (2012).

⁵²²¹ Vgl. dazu J.E. Brenner (2008a).

⁵²²² Vgl. J.E. Brenner (2008a, 2010, 2012).

bewegen sich die Metaphysiken von Whitehead und Floridi in gänzlich anderen Sphären. D.h. die Whiteheadsche Metaphysik ist jener Floridis nicht nur deshalb in hohem Maße überlegen, weil sie empirisch und physikalisch verankert ist. Vielmehr wird an einer komparativen Analyse dieser ganz ungleichen Metaphysikansätze deutlich, wie vielfältig mögliche metaphysische Fehler sind und wie unerreicht die Whiteheadschen Überlegungen im AI-Ganzen sind. Die Whiteheadsche Metaphysik stellt als Cyber-Physik universales *Event Stream Processing* (ESP) dar, und sensorisch erweist sich dabei Whiteheads (1898: 7) "*sequence of events*" als entscheidend. Denn damit wird ersichtlich, dass bereits Floridis Auffassung des Datums unhaltbar ist, indem es weder als Ereignis noch als "*sequence of events*" aufgefasst wird. Floridis platonistischer Ansatz setzt schließlich eine verfehlte Auffassung des Datums voraus, indem Floridi (2008a: 236) insistiert: »[i]n its simplest form, a datum can be reduced to just a lack of uniformity«. Zwar ließe sich anhand einer solch binären Differenz selbst die Sequenzlänge von Ereignis- bzw. Datenströmen bestimmen, doch scheitert Floridis informatorische Metaphysik daran, dass sie notwendiger Weise auf diese einfachste Form von Daten fixiert bleibt. Tatsächlich benötigt die Informatik vor dem Hintergrund der Kausalität Cyber-physischer Systeme (CPS) *raum-zeitlich* veranlagte Daten, indem sich anders das Zusammenspiel von verteilter Sensorik, Agenten und Aktorik nicht bewerkstelligen lässt. Auch wenn die Metaphysiken Whiteheads und Floridis beide essentiell platonistisch veranlagt sind, könnten sie kaum unterschiedlicher sein: Floridis Ansatz ist im Zeichen der analytischen Metaphysik geprägt durch die möglichen Welten, wie sie sich im Extremum bei D.K. Lewis finden. Für Whitehead ist hingegen das aristotelische erfahrungswissenschaftliche Moment gleichermaßen entscheidend: für autonome artifizielle Systeme muss bei vernetzten Cyber-physischen Systemen (CPS) das Physische vom Nicht-Physischem strikt trennbar sein; das gilt nicht zuletzt für das IoT-Subsystem, etwa für das *Internet of Vehicles* (IoV). Eine universale Metaphysik der Information ist somit nur auf Whiteheadscher Basis möglich, denn sie eröffnet ein differenziertes Informationsmoment für die Cyber-Physik. Entsprechend ist im Automaten Sinne das universale Informationsmoment anhand der vier CYPO-Welten bzw. Subwelten zu differenzieren, indem sich die W1-Kausalität auf die physische Welt, die W2-Kausalität auf die Agentenwelt, die W3-Kausalität auf Artefakt- bzw. Cyberwelten sowie die W4-Kausalität auf soziale Welten bezieht.

Ad 5. *Die Top-level Ontologie (TLO) repräsentiert als oberste Referenzebene die fundamentale Ontologie der Informatik; mit der ontologischen Interdependenz liegt das Ziel in einer universalen Einheits-TLO, die in der Digitalmetaphysik verankert ist: Selbst einzelne philosophische TLO-Ansätze wie DOLCE sind*

für die Informatik von größerer Bewandnis als das PI-Paradigma, indem die *Top-level Ontologie* in der PI-Tradition keine Rolle spielt. Sie besitzt weder einen TLO-Theorieanwärter noch ein System von Ontologien, wie es in Abb. 3 dargestellt ist. Damit aber wären nicht unbedeutende Teile der AI-Disziplin auf PI-Basis praktisch unmöglich zu vollziehen. Indem Floridi selbst eine Metaphysik wie einen semantischen Informationsbegriff zugrunde legt, ist für ihn offensichtlich die TLO-Funktion als oberste ontologische Referenzebene der Informatik unklar. Wenngleich P.M. Simons' (2006b: 95) »metaphysics constrains semantics« generell für jedes Zusammenspiel von Metaphysik und Semantik gilt, ist es doch an sich auf die Whiteheadsche Metaphysik und keine andere bezogen: Indem die *Metaphysik der Informatik* in der Whiteheadschen Kosmologie besteht, muss sich auch alle Semantik der Informatik in *fundamentaler* Hinsicht durch diese bestimmt zeigen. Daraus folgt wiederum der zentrale Stellenwert der *Top-level Ontologie* für alle Wissensontologie; sie bildet jenes Scharnier, das die Kopplung zwischen metaphysischer Ontologie und Wissensontologie gewährleistet. Die transdisziplinäre Verankerung aller Semantik lässt sich somit allein durch die TLO-Referenz sicherstellen, womit alle Semantik in fundamentaler Hinsicht einheitlicher Natur ist. Für Floridi (1999b) ist jedoch offensichtlich nicht nur dieser fundamentale Zusammenhang unklar, sondern auch die zentrale Rolle der *Top-level Ontologie* als solche. Denn sie spielt in den Arbeiten Floridis keine Rolle. Floridi (1999b: 204) meint vielmehr, der Kernontologie (CO) sei in ontologischer Hinsicht Vorrang zu geben, indem diese das ontologische System koordinieren könne. Das ist allerdings nicht der Fall; insbesondere nicht in transdisziplinärer Hinsicht. Zudem wird eine solche Kernontologie durch Floridi als *Super-Domain Ontology* verstanden, jedoch nicht auch im Sinne der integrierenden *Enterprise Ontology* (EO) und somit auch nicht in jenem der in Pkt. 2.4 erörterten TLO-EO-Verkopplung.

Ad 6. *Indem ein TLO-Mapping unmöglich ist, fordert die Einheits-TLO die rigorose Evaluierung und Selektion aller TLO-Theorieanwärter anhand des totalen Diskursuniversums der metaphysischen Cyber-Physik bzw. der IoX-Anforderungsspezifikation:* Das PI-Paradigma favorisiert zwar insgesamt eine transdisziplinäre Perspektive, doch besteht bereits in seinen Grenzen Streit um die Möglichkeit einer universalen Theorie der Information. Brenner (2011a) zeigt sich hier konsequenter als andere, wenn er im PI-Paradigma auf eine vereinheitlichte Informationstheorie insistiert, die einen transdisziplinär anwendbaren Informationsbegriff voraussetzt.⁵²²³ Allerdings verlangt dies notwendigerweise einen einheitlichen Kern, die Leibnizsche *Vielheit in der Einheit*, die allein eine metaphysische Einheit sein kann. Auch hier scheitert das PI-Paradigma wieder-

⁵²²³ Vgl. dazu auch J.E. Brenner (2008b).

rum daran, dass es kein systematisches wie universales *Requirements Engineering* bzgl. der Zwecke und Erfordernisse der Informatik bzw. ihres AI-Kerns vollzieht. Genauso stellt sich die Frage, wie das PI-Paradigma *Scientific Ontologies* transdisziplinär verschaltbar machen kann, wenn bei ihr der Ratio-Empirismus fehlt. Insgesamt ist eine transdisziplinäre Wissensrepräsentation auf ihrer Basis unmöglich, indem sie das Inkommensurabilitätsproblem nicht zu lösen versteht. Damit ist das PI-Paradigma insgesamt alles andere als AInah, wenn es sich selbst nicht auf die Ebene der TLO-Entwürfe und ihres jeweiligen philosophischen Unterbaus begibt. Entsprechend ist sie nicht in der Lage, die notwendige rigorose Evaluierung und Selektion der TLO-Theorieanwärter vorzunehmen.

Ad 7. *IoX/DAI fordert im MAS/CAS-Sinne die Verschaltung lokaler/regionaler Intelligenz (Fog Computing) mit globaler Intelligenz (Cloud Computing); der TLO-Ansatz ist technisch auf Real-Time Streaming Analytics, in toto (EA) auf ED-SOA auszulegen: Der Vorwurf der fehlenden Auseinandersetzung mit der Top-level Ontologie gilt umso mehr als die TLO-Referenz nicht nur für KR-Zwecke, sondern genauso für die Realisation globaler Intelligenz im Sinne der im zweiten Teil erörterten Smart Enterprise Architecture (SEA) entscheidend ist. Indessen überrascht dies insofern nicht, als auch der PI-Tradition das Moment globaler Intelligenz fremd ist. Das liegt wiederum in verschiedenen Ursachen begründet. Bspw. kann das PI-Paradigma mit seiner fehlenden Orientierung am CPST- bzw. IoX-Hyperspace nicht auf eine integrierte Ontologiearchitektur zurückgreifen, die erst das vollendete Wechselspiel von AI-Intelligenz möglich macht. Das hängt wiederum nicht zuletzt damit zusammen, dass die PI-Tradition nicht systematisch an einer modernen AI-Philosophie orientiert ist und damit kaum in avantgardistischen Architekturen denken kann. Ferner ist für das PI-Paradigma primär ein induktiver Informationsbegriff kennzeichnend, indem auch hier der lokale Agent im Vordergrund steht. Mit Hintikka (1970) ist Information indessen nicht zwingend induktiv; vielmehr ist genauso die Definition *deduktiver Information* möglich und für das Moment globaler Intelligenz maßgebend.⁵²²⁴ Das zeigt wiederum, dass ein sachgerechter Informationsbegriff allein vor dem Hintergrund des Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversums entwickelt werden kann, bei dem neben der lokalen und regionalen Intelligenz auch die globale Intelligenz Berücksichtigung findet. Die PI-Tradition kann die Informatik auch vor allem deshalb nicht fundieren, weil sie keinen Zugang zum IoX-Hyperspace besitzt. Wenn ihr Anspruch etwa darin besteht, zum *Internet of Agents* (IoA) konkrete Aussagen machen zu*

⁵²²⁴ Floridi (2011: 129 ff.) thematisiert zwar Hintikkas (1970) "*scandal of deduction*", jedoch nicht das deduktive Moment globaler Intelligenz.

können, dann müssen genauso mit der Einbettung von RTBDA-Ansätzen die Grundlagen zum *Internet of Data* (IoD) oder mit ED-SOA zum *Internet of Services* (IoS) gegeben sein. Allerdings besteht darin genauso wenig die Kernkompetenz der PI-Tradition wie etwa in Bezug auf die konkreten Belange des *Internet of Things* (IoT). Das zeigt im Ganzen, dass das PI-Paradigma viel zu weit weg ist von den tatsächlichen Belangen der IT-Praxis, womit sich dann die Frage nach der eigentlichen Relevanz des PI-Paradigmas stellt.

Ad 8. *Im MAS/CAS-Sinne muss es bei IoX/RTBDA um ein 4D Complex Event Processing gehen, das mit CYPO OCEP eine TLO-EO-Verkopplung vollzieht, über die sich mit der Verschaltung aller Ontologien faktische MAS-Superintelligenz realisieren lässt:* Zwar findet das in Pkt. 1 behandelte *Frame Problem* auch bei Floridi Erörterung, jedoch wird vor seinem Hintergrund nicht sachgerecht zwischen erster und zweiter AI-Generation unterschieden. Schon gar nicht werden die Belange der dritten AI-Generation vor seinem Hintergrund herausgearbeitet, wenngleich die Synthese der ersten beiden AI-Generationen auf der Hand liegt. Diese Synthese ist auch für die Realisation von globaler Intelligenz und schließlich von Superintelligenz unabdingbar, während sich die PI-Tradition gerade nicht mit Architekturfragen zur Realisation von Superintelligenz auseinandersetzt. Damit fehlt ihr aber letztlich die Basis, um ihre eigentlichen Themen der Computer- bzw. Informationsethik fundiert reflektieren zu können. Anders gewendet kann man diese im AI-Kontext nur sachgerecht diskutieren, wenn es eine adäquate AI-Theorie gibt, aus der sich etwa die Frage der Realisierbarkeit von Superintelligenz faktisch ableiten lässt. Darüber verfügt die PI-Tradition aber nicht. Wie will die PI-Tradition zu Superintelligenz Stellung nehmen, wenn ihre eigene AI-Theorie nicht an zentralen Momenten wie globaler Intelligenz, dem Erfordernis einer hybriden Agententheorie oder der dafür notwendigen Realisierung einer Vier-Welten-Ontologie ansetzt? Abstrahiert man davon, bleiben die Ausführungen nicht nur notwendig abstrakt; sie sind vielfach auch falsch, etwa wenn es um die Veranlagung des Zeitraums zur Realisation von Superintelligenz geht. Auch dieser Vorwurf lässt sich genau belegen, nämlich daran, dass Floridi (2011) *maschinelle Agenten* nicht als *semantische Maschinen* anerkennen will, was aus Sicht des Leibniz-Whitehead-schen Automatenuniversums abstrus ist: »humans are the only known semantic engines and conscious inforgs (informational organisms) in the universe who can develop a growing knowledge of reality.«⁵²²⁵ Floridi steht also im grundsätzlich falschen AI-Paradigma; auf Basis der in Pkt. 6.3 herausgearbeiteten *Superintelligenz* der dritten AI-Generation sind diese Sichtweisen nicht nur in elementarer Weise verfehlt, sondern verstellen den sachgerechten Blick auf die

⁵²²⁵ Vgl. Floridi (2011: xiii).

AI-Forschung. – Die PI-Tradition versteht sich selbst als Weiterentwicklung der "*Philosophy of Artificial Intelligence*" (Sloman et al.);⁵²²⁶ doch damit hat sie den eigentlichen AI-Kern keinesfalls verstanden. Richtig konzipiert ist dieser erst, wenn er im Leibniz-Whiteheadschen Sinne des cyber-physischen bzw. informatorischen Automatenuniversums zellulärer Automaten veranlagt ist, wie es auch dem Ursprung der Informatik samt des AI-Gedankens entspricht: Nicht ohne Grund wurde Shannon/McCarthys (1956) *Automata Studies* als Ergebnis der *Dartmouth-Konferenz* so bezeichnet. Indem Floridi auf den falschen AI-Traditionen aufsetzt, ist sein AI-Verständnis letztlich als völlig antiquiert zu werten. Das wird nicht nur insgesamt deutlich, sondern konkret auch daran, dass Floridi meint, dass AI-basierte Computer notwendigerweise auf *Mikrowelten* fixiert seien.⁵²²⁷ Das widerspricht allerdings dem im zweiten Teil herausgearbeiteten Moment *globaler Intelligenz* der dritten AI-Generation. Das Problem an diesem mangelhaften AI-Verständnis besteht jedoch nicht nur für die Zwecke der sachgerechten Begründung der Informatik; vielmehr sind auch die aus solchen Irrtümern gezogenen Schlussfolgerungen genauso falsch. Denn auf Grundlage seines verfehlten Mikrowelten-Arguments meint Floridi tatsächlich, dass AI-Systeme nicht menschliche Intelligenz erreichen könnten, die nicht an diese Mikrowelten-Perspektive gebunden sei. Mit der in Pkt. 6.3 umrissenen Superintelligenz der dritten AI-Generation sieht die Wirklichkeit jedoch genau umgekehrt aus: menschliche Intelligenz wird nicht annähernd Maschinenintelligenz erreichen können, indem allein letztere ihre Ontologien genauso ad hoc verschalten kann wie die Intelligenz maschineller Agenten. Lernprozesse können auf RTBDA-Basis vollzogen werden. Im MAS-Kontext wird eine verteilte Interaktion von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz in Echtzeit möglich, was für menschliche Agenten ebenso unerreichbar ist. Indessen wird das mangelnde AI-Verständnis nicht nur bei Floridi deutlich, sondern genauso bei anderen PI-Vertretern. So setzt Schiaffonati (2003) unmittelbar am naheliegenden Agency-Gedanken an; darüber wird auf den an sich richtigen MAS-Aspekt geschlossen. Indessen lassen sich aber zentrale AI-Aspekte, insbesondere solche, die die Grundstrukturen der Realität betreffen, nicht auf diese Weise erschließen. Bspw. kann die Tendenz, MAS als *Evolutionary Multi-Agent Systems* (EMAS) aufzufassen,⁵²²⁸ bei AI-Computern als *cyber-physische "Reality Machines"* sachgerecht nur auf Basis einer evolutorischen Metaphysik konzipiert werden. Allerdings findet sich diese nicht in der PI-Tradition, während sie im AI-Ganzen schließlich auf die Whiteheadsche Prozess-

⁵²²⁶ Vgl. Floridi (2002).

⁵²²⁷ Vgl. Floridi (1999b: 146 f.), insbes. p. 147: »A computer is always immanently trapped within a micro-world«; vgl. dazu ergänzend Beavers (2002).

⁵²²⁸ Vgl. etwa Byrski/Kisiel-Dorohinicki (2017).

metaphysik hinausläuft. – Ferner ist darauf zu schließen, dass der PI-Tradition praktische Erfahrung fehlt, wenn nach Floridis Informationsverständnis gilt: »Semantic information is well-formed, meaningful, and truthful data«. ⁵²²⁹ Mit ein wenig praktischer Erfahrung ist jedoch klar, dass alle drei Aspekte für die theoretische wie praktische Informatik in dieser universalen Fassung unhaltbar sind, was konkret am CEP/SCEP-Zusammenhang verdeutlicht werden kann: (i) semantische Information muss keineswegs wohlgeformt sein. Vielmehr ist in RTBDA-Szenarien regelmäßig das Gegenteil der Fall, indem semantische Information aus komplexen Ereignisströmen in aufwändiger Weise herauszulesen ist (CEP/SCEP). CEP zielt gerade darauf, bedeutungsvolle Ereignisse in komplexen Ereignisströmen zu identifizieren. ⁵²³⁰ Das Grundrauschen der Ereignisströme ist jedoch alles andere als wohlgeformt. (ii) Semantische Information weist zwar ex definitione immer einen Bedeutungsgehalt auf; dieser muss jedoch nicht notwendigerweise vollends aussagekräftig, bedeutungsvoll oder vielsagend, also "meaningful" sein. In komplexen Ereignisströmen kann sich dieser vielmehr genauso bruchstückhaft darstellen. Das gilt etwa im Bereich der Cyber Security für den Aspekt der Anomaly Detection. ⁵²³¹ (iii) Semantische Information meint den Bedeutungsgehalt einer Information; dieser muss keineswegs notwendigerweise wahr sein, wie Dretske (2008a, 2008b) oder Floridi (2011) meinen. Der Grund dafür besteht in der Notwendigkeit von Informationen als Input sowie in der Informationsverarbeitung für epistemologische Prozesse: wären alle Informationen wahr, dann müssten auch alle gespeicherten Informationen wahr sein, was nicht zutreffend ist. In AI-Hinsicht wäre dann das Moment der *Belief Revision* unnötig, wenn alle auf Informationen beruhenden Überzeugungen von Agenten wahr wären. Schon insofern ist gezeigt, dass in der Informatik die Voraussetzung wahrer Information unhaltbar ist. Vielmehr ist die Wahrheitsprüfung von Informationen als zentraler Aspekt der Informationsverarbeitung zu erachten. Das lässt sich im CEP-Kontext etwa anhand der Analysen komplexer Ereignisse bei Angriefferkennungssystemen (IDS) zur Erkennung von Cyberangriffen aufzeigen. ⁵²³² Dass bei Floridi alle Information wahr ist, hat mit seinen möglichen Welten und seiner platonistischen Informationsauffassung zu tun; auch insofern besteht eine mindestens entfernte Verwandtschaft zu D.K. Lewis, ⁵²³³ dessen Multiversum-Hypothesen Bunge als realitätsfern und pseudowissenschaftlich erachtet. ⁵²³⁴ Zwar bemüht Floridi lediglich mögliche Welten und keine Multiversums-Hypothese, doch erweist

⁵²²⁹ Vgl. Floridi (2011: xiii, 31).

⁵²³⁰ Vgl. etwa Kota et al. (2017).

⁵²³¹ Vgl. etwa Baumgärtner et al. (2012), Hoßbach/Seeger (2013) sowie Rieke et al. (2015).

⁵²³² Vgl. etwa Jun/Chi (2014) sowie R. Mohan et al. (2015).

⁵²³³ Vgl. hierzu auch die Diskussion der Stalnaker-Lewis Semantics bei Floridi (2011: 254).

⁵²³⁴ Vgl. Bunge (2012: 153).

sich sein *Informational Realism* als ein dezidiert platonistischer. Es geht ihm um »the semantic information carried by a sentence with the set of all possible worlds«. ⁵²³⁵ Demgegenüber verfahren alternative Theorien semantischer Information in dieser Sache anders; für Carnap/Bar-Hillel (1952: 8) gilt genau umgekehrt: »semantic information is here not meant as implying truth«. In der Theorie semantischer Information bei Carnap/Bar-Hillel (1952) gibt es nicht nur logisch falsche Sätze, und somit *falsche* Information. ⁵²³⁶ Vielmehr vermögen aussagekräftige falsche Sätze aus ihrer Sicht gar in hohem Maße informativ zu sein. Wenn gezeigt wurde, dass Floridi (1999b) ein linguistisches Ontologieverständnis vertritt, besteht in dieser Sache somit eine grundsätzliche Inkonsistenz zwischen seinem *Informational Realism* als Mögliche-Welten-Metaphysik auf Basis wahrer semantischer Information und seiner Wissensrepräsentation auf Basis semantischer Netze, indem logisch falsche Sätze im Sinne von Carnap/Bar-Hillel (1952) prinzipiell möglich sind. Indem die Informatik bzw. die AI-Disziplin mit H.A. Simon (1995a) eine empirische Disziplin markiert, ist evident, dass logische Widerspruchsfreiheit nicht ausreichend ist, sondern die Informatik in Bezug auf die in Pkt. 3.5 dargelegte *Vier-Welten-Ontologie* zur Wahrheitsprüfung in ihren Informationsverarbeitungsprozessen multipler Truthmaker (vgl. Pkt. 6.2.8) bedarf. Damit zusammenhängend bleibt mit dem nächsten Punkt strikt zwischen ontologischen und epistemologischen Aspekten der Information zu differenzieren.

Ad 9. *Der Cyber-Physical-Social-Thinking IoX-Hyperspace ist kausal irreduzibel; es geht um vier distinkte Welt- bzw. Ontologietypen, die mit CYPO FOX zu einem kohärent Ganzen vereint werden: von M2M-Superintelligence bis zum H2H-Common Sense:* Die Kontroverse zwischen Floridi (2004d) und J.H. Fetzer (2004a, 2004b) bezüglich der Wahrheit von Informationen zeigt, dass im Mittelpunkt der Informatik der *Cyber-Physical-Social-Thinking IoX-Hyperspace* stehen muss: Analog zu den vier distinkten Welt- bzw. Ontologietypen von CYPO FOX sind im Ontological Computing auch Daten, Information und Wissen einschließlich der Frage ihrer Wahrheit auf diese vier Welttypen und ihre Subtypen zu beziehen. Zunächst ist mit Rescher (2003a: 349) erneut zu betonen: »The limits of our knowledge may be the limits of *our* world, but they are not the limits of *the* world. We do and must recognize the limitations of our cognition«. A.D. Ursul (1966) hebt entsprechend hervor, dass eine präzise Unterscheidung von ontologischen und epistemologischen Aspekten der Information essentiell ist. Die Aspekte der Wahrheit wie dem zentralen AI-Gedanken der *Belief Revision* sind vor diesem Hintergrund nur dann sachgerecht zu ver-

⁵²³⁵ Vgl. Floridi (2010a: 55).

⁵²³⁶ Vgl. dazu etwa Harrah (1986).

stehen, wenn am *Cyber-Physical-Social-Thinking IoX-Hyperspace* festgemacht wird: Die Wahrheit der W1A-Welt ist anders disponiert als etwa jene der W3P- oder W3F-Welt; entsprechendes wurde auch bereits für die Truthmaker festgestellt. Demgegenüber ist die *Belief Revision* als solche immer epistemischer Natur, indem es um konkrete Überzeugungen bzw. Annahmen eines einzelnen Agenten geht; sie ist auf die in Pkt. 3.5 erörterte CYPO *Vier-Welten-Ontologie* zu beziehen, wie es in den Requirements R29 bis R31 unter Pkt. 7.2 erläutert wurde. Wenn insgesamt deutlich wird, dass Floridis (2011: 31) Rede von semantischer Information als "truthful data" in keiner Weise universal voraussetzbar ist, dann ist der PI-Kern, nämlich das Informationsverständnis als solches unhaltbar. Im Grunde hat sich Floridis PI-Tradition schon damit erledigt.

Ad 10. *Die Probleme der Informatik liegen tiefer, da sie nicht nur ontologisch, sondern genauso epistemologisch bzw. methodologisch und somit metaphysisch bedingt sind; ihr fehlt das unverstandene Leibnizprogramm, das mit IMKO OCF erneuert wird:* Mit McCarthys (1995) "*Philosophers! Help!*" oder der Maxime "*AI is philosophy*" bei Glymour/Ford/Hayes (2000) ist vor dem Hintergrund dieser zehn Kernthesen evident, dass die Informatik sowie ihr AI-Kern einer philosophischen Fundierung bedürfen. Das explizite PI-Ansinnen einer "Revolution in Philosophy" ist aus dem Grunde aufschlussreich, indem es nochmals verdeutlicht, dass weite Teile der Philosophie für eine Fundierung der Informatik schon deshalb nicht in Frage kommen können, weil sie an einem für die Informatik inadäquaten Grundstoff ansetzen. Mit ihrem "Putting Information First" schickt sich die PI-Tradition an, diese Defekte zu beheben und artikuliert dabei explizit den Anspruch, die Informatik wie die AI-Disziplin als solche metaphysisch fundieren zu können. Wie gezeigt, scheitert sie allerdings in diesem Ansinnen kläglich. So gesehen wäre die Philosophie im Sinne Heideggers (1966, 1972) tatsächlich am Ende, weil sie auf drängende Fragen keine sachgerechten Antworten liefern kann. Indessen hat die Philosophie einen Skandal mehr, und der besteht darin, dass die philosophische Synthese, die in der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik angelegt ist, genauso wie das Leibnizprogramm als solches nicht nur unter Informatikern, sondern selbst unter Philosophen gemeinhin unverstanden ist. Die gescheiterte PI-Revolution bedeutet zugleich eine Chance, nämlich jene, dass es zu einer echten Revolution der Philosophie mitsamt einer transdisziplinären Durchgängigkeit zu allen Wissenschaften, allen Technologien und aller Praxis kommen kann. Denn in der Informatik besteht jene Schlüsseldisziplin, die in alle genannten Bereiche wirkt. Ihre Probleme lassen sich allein über ihr eigentliches Ursprungsfundament beheben, nämlich über das durch Whitehead aktualisierte Leibnizprogramm. Die Informatik wie die AI-Disziplin ist historisch nicht zuletzt durch

J. von Neumanns bzw. Ulams Automatentheorie sowie durch die "*neural events*" bei McCulloch/Pitts (1943) inspiriert, und diese besitzen ihren ideellen Ursprung in Whiteheads (1929a) metaphysischer Theorie zellulärer Automaten. Damit liegt der metaphysische Ursprung der Informatik auch faktisch bei Whitehead. Für die praktischen Zwecke der Informatik ist die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik im Sinne des IMKO *OCF* zu erneuern bzw. zu konkretisieren und mittels der integrierten Vier-Welten-Ontologiearchitektur *CYPO FOX* im Popperschen Sinne zu ergänzen. Damit schließt sich der Kreis der platonistischen Trias von Leibniz, Whitehead und Popper insofern, als der Informationsbegriff zwar etymologisch lateinischer Herkunft ist, aber inhaltlich seinen Ursprung in der griechischen Antike und speziell bei Platon besitzt.⁵²³⁷ In der philosophischen Synthese der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik ist er jedoch genauso im aristotelischen Sinne der Metaphysik der Erfahrung gedacht. Kröners (1929) kritisierte *Anarchie der philosophischen Systeme* ist somit genauso beigelegt wie Heideggers (1966, 1972) philosophische Kapitulationserklärung abgewendet; sie ist gänzlich abwegig. Allerdings bedarf es einer völlig anderen Form von Philosophie, nämlich einer, die tatsächlich metaphysisch, d.h. *universal* veranlagt ist – was die Heideggersche nie war. Im Leibniz-Whiteheadschen universalen Schema gilt entsprechend das genaue Gegenteil zur irrigen Position Heideggers: die Philosophie gewinnt eine völlig neue Bewandnis; sie ist als solche für das Realitätsverständnis insgesamt genauso unentbehrlich wie für die erforderliche transdisziplinäre Wissensrepräsentation.

Vor diesem Hintergrund lassen sich die Konsequenzen resp. Implikationen der hier vollzogenen PI-Fundamentalkritik genauer umreißen:

1. Mit J.M. Dunn (2008: 604) gilt: »the real challenge for computing and the information sciences is to be transdisciplinary while keeping ties with the traditional disciplines«. Dabei muss allerdings zweifelhaft bleiben, ob auf Basis der Perspektive Floridis (1999a) ein transdisziplinärer Zugang gelingt; denn diese ist von Anfang an elementar durch die Informationsethik geprägt, die dabei »as an object-oriented and ontocentric theory« aufgefasst wird.⁵²³⁸ Tatsächlich ist sie damit höchst spezifisch fokussiert und kann weder systematisch an der Grundlegung der Informatik noch universal an der transdisziplinären Einheit der Erkenntnis bzw. Einheit des Wissens ansetzen. Ein universal gültiges Informationsverständnis muss jedoch nicht nur auf alle Agentenklassen passen, sondern insbesondere auch den Grundprinzipien der Informationsverarbeitung entsprechen. In einer qualifizierten Informatik, die entscheidungsautonome AI-Computer als *cyber-physische "Reality Machines"* zu konzipieren hat, ist das Informationsverständnis entsprechend im Leibniz-Whiteheadschen Sinne zu vollziehen. Es muss also universal um *Information Processing* im IoX-Hyperspace gehen, nicht um das, was ggf. in der Perspektive der Computer- bzw. Informationsethik als konzeptionell naheliegend erscheint. Eine objektorientierte Ontologie ist allein schon mit der zunehmend vorausgesetzten *Realität der Zeit* ab-

⁵²³⁷ Vgl. etwa Adriaans/Van Benthem (2008).

⁵²³⁸ Vgl. Floridi (1999a: 43), ohne Hvh. des Orig.

zulehnen;⁵²³⁹ darüber hinaus passt sie nicht zu einer Informatik auf Basis *cyber-physischer "Reality Machines"*. Aus diesen und den oben aufgezeigten Gründen ist das Informationsverständnis Floridis für die theoretische wie praktische Informatik unhaltbar und damit zurückzuweisen.

2. Wie oben exemplarisch aufgezeigt, gelangt Floridi auf Basis einer mangelhaften AI-Auffassung, die insbesondere nicht der im ersten Teil umrissenen dritten AI-Generation entspricht, zu grundlegend falschen Schlussfolgerungen. Hier ist insbesondere auf Floridis verfehlte Auffassung zu verweisen, wonach AI-Automaten keine semantischen Maschinen bilden und Computer – im Gegensatz zu menschlichen Agenten – notwendigerweise auf Mikrowelten fixiert seien. Wenn Floridi auf Basis dieser verfehlten AI-Auffassung grundlegend falsche AI-Schlussfolgerungen zieht, disqualifiziert sich die *"Philosophy of Information"* in ihrem Ansinnen als Fundierung der Informatik bzw. der AI-Disziplin einmal mehr. Die Crux an dieser Sache ist darin gegeben, dass sich die *"Philosophy of Information"* mit ihrer verfehlten AI-Grundlegung nicht einmal für Floridis Kerngebiet der Computer- und Informationsethik verteidigen lässt. Denn solche ethischen Aspekte beziehen sich immer auf die faktischen Zusammenhänge, also z.B. darauf, ob und in welchem Zeitraum maschinelle Agenten Superintelligenz realisieren können, wie damit technisch umgegangen werden kann usw. Mit anderen Worten muss eine Computer- bzw. Informationsethik natürlich auf einer sachgerechten *Computing Theory* gründen, und diese ist mit den aufgezeigten Defekten mit der PI-Tradition kaum einzulösen. Wenn aus einer falschen Theoriebasis falsche Schlussfolgerungen resultieren, ist die *"Philosophy of Information"* selbst für die Sonderbereiche der Computer- bzw. Informationsethik abzulehnen. Weiter lässt sich folgern, dass diese vielmehr im Sinne der dritten AI-Generation ebenfalls auf das Fundament der Whiteheadschen Kosmologie zu stellen sind, d.h. auf jene Basis, die auch die *Metaphysik der Informatik* stellt.
3. Indem die Digitalmetaphysik für die Informatik begründend ist, muss auch alles Weitere auf ihr aufbauen; neben Disziplinen wie den Informationswissenschaften also selbst Floridis Kernfeld der Computerethik. Nicht nur indem Emmet (1958) Whiteheads Metaphysik speziell auf soziale Systeme bezieht ist es unproblematisch, auch ethische Sachverhalte vor ihrem Hintergrund zu diskutieren. Whitehead (1933) vollzieht das auch selbst, wenn er sich unter anderem unter ethischen Aspekten etwa mit dem Begriff der Zivilisation auseinandersetzt. Entgegen Floridi gehört natürlich nicht zuletzt auch die Ethik in einen Prozesszusammenhang, indem ihr Verständnis zweifelsohne an zivilisatorische Übergänge und damit zusammenhängende Aspekte gebunden ist, wie es Whitehead (1933) näher erörtert. Alle Disziplinen sind zusammen mit der Informatik als Schlüsseldisziplin auf das Whiteheadsche prozessmetaphysische Paradigma zu stellen. Das gilt selbst für den Education-Bereich, indem Whitehead (1929c) nicht nur das adaptive Moment von Lernprozessen thematisiert, sondern im Sinne des Erfahrungslernens wie der Kreativität etwa auch wesentliche Züge von Paperts *Computational Education* vorwegnimmt.
4. Die *"Philosophy of Information"* erhebt explizit den Anspruch, nicht nur die Informationswissenschaften begründen zu können, sondern ebenso die AI-Disziplin, und schließlich auch die Informatik insgesamt. Dieser Anspruch ist in keiner Weise einlösbar; denn er kann weder auf einem eklektizistischen Fundierungsverständnis noch auf einer mangelhaften AI-Theorie basieren. Wenn diese Fundierung einem konstituierenden Anspruch gleichkommt, disqualifiziert sich die *"Philosophy of Information"* selbst, indem sie ihre eigenen Ansprüche nicht einlösen kann. Dabei ist bemerkenswert, dass auch die PI-Tradition dieses Anspruchs ungeachtet auf ein uni-

⁵²³⁹ Vgl. etwa Unger/Smolin (2015).

- versales *Requirements Engineering* bzgl. den Zwecken und Anforderungen der Informatik bzw. ihres AI-Kerns verzichtet. Damit bleiben ihre Probleme unverstanden.
5. Die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik ist mit dem Eklektizismus der PI-Tradition in elementarer Weise unvereinbar. Die diversen Angriffe der Verfechter der "*Philosophy of Information*" gegen eine *Computational Ontology*,⁵²⁴⁰ *Digital Ontology*,⁵²⁴¹ und schließlich gegen die *Digital Metaphysics* sind deshalb grundsätzlich verfehlt,⁵²⁴² weil ihnen Castels (2002) Frage, "*what computing is*", unzugänglich bleibt. Ihre Argumente stützen sich etwa darauf, dass es sich notwendigerweise um ein deterministisches Unterfangen handele. Wie dargelegt, ist alles Computing als *Ontological Computing* zu verstehen, das aus dem Grunde zwangsläufig der Leibniz-Whiteheadschen Metaphysik folgen muss, indem eine universal gültige Auffassung von *Computing* allein als *cyber-physisches "Reality Computing"* entwickelt werden kann. D.h., es muss sich auf die cyber-physische Realität, auf das Whiteheadsche Automatenuniversum beziehen und kann somit nicht deterministischer Natur sein. Vielmehr ist die Whiteheadsche Kosmologie, die am Komplexitäts- wie am kreativen Evolutions- und Emergenzgedanken festmacht, im Gegenteil indeterministischer Natur. Es geht um ein evolutionäres Computing- bzw. Agentenparadigma, das nicht nur in der Whiteheadschen ultimativen Kategorie verankert ist, sondern im Sinne der Komplexitätsmetaphysik auf die Basis der *Theorie komplexer Systeme* zu stellen ist. In Frage steht also ein Computing in offenen Diskursuniversen, das prinzipiell nicht deterministischer, sondern *indeterministischer* Natur ist. Genauso unrichtig ist es, die Argumente auf eine digitale vs. analoge Realität beziehen zu wollen. Denn die Realität ist bei Whitehead systemisch, und zwar nicht nur im strukturalistischen Sinne komplexer Systeme, sondern genauso im kausalen Sinne der Cyber-Physik: Whiteheads Systeme sind Cyber-physische Systeme (CPS) und stellen damit gerade das dar, worum es in der Information auf Basis *cyber-physischen "Reality Computing"* zentral geht – während bei Floridi et al. weder die *Theorie komplexer Systeme* noch Cyber-physische Systeme (CPS) den Gegenstand bilden. Damit ist nicht nur ihre "*Philosophy of Information*" falsch begründet, sondern auch etwa die *Internet Ethics* bei Floridi/Sanders (2005), indem diese allein auf die Informationsaspekte des IoP-Subsystems, jedoch gerade nicht auf das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI), das als "*Universe of Discourse of Anything*" strukturidentisch ist mit dem, was Leibnizens Automatenuniversum bzw. dessen techno-wissenschaftliche Aktualisierung durch Whitehead (1929a) ausmacht. Es müsste schließlich um *Cyber-Physical Social Systems* (CPSS) gehen, die nach einer anderen Realitätsauffassung bzw. Metaphysik verlangen als sie Floridi etwa mit seiner *Ontological Theory of Informational Privacy* zugrundelegt.⁵²⁴³ Denn die eigentlichen Probleme stellen sich im CPSS-Kontext bzw. erst im ganzen IoX-Hyperspace, der etwa das IoV-Integrationsszenario mit allen GPS- und Sensordaten mit einbezieht. Allerdings lässt sich der CPST- bzw. IoX-Hyperspace nicht auf Basis von Floridis Metaphysik, sondern allein auf Grundlage des Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversums begründen.
6. Somit ist der Informationsbegriff mit Mainzer (2004b) nicht nur im Zeichen der *Theorie komplexer Systeme* zu entwickeln, sondern mit Mainzer (2016a) insgesamt im Leibniz-Whiteheadschen Sinne zu verstehen, wie es in der *Ontologie komplexer IoX-Systeme* konsequent veranlagt ist. Während alle vier CYPO-Welten im Zeichen

⁵²⁴⁰ Vgl. Fresco/Staines (2014).

⁵²⁴¹ Vgl. Floridi (2011: Ch. 14).

⁵²⁴² Floridi (2011: 317, Fn. 3) setzt *Digital Ontology*, *Digital Metaphysics* und *Digital Philosophy* gleich und sieht die *Digital Physics* als ein wissenschaftliches Gegenstück, was zutreffend ist.

⁵²⁴³ Vgl. dazu Tavani (2008).

von *World Automata* dem Gedanken komplexer Systeme folgen, ist der Informationsbegriff analog zum Ontologiebegriff auf die vier Welten zu beziehen. Information und Ontologie ist universal im Leibniz-Whiteheadschen Paradigma zu definieren und im CYPO-Sinne konkret zu explizieren: Ontische Information ist von epistemischer genauso zu differenzieren wie der Wahrheitsgedanke für alle vier Welten samt Subwelten zu unterscheiden ist.

7. Insgesamt trifft die eigentlich an die *analytische Metaphysik* gerichtete Kritik von Van Fraassen (2002) auf die PI-Tradition ebenso zu, wonach auch deren Metaphysikstil einen Rückfall in das siebzehnte Jahrhundert bedeutet. Denn die Metaphysik der "*Philosophy of Information*" entspricht gerade nicht den Kantischen Metaphysikanforderungen, indem es nicht wie bei Whitehead (1929a) um einen *Ratio-Empirismus* geht. Hier sei an die mindestens entfernte Verwandtschaft zu D.K. Lewis' Mögliche-Welten-Metaphysik erinnert: Tatsächlich öffnen Floridis (2011: 361) "possibly sub-observable" Informationsobjekte schlechter Metaphysik Tür und Tor.

Als Fazit lässt sich feststellen, dass die PI-Tradition zwar mit ihrer Orientierung am Grundstoff der Information an sich in die richtige Richtung weist; mit ihrer mangelhaften Fundierung von Informatik und AI-Disziplin im Ganzen aber unhaltbar und abzulehnen ist. Eine »PI [...] as the forthcoming *philosophia prima*«, die sich Floridi (2002: 141) erhofft, wird es in *dieser* Variante kaum geben können. Während sie selbst einen transdisziplinären Anspruch artikuliert, kann es mit Mainzer (1993) nur *einen* einheitlichen transdisziplinären Kern geben, der im Leibniz-Whiteheadschen Sinne Philosophie, alle Erfahrungs- und Strukturwissenschaften, alle Technologien und alle Praxis unter den Gesichtspunkten des *Information Processing* von Automaten im Automatenuniversum eint. Dieser Kern ist allein in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik gegeben, der die "*Philosophy of Information*" konsequenterweise komplett zu weichen hat. Das ist deshalb unausweichlich, weil etwa die durch solche Informationsphilosophen insbesondere betriebene Computerethik nur auf einem informatorischen bzw. AI-Fundament aufbauen kann, das auch tatsächlich jenem der theoretischen und praktischen Informatik bzw. ihrem AI-Kern entspricht. Der in Pkt. 1 dargelegten dritten AI-Generation kommt dabei eine Schlüsselrolle zu, indem in dieser die eigentliche AI-Synthese besteht. Folglich müssen auch nachgeordnete Disziplinen wie Computerethik oder Informationswissenschaften, auf die die Protagonisten der "*Philosophy of Information*" gerade abzielen, auf dieser dritten AI-Generation und damit auf der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik aufbauen. Oberflächlich betrachtet könnte man meinen, dass die Leibniz-Whiteheadsche Digitalmetaphysik und die "*Philosophy of Information*" eng verwandt sind, da sie mit dem Grundstoff der *Information* in eine ähnliche Richtung zielen. Selbst wenn es partiell Parallelen gibt unterscheiden sich die Ansätze tatsächlich jedoch in nahezu allen Details in fundamentaler Weise. Insofern ist ihre faktische Übereinstimmung genauer besehen eher gering; im Ganzen ist in der Leibniz-Whiteheadschen Cyber-Physik das genaue Gegenprogramm zur "*Philosophy of Information*" zu sehen. Was sie eint ist der in ihnen angelegte radikale informatorische Wandel aller Disziplinen; doch nur die Leibniz-Whiteheadsche Synthese bringt die cyber-physische Revolution, die im IoX-Hyperspace bzw. CPST-Automatenuniversum veranlagt ist.

8.4 Zur ontologischen Revolution der Informatik der dritten AI-Generation

»Mit jedem Schritt, den wir vorwärts machen, mit jedem Problem, das wir lösen, entdecken wir nicht nur neue und ungelöste Probleme, sondern wir entdecken auch, daß dort, wo wir auf festem und sicherem Boden zu stehen glaubten, in Wahrheit alles unsicher und im Schwanken begriffen ist.«

— Karl R. Popper (1962: 233)

Die Ontologie, und damit die *Artifizielle Intelligenz* (AI) wie die Informatik im Ganzen, ist auf Basis der ersten wie der zweiten AI-Generation falsch ausgelegt, indem sie auf den verkehrten Metaphysiken aufbauen. Wie im Einzelnen dargelegt, handelt es sich bei beiden AI-Generationen nicht um die *Metaphysik der Informatik*. Was diese ausmacht, ist bislang nie systematisch untersucht worden; während Metaphysik als solche immer, zumeist implizit vorausgesetzt wird. Bei einem sachgerechten Einbezug resultiert daraus eine gänzlich anders verstandene AI-Disziplin bzw. Informatik, wie sie als dritte AI-Generation umrissen worden ist. Sie gründet auf der eigentlichen *Metaphysik der Informatik* und eröffnet somit erst jene Perspektive, die für die AI-Disziplin wie für alle anderen Teildisziplinen im Zeichen des Vollzugs Kuhnscher Normalwissenschaft einheitlich vorauszusetzen ist. Für diese sind folgende fünfzehn metaphysische bzw. metaphysisch implizierte Aspekte der dritten AI-Generation konstituierend:

1. Die einzig verteidigbare Metaphysik besteht in der Leibniz-Whiteheadschen Digitalmetaphysik als *Klasse-4-Metaphysik*; sie ist die *Metaphysik der Informatik*, wie auch aller anderen Disziplinen. Die Klasse-4-Metaphysik ist im ratio-empirischen Sinne zugleich techno-wissenschaftliche Metaphysik. Sie ist zu den Struktur- und Erfahrungswissenschaften hin offen, insbesondere zur Physik als erster Erfahrungswissenschaft und zur Informatik als erster Strukturwissenschaft. Digitalmetaphysik ist Cyber-Metaphysik und mit dieser Offenheit zu allen Wissenschaften und Technologien Cyber-Physik.
2. Es gilt der metaphysische Realismus, es gibt faktisch Wahrheiten; diese sind für Agenten als kognitive Subjekt-Superjekte im Sinne des kritischen Realismus an sich erschließbar. Es gilt der epistemologische Realismus.
3. Es gibt einen globalen Standpunkt und damit *globale Intelligenz*, in der für die AI-Forschung im Sinne der Einheit der Erkenntnis gerade das elementare Moment besteht. Im Zusammenspiel von Induktion und Deduktion ist diese Intelligenz auch nur im Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz verstehbar.
4. Mit der Induktion und Deduktion, mit Perzeption und Kognition, mit lokaler und globaler Intelligenz sind Agenten immer im Zeichen einer hybriden Agentenarchitektur aufzufassen. Mit ihr sind Ontologien und neuronale Netze zu kombinieren, genauso wie implizites und explizites Wissen in einem Wechselspiel stehen. Die Agentenwelt ist vor dem Hintergrund des Zusammenspiels von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz beständig einer *Belief Revision* zu unterziehen. Kausal in die Realität eingebundene Agenten setzen dabei ein einheitliches physikalisches Wissen voraus. Ihre cyber-physische Interaktion kann vor allem nur auf genau die gleiche Physik gründen, etwa wenn verschiedene Verhaltensszenarien vorausberechnet werden. Mit anderen Worten kann cyber-physische Interaktion nicht allein auf direkter Umgebungsinteraktion (Kamerasensoren, Radar, Lidar usw.) basieren, sondern erfordert vielmehr genauso die parallele Vorausberechnung im Sinne möglicher Welten (z.B. vorausschauendes Fahren von SAE Level 5 Fahrzeugen).

5. Superintelligenz ist durch die AI-Forschung konkret zu berücksichtigen; AGI-Intelligenz hat der ASI-Intelligenz vor allem deshalb zu weichen, weil erste auf menschliche Subjekte bezogen ist. Darin besteht jedoch nicht das sachgerechte Verständnis von AI-Agenten. Entscheidend für Superintelligenz ist die Einheit des Wissens wie die Einheit der Erkenntnis und somit das Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz.
6. Es gibt methodologische Verfahren, die den epistemologischen Realismus am besten unterstützen, namentlich den *Kritischen Rationalismus*. Es gibt objektives Wissen, das sich primär auf das metaphysische Kategoriensystem stützt. Auf seiner Basis ist ein universal gültiger "*general world view*" entwickelbar, der auf der empiristischen Universalsynthese des Ratio-Empirismus gründet. Der "*general world view*" basiert auf dem universalen Realitätsverständnis der Cyber-Metaphysik, was eine transdisziplinäre Semantik als Kern-Semantik impliziert.
7. Mit dem Ratio-Empirismus ist Metaphysik immer revisionäre Metaphysik, nicht deskriptive Metaphysik. Letztere ist im Kantischen Sinne unzulässig, weil mit der fehlenden empirischen Basis keine Kritik von *metaphysischen ad hoc Annahmen* (Harmonie-These) oder rein rationalistischen Standpunkten möglich ist.
8. Es gilt das Prinzip kausaler Wirksamkeit und damit die *Information* als Grundstoff; Daten, Information und Wissen stehen im Leibniz-Whiteheadschen Sinne in einem unmittelbaren Verhältnis und sind genau in diesem Sinne auszulegen. Daten und Information gelten immer universal für alle Automaten; sie stehen in direktem Bezug zur Perzeption. Wissen ist demgegenüber immer vom Transdisziplinaritätsmoment im Zeichen der Einheit des Wissens zu erschließen. Es steht damit in Verbindung zur Leibniz-Whiteheadschen Kognition, die auf dem perzeptiven Moment aufbaut. Alle Aspekte der Informatik sind in diesem Sinne auf dem einheitlichen Fundament der Digitalmetaphysik zu begründen.
9. Metaphysik ist immer *universale* Metaphysik und dabei zugleich *Kosmologie*; sie ist damit keine spezielle Metaphysik wie bei Heidegger (zweite AI-Generation), indem es universal um alle Automatenklassen, nicht bloß um die Belange einer speziellen geht. Sie ist auch keine reine *Metaphysik a priori*; sie ist also weder rein rational bzw. exakt noch deskriptiv. Vielmehr gilt der metaphysische Logizismus allein in Verbindung mit einer Metaphysik der Erfahrung. Dabei eröffnen diese beiden Momente die Verbindung zu den Struktur- und Erfahrungswissenschaften.
10. Epistemologie ist Teil der Metaphysik; das erkennende Subjekt ist Bestandteil der Natur; der Cartesische Dualismus bzw. die Subjekt-Objekt-Dichotomie (erste AI-Generation) ist aufzuheben.
11. Ontologie ist immer *metaphysica generalis*; nie linguistische Ontologie. Denn letztere basiert auf *metaphysischen ad hoc Annahmen*, die jedoch weder in Bezug auf die Kantische Metaphysikkritik noch in Bezug auf Cyber-physische Systeme (CPS) verteidigbar sind.
12. In der konkreten Wissensrepräsentation wird die metaphysische Ontologie im Zeichen des IMKO OCF zur *Knowledge Ontology*. Indem dieses Wissen auf die universale Realität bzw. den "*general world view*" zu beziehen ist, folgt daraus das Erfordernis einer transdisziplinären Kernsemantik. Diese ist unmittelbar von der techno-wissenschaftlichen Metaphysik abzuleiten (»metaphysics constrains semantics«). Auf anderem Wege ist ein sachgerechtes, mit den Wissenschaften und Technologien tatsächlich kompatibles Realitätsverständnis unmöglich. Die Durchsetzung der Alltagsrealität mit Cyber-physischen Systemen (CPS) zeigt dabei das Erfordernis einer neuen Normalsprache auf, die auf einer kombinierten Situations- und Ereignissemantik aufsetzt. Das IMKO OCF ist im zirkulären Sinne auszulegen, indem mit Gracia (1999: 156) gilt: »Metaphysicians want to know [...] how knowledge fits

within the most general categories and is related to them«. Insofern ist Metaphysik nicht nur immer als *revisionäre* Klasse-4-Metaphysik zu verstehen, sondern konkret in ihrem Wechselspiel mit der Ontologie, Epistemologie, Methodologie und formaler Logik. Ihr *revisionäres* Moment ist also in diesem zirkulären Sinne zu sehen. Damit bilden die Metaphysik als Cyber-Metaphysik und die Informatik keine Fremdkörper, sondern die Informatik erweist sich vielmehr als integrierter Teil der Digitalmetaphysik.

13. Es gibt nicht nur das eine Wissen; vielmehr muss die AI-Disziplin ein ausdifferenziertes System von Wissenstypen zugrunde legen, die mit spezifischen Welttypen korrespondieren. Dabei geht es mit CYPO um die Differenzierung von vier Welten, die wiederum ihrerseits Subtypen besitzen. Auf dieser Basis ist eine integrierte Ontologiearchitektur zu begründen, die gleichermaßen mit subjektivem wie mit objektivem Wissen umgehen kann wie mit intersubjektivem Wissen bzw. mit *Common Sense*.
14. Die Ableitung der Semantik aus der Metaphysik vollzieht sich über die *Meta-Ontologie*; in der Informatik wird diese in Form der *Top-level Ontologie* als oberster Referenzebene in konkreter, formalisierbarer Form umgesetzt. Die Top-level Ontologie ist dabei sowohl direkter Bezugspunkt aller konzeptuellen Modelle wie aller semantischen Modelle; allein auf dieser Basis lässt sich eine einheitliche *Smart Enterprise Architecture* (SEA) für die Informatik begründen. Insofern gilt, dass alles *Computing* immer *Ontological Computing* ist.
15. Ausgehend vom metaphysischen Realismus und faktischen Wahrheiten, die mit der Gestaltbarkeit Cyber-physischer Systeme (CPS) notwendig zu akzeptieren sind, ist eine Einheits-TLO bzw. ein "Gold Standard" zur *Top-level Ontologie* möglich. Dieser muss insgesamt mit dem CPST-Hyperspace konform gehen und im Zeichen der konkreten Umsetzung dem IoX-Hyperspace technisch genügen. Alle Diskursuniversen müssen der erweiterten Realitätsauffassung des CPST- bzw. IoX-Hyperspace entsprechen. Damit sind sehr genaue Anforderungen impliziert, indem sich jene des "*cyber-physical space*" genauso unmissverständlich fassen lassen wie jene im Kantischen Agentensinne des "*thinking space*". Genauso maßgeblich sind jedoch die "*social spaces*", indem mit diesen unmittelbar der MAS/CAS-Gedanke sowie das SOC-Moment impliziert ist. Daraus folgt wiederum, dass kein Agent isoliert zu denken ist, wie es für die erste und zweite AI-Generation kennzeichnend ist. Vielmehr stehen Agenten mit der Maßgeblichkeit des CPST- bzw. IoX-Hyperspace in der dritten AI-Generation immer im Ganzen von ED-SOA-Infrastrukturen. Daraus folgt wiederum das ultimative Wechselspiel von lokaler, regionaler und globaler Intelligenz, wobei mit letzterer das im zweiten Teil behandelte *Real-Time Enterprise* (RTE) und damit der integrative EO-Aspekt (CYPO CEOX) einen festen Platz in allen IoX-Systemen des IoX-Hyperspace besitzen. Insgesamt ist damit auch ein "Gold Standard" im Vollzug eines systematischen wie universalen *Requirements Engineering* (RE) realisierbar. Mit der vollständigen Entsprechung der Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwärter ist dieser "Gold Standard" realisiert. Entsprechend läuft dieser auf die Ontologiearchitektur von CYPO FOX hinaus.

Was Popper (1962: 233) oder ähnlich Hutten (1967: 103) allgemein im Hinblick auf den Wissensfortschritt feststellen, gilt für die Ontologie der Informatik im Speziellen und damit für die Wissensrepräsentation insgesamt: ihre bisherigen Grundlagen haben sich als widersprüchlich, instabil und schließlich als inadäquat zur Fundierung *Cyber-physischer Systeme* (CPS) erwiesen. Dieser Zustand geht damit einher, dass die zentrale Funktion der *Top-level Ontologie* (TLO) als oberste ontologische Referenzebene der Disziplin nicht allgemein

verstanden ist. Doch selbst wenn ihre elementare Bewandnis erkannt wird, ist damit das Ontologieproblem keineswegs gelöst; vielmehr fängt dann der eigentliche ontologische Diskurs erst an: Folglich ist zunächst das TLO-Inkommensurabilitätsproblem zu lösen, womit sich die in Pkt. 7.2 behandelte Frage nach der Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Anwärter direkt anschließt. Mehr und mehr werden die Defizite und Defekte bisheriger TLO-Theorieanwärter offenbar, die nicht zuletzt in Bezug auf BFO und DOLCE als führende Ansätze festgestellt werden.⁵²⁴⁴ Ihre Defizite und Defekte lassen sich jedoch entgegen Seyed (2009a, 2009b) oder Temal et al. (2010) nicht dadurch heilen, indem man versucht, BFO und DOLCE zu fusionieren, um ihre jeweiligen individuellen Stärken zu vereinen.⁵²⁴⁵ Ungeachtet ihrer partiellen Verwandtschaft ist dies allein schon deshalb nicht möglich, weil sie auf völlig disparaten Weltansichten aufbauen. Beide paradigmatischen TLO-Ansätze sind genauer besehen inkommensurabel bzw. inkompatibel.⁵²⁴⁶

Dass weder aus der Fusion zweier defekter TLO-Ansätze eine für die Informatik tatsächlich adäquate *Top-level Ontologie* erwachsen kann, noch überhaupt ein einziger der zahlreichen TLO-Theorieanwärter Aussicht darauf hätte, eine *Top-level Ontologie-Synthese* zu bilden, erkennen auch S. Malik/Mishra et al. (2015). Ihre Position deckt sich mit den Ergebnissen dieser Abhandlung insofern, als außer Frage steht, dass keiner der bisherigen TLO-Entwürfe insgesamt betrachtet tatsächlich zukunftsweisend ist und somit ein TLO-Neuentwurf unerlässlich ist.⁵²⁴⁷ Dazu entwickeln S. Malik/Mishra et al. (2015) ihre "*Super Ontology*", die explizit an den Strukturen des Universums bzw. der Realität als solcher ansetzt. Darin besteht zwar ein wichtiger Aspekt; allerdings gelingt es auch S. Malik/Mishra et al. (2015) nicht, die TLO- bzw. Ontologieproblematik der Informatik tatsächlich aufzuhellen. Denn dazu ist der philosophische, mithin metaphysische Diskurs unerlässlich, indem sich allein darüber die fundamentalen Strukturen der Realität klären lassen. Daneben bleiben die für die TLO-Debatte zentralen Aspekte der CPS- wie der MAS/CAS-Adäquanz einerseits, wie der SEA/SEI-Adäquanz andererseits bei S. Malik/Mishra et al. (2015) gänzlich außen vor. Gleiches gilt etwa für den zentralen Aspekt der *TLO-EO-Verkopplung* oder die *Verhältnisbestimmung von Ereignis und Objekt*. Damit trägt auch diese "*Super Ontology*" dazu bei, die bereits konfuse Ontologiedebatte noch weiter zu verkomplizieren. Es führt also kein Weg an einer umfassenden Reflexion vorbei, wie sie hier vollzogen wurde. Dennoch kann auch die "*Super Ontology*" von S. Malik/Mishra et al. (2015) als wichtiger Beitrag der Ontologieforschung der Informatik gewertet werden als sie anzeigt,

⁵²⁴⁴ Vgl. etwa Wood/Galton (2008).

⁵²⁴⁵ Vgl. Seyed (2009a: 1): »Future work should investigate how entities of a conceptualist-centric upper ontology can fit into the theory and hierarchy of a realist one, in a manner that does not contradict its philosophical underpinnings«; damit meint Seyed letztlich nicht weniger als die Integration von DOLCE in die BFO, was indessen unmöglich ist.

⁵²⁴⁶ BFO und DOLCE sind etwa bzgl. dem *Aktualismus vs. Possibilismus*, der *Universalienfrage*, der Geltung des *Substanzbegriffs* sowie mit dem Gegensatz *aristotelisch-ontischer* (BFO) vs. *Kantisch-epistemischer Kategorien* inkompatibel. Diese Positionen sind selbstverständlich nicht revidierbar, da sie den Kern beider TLO-Ansätze betreffen. Insofern liegen Seyed (2009a) oder Temal et al. (2010) falsch.

⁵²⁴⁷ Es ist festzustellen, dass Sowa (2000) hier in seiner Whitehead-Rezeption in die richtige Richtung geht.

dass die Lösung des Ontologieproblems der Informatik tatsächlich auf eine universale Ontologie als ontologischer Totalansatz hinauslaufen muss. Allerdings ist auch diese Erkenntnis nicht neu, indem bereits Skuce (1997: 114) konstatiert: »[I]t is time to attempt an experiment: to try to create a top-level ontology in a new way [...]«. Dabei wird das IMKO OCF entscheidend.

Welchen Kurs sollte die weitere Ontologieforschung der Informatik vor diesem Hintergrund nehmen? Wenn allgemein zugestimmt wird, dass die Ontologie der Informatik als Weltmodell ihre grundsätzlichen Dispositionen betrifft, wäre bei Castels (2002) *Ontological Computing* zu beginnen. Man wird dann an nicht weniger als an Castels (2002) Frage, "what computing is", ansetzen müssen. Die Antwort darauf ist, dass nicht zuletzt im IoX-Hyperspace ein *universales Computing* auf Basis *cyber-physischer "Reality Machines"* erfolgt, die mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind. Damit ist evident, dass die Ontologieforschung zuvorderst an dem Kriterium der CPSS-Adäquanz festzumachen hat. Die Informatik sollte dann feststellen, dass in vernetzten Systemen auch alle Ontologie vernetzt ist und es daher auch nur ein fundamentales Ontologiemodell geben kann. Demgegenüber stehen in sich widersprüchliche Ontologiekonzeptionen bzw. Ontologiebegriffe jeder semantischen Interoperabilität diametral entgegen. Ferner geht es bei CPSS-adäquaten Weltmodellen der Informatik nicht mehr lediglich um ein "internes" Weltmodell bzw. "interne" Metaphysik, sondern vielmehr in erster Linie um ein "externes" Weltmodell bzw. um "externe", mithin revisionäre Metaphysik. Insofern sollte der Disziplin klar sein, dass mit Ontologie eine *integrierte metaphysische Wissensontologie* gemeint ist. Genauso steht außer Frage, dass eine CPSS-adäquate Ontologiekonzeption auch dem Kriterium der MAS/CAS-Adäquanz zu genügen hat. Der wesentlichste Schritt für die Informatik besteht somit in der Prüfung, ob ihr bisheriges auf das *Subjekt-Prädikat-Objekt* Schema fixiertes Ontologieverständnis tatsächlich ihren eigentlich universalen ontologischen Anforderungen gerecht werden kann.

Das Ergebnis einer solchen Prüfung ist ein klares Nein. Insofern ist evident, welchen Kurs die Ontologieforschung der Informatik nehmen muss: Indem sämtliche bestehenden Ontologieentwürfe an den Herausforderungen komplexer IoX-Systeme in elementarer Weise scheitern, wird ein radikal neues ontologisches Fundament notwendig. Erforderlich ist ein TLO-Neuentwurf, der die klassische Subjekt-Objekt-Dichotomie in Form einer zweiten Kopernikanischen Wende überwindet. Realistische Ontologie bedeutet das Primat der Ontologie im klassischen Sinne, wobei diese jedoch bei Cyber-physischen Systemen (CPS) gewiss nicht unabhängig von den Wissenschaften und Technologien zu konzipieren ist. Denn sie setzt die techno-wissenschaftliche Korrektheit notwendig voraus, wenn Computer als "Reality Machines" mit ihrer Sensorik und Aktorik physisch wie kausal "in der Welt" und selbst "Teil" der realen Welt sind. Dann müssen sie selbstverständlich auch in der Ontologie selbst Berücksichtigung finden, was jedoch keine klassische materialistische Ontologie schaffen kann. Bunes Ontologie scheitert bereits an dieser Sache, während es

eine einzige Ontologiekonzeption gibt, die mit dieser Herausforderung umzugehen versteht: das ist die Whiteheadsche (1929a) Kosmologie, die auch dem agentenbasierten Momentum gerecht wird. Zweifelsohne reichen ontische Ontologien für die Informatik nicht aus. Vielmehr muss es auch agentenbezogene Ontologien sowie eine damit zusammenhängende *Ontologie der Artefakte* geben, die selbst fiktionale Objekte zu berücksichtigen vermag. Es wird damit deutlich, dass die Zukunft der Ontologiefrage allein auf eine Mehrweltenontologie hinauslaufen kann, wie sie mit CYPO FOX umrissen wurde. Auf ihrer Basis repräsentiert die *integrierte metaphysische Wissensontologie* die Verbindung der Whitehead-Popperschen Position in der Ontologiefrage, die zu universalisieren und um eine spezielle Multiagentenwelt als Welt 4 zu ergänzen ist.

Moderne AI-Systeme wie das IBM *Watson DeepQA Project* bauen nach wie vor auf einem linguistischen Ontologieverständnis sowie auf *Common Sense* auf.⁵²⁴⁸ Ungeachtet der Tatsache, dass sie als QA-Systeme bereits bemerkenswerte Ergebnisse erreichen indem sie in Spielen des *Question Answering* (QA) menschliche Gegner schlagen, ist das nicht der richtige Weg zur CPSS/SEA-adäquaten Superintelligenz. Entsprechend kann darin auch nicht die sachgerechte Beantwortung der Ontologiefrage für das *Internet of Everything* (IoX) bestehen. Zwar können semantische Ansätze wie das IBM *Watson DeepQA Project* schneller und oftmals auch exakter Fragen beantworten als Menschen; dennoch werden sie solange nicht über den *Common Sense* an sich hinauskommen, wie dies in ihrer Ontologiearchitektur bzw. Wissensbasis angelegt ist. Für die Ontologieforschung ist wesentlich, dass *Scientific Ontologies* sich nicht vom *Common Sense* herleiten lassen, sondern – jenseits der sozialen Realität – allein umgekehrt. Denn objektives Wissen im Zeichen Poppers kann in vereinfachter Form zwar nicht alles Alltagswissen abdecken, doch im Zeichen empirischer Wissenschaft einen überaus großen Teil. Dazu wird empirische Wissenschaft auch praktiziert. Eine solche Transformation komplizierteren objektiven Wissens in einfachen *Common Sense* wird auch bei Hayes (1985a, 1985b) ausgehend von Whitehead im 4D-Sinne vollzogen. Allerdings ist dies für den *Common Sense* an sich keineswegs selbstverständlich, worin erst das Problem auftretender Widersprüchlichkeiten gründet. Bei Gruber (1993, 1995) ist der *Common Sense* im Zeichen von Mikas (2007) "*ontologies are us*" gänzlich anders gedacht. Wenn alles im Gruberschen Sinne beliebig repräsentierbar ist, dann kann das kaum die Zukunft der Ontologie bedeuten. AI-Superintelligenz verlangt etwas gänzlich anderes. In der Tat eröffnet ein solcher naiver *Common Sense-Gedanke* fehlerbehafteten wie inkommensurablen Ontologien Tür und Tor. Bei cyber-physischen "*Reality Machines*" und ihrer realen kausalen Relevanz markieren solche Ontologieverständnisse grundsätzliche Fehlentwicklungen. Das ist besonders hervorzuheben, wenn darin das überwiegend akzeptierte Ontologieverständnis der Informatik besteht.

⁵²⁴⁸ Vgl. hierzu Ferrucci et al. (2010), Welty/Barker et al. (2012), Welty/Murdock et al. (2012) sowie Gliozzo et al. (2013).

Auch ist es ein Trugschluss zu meinen, dass *Common Sense Ontologien* insofern einen gangbaren Weg darstellen, indem sich eventuell auftretende Widersprüchlichkeiten unter Bezugnahme auf *Scientific Ontologies* im Nachhinein korrigieren lassen. Denn die Probleme beginnen mit Pkt. 6.2.5 bereits beim 3D-Objektzentrismus der Normalsprache als implizitem Votum für den Endurantismus. Die Konsequenz daraus ist, dass es allein richtig sein kann, genau umgekehrt vorzugehen, nämlich mit einer ratio-empirischen *Klasse-4-Metaphysik*, wie sie in Pkt. 4.1 bzw. Pkt. 4.2 umrissen wurde. Denn *Scientific Ontologies* sind primär, wovon sich ein vereinfachter *Common Sense* über den Wissenschafts-Technologie-Konnex gegebenenfalls ableiten lässt. In dieser vereinfachenden Ableitung gehen sie dann mit der Technopraxis konform. Auf diese, und letztlich nur auf diese Weise lässt sich dann eine ontologische Konsistenz zwischen Wissenschaft, Technologie und Praxis realisieren. Dabei ist es genau diese ontologische Konsistenz, die es in vernetzten bzw. verteilten Systemen genauso wie etwa im Zuge kombinierter Informations- und Wissenssysteme zwingend zu gewährleisten gilt. Je mehr der Autonomiegrad komplexer AI-Systeme voranschreitet, desto wichtiger wird diese ontologische Konsistenz. Dabei bildet die *Top-level Ontologie* als oberste ontologische Referenzebene naturgemäß den Dreh- und Angelpunkt. Ontologische Inkonsistenz führt bekanntermaßen zu einer grundsätzlichen Fehleranfälligkeit, was für autonome AI-Systeme kaum wegweisend sein kann. Insofern entbehren alle vermeintlich anderen Gründe diese ontologische Position nicht zu befürworten letztlich jeder Grundlage. Zudem ist es diese Position, die der eigentlich transdisziplinären Natur der Informatik erst gerecht wird. Denn im IMKO OCF besteht letztlich nichts anderes als die Realisierung des ganzen Leibnizprogramms, wobei auch für Leibniz die *Metaphysica* im Zeichen perzeptiver Automaten das primäre Moment bildet. Insofern liegt es zur Realisierung einer neuen Ontologie der Informatik nahe, folgende fünf Schritte zur nachhaltigen Umsetzung des IMKO OCF zu unternehmen:

1. Alle ontologische Arbeit ist an den Fundamenten zu beginnen und diese Fundamente werden durch die *Top-level Ontologie* gestellt. Die Grundlage stellt hier ein universales *Requirements Engineering*, wie es in Pkt. 7.1 dargelegt und in Pkt. 7.2 in Form einer Anforderungsspezifikation IoX-konformer TLO-Theorieanwärter konkretisiert wurde. In dieser Sache bestehen zwei grundsätzliche Forschungsbedarfe: (i) die genaue Feststellung aller Defizite und Defekte aller TLO-Theorieanwärter im Zuge der Projektion des in Pkt. 7.2 erarbeiteten TLO-Evaluierungsschemas auf diese Ansätze. Auf dieser Basis sollte ihre Evaluierung und Selektion vollzogen werden. Darauf aufbauend sollte (ii) eine CPSS-adäquate TLO-Synthese vollzogen und ein universaler Gold-Standard zur *Top-level Ontologie* begründet werden, der sich mit Pkt. 7.2 an der Konformität zur *Cyber-Physical Ontology* (CYPO) orientieren muss.
2. Gemäß der in Abb. 3 aufgezeigten Ontologiesystematik sollte der zweite große Schritt die zweite Ontologieebene fokussieren, nämlich die Ebene der Kernon-

tologie (CO). Dabei steht die *Enterprise Ontology* (EO) als integrativer Ontologiansatz zur Realisierung der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) im Mittelpunkt. Auch hier sind zunächst alle bestehenden EO-Ansätze auf Basis eines dedizierten *EO-Requirements Engineering* einer Kritik zu unterziehen. Analog zur TLO-Problematik ist in diesem Fall ebenso das Erfordernis eines *EO-Neuentwurfs* festzustellen, der im Zeichen von *CYPO CEOX* nicht zuletzt nach Maßgabe der *TLO-EO-Verkopplung* auszugestalten ist.

3. Der dritte Schritt führt zu den Domänenontologien (DO). Hier sollte der metaphysische Ratio-Empirismus auf die Ebene der Wissensontologie verlegt werden, indem alle relevanten wissenschaftlichen Erkenntnisse unter TLO-Referenz in DO-Form repräsentiert werden. Dabei ist nicht nur zwischen physischer (W1) und sozialer Welt (W4) zu differenzieren, sondern auch zwischen subjektiven (W2) und – im Konsenssinne – intersubjektiven bzw. objektivierten (W3) Ontologien, wobei letztere insgesamt die *Ontologie der Artefakte* bilden. Für AI-basierte Systeme ist der Hinweis entscheidend, ob es sich bei spezifischen DO-Sachverhalten um solche von W1-, W2-, W3- oder von W4-Provenienz handelt. Insbesondere auf dieser DO-Ebene ist die umrissene Multiweltenontologie wesentlich, da es neben empirisch zugänglichen Domänen auch solche gibt, die möglichen oder fiktiven Status besitzen. Entsprechend spielen die in Pkt. 3.5 behandelten Subtypen von *CYPO FOX* eine maßgebliche Rolle.
4. Parallel dazu kommt auf dieser dritten Ontologieebene den Methoden- (MO), Aufgaben- (AO) oder Funktionsontologien (FO) für die Realisierung der *Smart Enterprise Architecture* (SEA) eine genauso elementare Rolle zu. Nicht zuletzt die Funktionsontologien müssen dabei für eine MAS-adäquate Ontologiearchitektur wesentlich erscheinen. In vielen Fällen, etwa bei SAW- bzw. STA-Ontologien sind diese technologischen Ontologien unmittelbar mit den Domänenontologien verknüpft, während die Referenz auf die TLO- und EO-Ebene ohnehin selbstverständlich ist. Indem alle genannten Forschungsbedarfe eine konsequente TLO/EO-Referenz erfordern, sollten mit Blick auf die operative Umsetzung im IoX-basierten ED-SOA-Kontext die Bemühungen um eine tatsächliche Realisierung der *TLO-EO-Verkopplung* im Vordergrund stehen.
5. Darüber hinaus sollte es hilfreich erscheinen, ein neues Curriculum zur *Ontologie der Informatik* zu erarbeiten, das nicht nur über die bisherigen Grundlagen zu Semantischer Technologie, sondern genauso über die an sich richtigen Positionen bei Neuhaus/Florescu et al. (2011) noch grundsätzlich hinausgeht. Ein erweitertes Curriculum sollte vielmehr an der Digitalmetaphysik, dem Erfordernis techno-wissenschaftlicher Korrektheit aller Metaphysik sowie an der Natur des Wissens ansetzen. Es hat nicht nur auf den im CPSS-Kontext bemühten *IoX-Hyperspace* abzustellen, sondern auch speziellere Aspekte zu erörtern, etwa wa-

rum die Agentenwelt etwas anderes ist als die physische Welt und warum beide Welttypen ontologisch erforderlich sind. Oder warum jedes *Ubiquitous Computing* 4D-basierte *Real-Time Locating Systems* (RTLS) erfordert, deren 4D-Datenmodelle genauso im Spannungsfeld von Aktualismus und Possibilismus wie in jenem von Endurantismus und Perdurantismus stehen. Oder warum es mit Gershenfeld (2000a) gelten muss, die Lebenszyklusorientierung insgesamt für IoX-Systeme vorauszusetzen. Auch wenn die AI-Disziplin solchen fundamentalen Sachverhalten nur in Expertenkreisen Interesse entgegenbringt, ändert dies nichts an der Tatsache, dass sie universal von Belang sind. Das gilt mit der zehnten Kernthese umso mehr, wenn die Probleme der Informatik tiefer liegen, indem sie letztlich durchweg metaphysisch bedingt sind, wenn unklar ist, "*what computing is*". Nicht nur Universalinformatiker sollten ausreichend metaphysisch geschult werden, wenn in Pkt. 1 anhand des *Frame Problem* gezeigt werden konnte, dass das, was unter *Computing* verstanden wird, dezidiert metaphysisch disponiert ist. Anders gewendet folgt aus der falschen Metaphysik eine inadäquate Auffassung von *Computing*, und es ist seit den Anfängen der disziplinären Informatik bis heute nicht gelungen, das richtige System zu finden. Entweder wurden falsche Metaphysiken bemüht oder aber mit Janlert (1987) nicht minder problematische *metaphysische ad hoc Annahmen*, die dito in die Irre führen. Insofern ist evident, dass der wichtigste Schritt zur Realisierung des IMKO *Ontological Computing Framework* (OCF) in der systematischen Verankerung des durch Whitehead aktualisierten Leibnizprogramms besteht. Das bezieht sich dabei insbesondere auf die Leibniz-Whiteheadsche *Metaphysica* als *Metaphysik der Informatik*. Tatsächlich kann alles Universale in allen transdisziplinären Disziplinen erst hierauf durchgängig gründen, was mit Pkt. 4.2 das Erfordernis eines neuen ereigniszentrierten evolutionären "*Coding Paradigm*" einschließt: Cyber-physische Systeme (CPS) erfordern *Smart Coding* als "*Whiteheadian AI*", um sie im Sinne von CYPO/IMKO auf die Ebene der Superintelligenz der dritten AI-Generation bringen zu können. Metaphysik als Disziplin, deren Gegenstand in der Klärung der fundamentalen Strukturen aller Welten besteht, ist somit zur Lösung der Frage, "*what computing is*", unabdingbar. Indem das *Internet of Everything* (IoX) als *Real World Internet* (RWI) strukturidentisch mit dem Leibniz-Whiteheadschen Automatenuniversum als "*Universe of Discourse of Anything*" ist, wird mit Blick auf die Strukturen des CPST- resp. IoX-Hyperspace erst mit der auf Whiteheads (1920, 1929a) *Metaphysik der Informatik* aufsetzenden *Theorie komplexer Systeme* im Sinne Mainzers (2007a) richtig interpretierbar was genau gemeint ist, wenn mit Milner (2006: 5) gilt: »computer science [...] has become a structural theory of interaction«, oder mit Berners-Lee (1999: 12): »[T]he world can be seen [...]« – »The structure is everything«.

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

2D	Two-dimensional
3D	Three-dimensional
3DP	3D Printing
4D	Four-dimensional
4DP	4D Printing
6LoWPAN	IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks (IETF Standard)
ABox	Assertion Box (Description Logic)
AAAI	Association for the Advancement of Artificial Intelligence (American Association for Artificial Intelligence)
AaaS	Analytics as a Service
ABC	Activity Based Costing
ABD (DEMO)	Actor Bank Diagram
ABDES0	Agent-Based Discrete Event Simulation Ontology
ABMS	Agent-based Modeling and Simulation
ABO	Adaptive Business Object
ACA	Asynchronous Cellular Automata
ACC	Adaptive Cruise Control
ACE	Agent-based Computational Economics
ACE (SE)	Agent Computational Environment
ACM (PPR)	Asset Configuration Management
ACM	Association for Computing Machinery
ADACOR	ADaptive holonic COntrol aRchitecture for distributed manufacturing systems
ADBS	Active Database System
ADL	Action Description Language
AEC	Architecture, Engineering, and Construction
AESOP	ArchitecturE for Service-Oriented Process - Monitoring and Control
AFSM	Augmented Finite State Machines
AGI	Artificial General Intelligence
AI	Artificial Intelligence
AIAI	Artificial Intelligence Applications Institute
AID	Agent Identifier / Agent ID
AIF	ATHENA Interoperability Framework
AIML	Artificial Intelligence Markup Language
AIS	Accounting Information System
AIS (Agents)	Adaptive Intelligent Systems
AL	Artificial Life
ALGOL	Algorithmic Language
A.L.I.C.E.	Artificial Linguistic Internet Computer Entity
ALM	Application Lifecycle Management
ALM (PPR)	Asset Lifecycle Management
AM (DEMO)	Action Model
AM	Additive Manufacturing
AmI	Ambient Intelligence
amePLM	advanced Platform for manufacturing engineering and Product Lifecycle Management
AMS	Agent Management System
ANI	Artificial Narrow Intelligence
ANN	Artificial Neural Networks
ANSI	American National Standards Institute
AO	Application Ontology
AOP	Agent-Oriented Programming
AORSL	Agent-Object-Relationship Simulation Language
AOSE	Agent-Oriented Software Engineering
AP	Application Protocol (STEP)
API	Application Programming Interface
APL	Agent-oriented Programming Language
APQC	American Productivity and Quality Council
APT	Axiomatic Process Theory
AR	Augmented Reality

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

AREA	Automated REA
ARIS	Architecture of Integrated Information Systems
ARS (DEMO)	Action Rule Specifications
AS	Artificial Societies
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ASI	Artificial Superintelligence
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ATD (DEMO)	Actor Transaction Diagram
ATHENA IP	Advanced Technologies for interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications Integrated Project
ATO	Assemble to Order
AUML	Agent UML
Auto-ID	Automatic Identification
AVILUS	Applied Virtual Technologies in Product and Production Facility Life Cycles
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
BaaS	Blockchain as a Service
BAM	Business Activity Monitoring
BAS	Building Automation System
BCT (DEMO)	Bank Contents Table
BDA	Big Data Analytics
BDaaS	Big Data as a Service
BDI	Belief, Desire, Intention [Agent Theory]
BEMN	Business Event Modeling Notation
BFO	Basic Formal Ontology
BI	Business Intelligence
Bit	Binary Digit
Bitkom	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMM	Business Motivation Model (OMG Standard)
BMO	Business Model Ontology
BMWi	Federal Ministry for Economic Affairs and Energy / Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BOL	Beginning of Life
BOM	Bill of Materials
BORO	Business Objects Reference Ontology
BOS	Bill of Sustainability
BPaaS	Business Process as a Service
BPAL	Business Process Abstract Language
BPE	Business Process Engine
BPEL	Business Process Execution Language (OASIS Standard)
BPEL4WS	Business Process Execution Language for Web Services
BPI	Business Process Improvement
BPI	Business Process Intelligence [Digital Analytics]
BPM	Business Process Management
BPMM (OMG)	Business Process Maturity Model (OMG Standard)
BPMN	Business Process Model and Notation (OMG Standard)
BPMN4WSN	BPMN Extension for Wireless Sensor Networks
BPMO	Business Process Modelling Ontology
BPMS	Business Process Management System / Business Process Management Software
BPO	Business Process Ontology
BPR	Business Process Reengineering
BR	Business Rules
BRM	Business Rules Management
BRMS	Business Rules Management System
BTF	Build to Forecast
BTO	Build to Order [Make to Order (MTO)]
BTS	Build to Stock [Make to Stock (MTS)]
BULO	Base Upper-level Ontology
BWW	Bunge-Wand-Weber
Byte	8 Bits

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

C2C	Cradle to Cradle
CA	Cellular Automaton / Cellular Automata
C-acts (DEMO)	Coordination acts
CaaS	Cognition as a Service
CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
CAEX	Computer Aided Engineering Exchange
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CAP	Computer-Aided Planning
CAPA	Corrective and Preventive Action
CAPE	Computer-Aided Production Engineering
CAPE	Computer-Aided Process Engineering (OntoCAPE)
CAPM	Computer-Aided Production Management
CAPP	Computer-Aided Process Planning
CAQ	Computer-Aided Quality Assurance
CAS	Complex Adaptive System
CASE	Computer-Aided Software Engineering
CAW	Context Awareness
CAX	Computer-Aided X / Computer-Aided Technologies
CBA (MIT)	MIT Center for Bits and Atoms
CC	Cognitive Computing
CC	Creative Commons
CCR	Causal Criterion of Reality
CDM	Constructionist Design Methodology
CDPS	Cooperative Distributed Problem Solving
CE	Concurrent Engineering [Simultaneous Engineering]
CE (CEP)	Complex Event
CEE	Cross Enterprise Engineering
CEN	Comité Européen de Normalisation / European Committee for Standardization
CEO	Core Enterprise Ontology
CEOX	Core Enterprise Ontology for XaaS (CYPO)
CEOX PCF	CEOX Process Classification Framework (CYPO)
CEP	Complex Event Processing
CEP2U	Complex Event Processing under Uncertainty
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire / European Organization for Nuclear Research
CERP-IoT	Cluster of European Research Projects on the Internet of Things
CES	Complex Event Service
CG	Conceptual Graph
ChEBI	Chemical Entities of Biological Interest
CIE	Computer Integrated Enterprise
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIM (MDA)	Computation Independent Model (OMG Standard)
CIMOSA	Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture [CIM-OSA]
CIoE	Cognitive Internet of Everything
CIoT	Cognitive Internet of Things
CL	Common Logic (ISO/IEC 24707:2007)
CL (OBO)	Cell Ontology
CLCE	Common Logic Controlled English
CLIF	Common Logic Interchange Format
CLO	Core Legal Ontology [DOLCE Extension]
CM	Conceptual Modeling / Conceptual Model
CM (DEMO)	Construction Model
CM (PLM)	Configuration Management
CML	Conceptual Modelling Language (CommonKADS methodology)
CMLs	Conceptual Modeling Languages
CMMI	Capability Maturity Model Integration
CMS	Content Management System
CMTO	Configuration Management Task Ontology
CNL	Controlled Natural Language
CNN	Cellular Neural Networks

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

CO	Conceptual Ontology
CO	Core Ontology
CoAP	Constrained Application Protocol (IETF Standard)
CoEP	Cognitive Event Processing
CONON	Context Ontology
CORA	Core Ontology for Robotics and Automation
CORAX	Core Ontology for Robotics and Automation X
COSMO	COmmon Semantic MOdel
COSO	Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission
C-OWL	Context-OWL
CPE	Cyber-Physical Ecosystem
CPLS	Cyber-Physical Logistics System
C-PLM	Conventional Product Lifecycle Management
Cyborg	Cybernetic Organism
CYPO	Cyber-Physical Ontology
CYPO CEOX	CYPO Core Enterprise Ontology for XaaS [Core Ontology]
CYPO FOX	CYPO Four-worlds Ontology for Everything [X]
CYPO IMKO	CYPO Integrated Metaphysical Knowledge Ontology [Ontological Computing Framework]
CYPO OCEP	CYPO Ontology-driven Complex Event Processing
CYPO TLO	CYPO Top-level Ontology
CPS	Cyber-Physical System
CPPS	Cyber-Physical Production Systems
CPSS	Cyber-Physical Social Systems
CPST	Cyber-Physical-Social-Thinking [Hyperspace]
CPTS	Cyber-Physical Traffic System
CQL	Continuous Query Language
CRM	Customer Relationship Management
CS	Conceptual Schema
CSCW	Computer Supported Cooperative Work / Computer Supported Collaborative Work
CSO	Cloud Service Ontology / Cloud Service description Ontology
CSOA	Commitment-Based SOA
CSP	Cloud Service Provider
CST	Computational Space-Time
CTO	Configure to Order
CUH	Computable Universe Hypothesis
CUMS	Cloud and Ubiquitous Manufacturing Systems
CXM	Customer Experience Management
Cyc	Encyclopedia
CycL	Cyc Language
D&S	Descriptions and Situations (DOLCE)
D2D	Device-to-Device
DaaS	Data as a Service
DAI	Distributed Artificial Intelligence
DAML	DARPA Agent Markup Language
DAML-S	DARPA Agent Markup Language for Services
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DBMS	Database Management System
DBN	Deep Belief Network
DBPO	DBpedia Ontology
DCA	Dissipative Cellular Automata
DCEP	Distributed Complex Event Processing
DCS	Distributed Control System
DEBS	Distributed Event-Based Systems
DEDP	Dynamic Engineering Design Process
DESO	Discrete Event Simulation Ontology
DDPO	DOLCE, DnS and Plan Ontologies
DEMO	Design and Engineering Methodology for Organizations
DFA	Design for Assembly
DFA	Deterministic Finite Automaton [Automata Theory]
DFIG	Data Fusion Information Group
DFKI	German Research Center for Artificial Intelligence

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

	(Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz)
DFMA	Design for Manufacture and Assembly
DFX	Design for X / Design for Excellence
DIN	German Institute for Standardization (Deutsches Institut für Normung e.V.), German ISO member body
DL	Description Logic / Description Logics
DL (ANN)	Deep Learning
DMN	Decision Model and Notation (OMG Standard)
DMS	Document Management System
DMU	Digital Mock-Up / Digital Mockup
DnS	Ontology of Descriptions and Situations
DoDAF	Department of Defense Architecture Framework
DO	Domain Ontology
DOLCE	Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering
Doxel	Dynamic Voxel [4D Dataset / Spacetime Systems]
DPM	Digital Product Memory
DSGS-A	Distributed Common Ground System – Army
DSMS	Data Stream Management System
DSN	Distributed Sensor Networks
DSS	Decision Support System
DUL	DOLCE+DnS UltraLite
DYMO	Dynamic Mass Ontology
E2A	Extended Enterprise Architecture
E-Science	Electronic Science / enhanced Science
EA	Enterprise Architecture
EAF	Enterprise Architecture Framework
EAI [AI]	Embodied Artificial Intelligence
EAI [EA]	Enterprise Application Integration
EAM	Enterprise Asset Management
EBL	Explanation-based Learning
EBOM	Engineering Bill of Materials
EC	Embodied Cognition
EC	Event Calculus
ECA	Event-Condition-Action
ECCMA	Electronic Commerce Code Management Association
ECM	Engineering Change Management
EDA (EA)	Event Driven Architecture
ED-BPM	Event-Driven Business Process Management [EDBPM]
EDM (PDM)	Engineering Data Management
EDM	Enterprise Data Management [Council]
EDP	Event-Driven Programming
ED-SOA	Event-Driven SOA
EE	Extended Enterprise [E2]
EEA	Extended Enterprise Applications
EEO	Edinburgh Enterprise Ontology
EERM	Enhanced Entity-Relationship Model
EI	Enterprise Integration
EIAOnt	Enterprise Information Architecture Ontology
EIF	European Interoperability Framework
ELC	Enterprise Life Cycle
ELV	End of Life Vehicles
EM	Enterprise Modeling / Enterprise Model
EMA	European Medicines Agency
EMA	Environmental Management Accounting
EMAS	Evolutionary Multi-Agent System
EMDSS	Enterprise Modeling and Decision Support System
ENIO	Enterprise Interoperability Ontology
EO	Enterprise Ontology (Core Ontology)
EO-FS	Enterprise Ontology-Firm Specifics
EO-IC	Enterprise Ontology-Industry Concepts
EOL	End of Life

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

EOP	End of Production
EOS	End of Service
EOS (EA)	Enterprise Operating System
EP-SPARQL	Event Processing SPARQL
EPA	Event Processing Agent
EPC [BPM]	Event-driven Process Chain
EPC [IoT]	Electronic Product Code
EPCIS	Electronic Product Code Information Services
EPISTLE	European Process Industries STEP Technical Liaison Executive (ISO 15926)
EPL	Event Processing Language
EPN	Event Processing Network
ER	Entity-Relationship
ERH	External Reality Hypothesis
ERM	Enterprise Risk Management
ERM	Entity-Relationship Model
ERP	Enterprise Resource Planning
ERSL	Entity-Relationship Simulation Language
ES	Expert Systems
ESB	Enterprise Service Bus
ESP	Event Stream Processing
ESR	Epistemic Structural Realism
ETO	Engineer to Order
eUFO	Essential Unified Foundational Ontology
EV	Electric Vehicle
FAA-iCMM	Federal Aviation Administration Integrated Capability Maturity Model
FDA	Food and Drug Administration [USFDA]
FDI	Fault Detection and Isolation
FEI	Framework for Enterprise Interoperability
FFF	Features and Fluents Framework
FIBO	Financial Industry Business Ontology
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents
FL	Frame Logic
FM	Fact Model
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FMS	Flexible Manufacturing System
FNN	Feedforward Neural Network
FO	Functional Ontology
FOAF	Friend of a Friend
FODAL	First-Order Deontic-Alethic Logic
FOL	First-Order Logic
Fortran	Formula Translation [FORTRAN]: FORMula TRANslation
FOX (CYPO)	Four-worlds Ontology for Everything [X]
FPT	Free Process Theory
FSA	Finite-state Automata
FSM	Finite-state Machine
GAE	Google App Engine
GALEN	Generalized Architecture for Languages, Encyclopedias, and Nomenclatures in Medicine
GAMP	Good Automated Manufacturing Practice
GDL	Goods-Dominant Logic
GEM	General Extensional Mereology
GEM [GIS]	Geospatial Event Model
GEON	GEosciences Network / Geosciences Network
GERAM	Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology
GFO	General Formal Ontology
GIM	GRAI Integrated Methodology
GIS	Geographic Information Systems
GMA	VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik
GO	Gene Ontology
GOF AI	Good Old-Fashioned Artificial Intelligence
GOL	General Ontological Language
GOLD	General Ontology for Linguistic Description

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

GPM	Generic Process Model
GPS [AI]	General Problem Solver
GPS [GIS]	Global Positioning System
GPT	General Process Theory
GR	GoodRelations
GRACE	inteGration of pRocess and quALity Control using multi-agEnt technology
GRAI	Graphs with Results and Actions Inter-related
GSO	Goal-Based Service Ontology
GUM	Generalized Upper Model
H2H	Human to Human
H2M	Human to Machine
HaaS	Hardware as a Service
HCBA	Holonic Component-Based Architecture
HCI	Human-Computer Interaction
Hex	Hexadecimal
HL7	Health Level Seven International
HLIF	High-Level Information Fusion
HMAS	Holonic Multi-Agent Systems
HMS	Holonic Manufacturing System
HOL	Higher-Order Logic
HPC	High Performance Computing
HTM	Hierarchical Temporal Memory
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
I40	Industrie 4.0
IaaS	Infrastructure as a Service
IAM (DEMO)	Interaction Model
IAO	Information Artifact Ontology
IBM	International Business Machines Corporation
ICAM	Integrated Computer-Aided Manufacturing
ICT	Information and Communication Technology
IDEAS	International Defence Enterprise Architecture Specification for exchange [Group]
IDEF	Integrated DEFinition / ICAM Definition
IDEF0	IDEF Function Modeling Method
IDEF1	IDEF Information Modeling Method
IDEF1X	IDEF Data Modeling Method
IDEF3	IDEF Process Description Capture Method
IDEF4	IDEF Object-Oriented Design Method
IDEF5	IDEF Ontology Description Capture Method
IDS	Intrusion Detection System
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IF	Information Fusion
IFAC	International Federation of Automatic Control
IFF	Information Flow Framework
IFIP	International Federation for Information Processing
IFOMIS	Institute for Formal Ontology and Medical Information Science
IFP	Information Flow Processing
IIC	Industrial Internet Consortium
IIO	IoT-based Service Integration Ontology
IIoT	Industrial Internet of Things
IIRA	Industrial Internet Reference Architecture
IKS	Information and Knowledge System(s)
ILP	Ideal Language Philosophy / Ideal Language Philosophers
IMC	Intelligent Monitoring and Control
IMDB	In-Memory Database
IMISE	Institute for Medical Informatics, Statistics and Epidemiology
IMKO	Integrated Metaphysical Knowledge Ontology (CYPO)
IMKO OCF	IMKO Ontological Computing Framework (CYPO)
IMS	Intelligent Manufacturing Systems

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

INaaS	Intelligence as a Service
IoA	Internet of Agents
IoBNT	Internet of Bio-Nano Things
IoBT	Internet of Biometric Things
IoCT	Internet of Chemical Things
IoD	Internet of Data
IoE	Internet of Energy [Internet of Everything: IoX]
IoET	Internet of Energy Things
IoGT	Internet of Geophysical Things
IoHT	Internet of Healthcare Things / Internet of Health Things
IoIT	Internet of Industrial Things
IoLT	Internet of Living Things
IoMT	Internet of Medical Things
IoNT	Internet of Nano Things
IoP	Internet of People
IoPT	Internet of Postal Things
IoS	Internet of Services
IoT	Internet of Things
IoT-A	Internet of Things Architecture
IoT-ARM	Internet of Things Architectural Reference Model
IoT-RA	Internet of Things Reference Architecture
IoT-RM	Internet of Things Reference Model
IoTS	Internet of Things and Services
IoUT	Internet of Underwater Things
IoV	Internet of Vehicles
IoX	Internet of Everything
IODE	Integrated Ontology Development Environment [Highfleet]
IOMIS	Integrated Ontological Model of Information Systems
IP	Intellectual Property
IP	Internet Protocol
IPC	Internet Pricing and Configurator (SAP)
IPPOP	Integration of Product Process and Organization for Performance Enhancement in Engineering
IPS ²	Industrial Product Service Systems
IPSO	IP for Smart Objects
IPv4	Internet Protocol Version 4
IPv6	Internet Protocol Version 6
IRE	Identifiers, Resources, and Entities (DOLCE)
IRS-III	Internet Reasoning Service [Implementation III]
IS	Information System(s)
ISM (DEMO)	Interstriction Model
ISO	International Organization for Standardization
ISPAR	Interact-Serve-Propose-Agree-Realize
ISR	Informational Structural Realism
IT	Information Technology
ITP	Intelligent Text Processing
IUT (DEMO)	Information Use Table
JADE	Java Agent DEvelopment Framework
JDL	Joint Directors of Laboratories
JSON	JavaScript Object Notation
JTB	Justified True Belief
KADS	Knowledge Acquisition and Documentation Structuring
KAON	Karlsruhe Ontology and Semantic Web Tool Suite
KARL	Knowledge Acquisition and Representation Language
KBE	Knowledge Based Engineering
KBMT	Knowledge-Based Machine Translation
KBS	Knowledge Based Systems
KDD	Knowledge Discovery in Databases
KE	Knowledge Engineering
KFL	Knowledge Frame Language
KIF	Knowledge Interchange Format

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

KMS	Knowledge Management System
KPI	Key Performance Indicator
KR	Knowledge Representation
KS	Knowledge System(s)
LCC	Life Cycle Costing / Life Cycle Cost Analysis
LCS	Learning Classifier Systems
LDaaS	Linked Data as a Service
LDO	LinkedDesign Ontology
LfS	Learning from Scratch
LHC	Large Hadron Collider
Lidar	Light Detection And Ranging / Light Imaging, Detection, And Ranging
LIALOG	Linguistic and Logic Methods for the Computational Understanding of German (IBM)
LIR	Logic in Reality
LISI	Levels of Information Systems Interoperability
Lisp	List Processing [LISP]
LLIF	Low-Level Information Fusion
LO	Linguistic Ontology
LOD	Linked Open Data [Linking Open Data]
LPS	Local Positioning System
LSTM (RNN)	Long Short-Term Memory
M&S	Modeling and Simulation
m3po	multi meta-model process ontology
M2H	Machine to Human
M2M	Machine to Machine
M2R	Machine to Reality
MaaS	Mashup as a Service
MAC	Multi-Agent Collaboration
MAD	Michigan Algorithm Decoder
MAS	Multi-Agent Systems
MASON	Manufacturing's Semantics ONtology
MASTER	Managing Assurance, Security and Trust for Services (EU Project)
MBOM	Manufacturing Bill of Materials
MCAD	Mechanical Computer-Aided Design
MCCO	Manufacturing Core Concepts Ontology
MCPS [M-CPS]	Manufacturing Cyber-Physical Systems
MDA	Model Driven Architecture (OMG Standard)
MDD	Model Driven Development
MDE	Model Driven Engineering
MDM	Master Data Management
MDSD	Model Driven Software Development
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
MES	Manufacturing Execution System
MESA	Manufacturing Enterprise Solutions Association
MFCA	Material Flow Cost Accounting
MFO	Manufacturing Foundation Ontology
MibML	Multiagent-based Integrative Business Modeling Language
MIKE	Model-based and Incremental Knowledge Engineering
MIT	Massachusetts Institute of Technology
ML	Modal Logic
MLO	Middle Level Ontology [Highfleet]
MO	Method Ontology
MOL	Middle of Life
MOM (SOA)	Message Oriented Middleware
MOOC	Massive Open Online Course
MPM	Manufacturing Process Management
MR	Mixed Reality
MRO	Maintenance, Repair, and Overhaul / Maintenance, Repair and Operations
MRO (MCCO)	Manufacturing Reference Ontology [Loughborough]
MRP	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
MRR	Modular Reconfigurable Robot

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

MRS	Multi-Robot Systems
MSDF	Multisensor Data Fusion
MSDL	Manufacturing Service Description Language
MSE	Manufacturing System Engineering Ontology [Loughborough]
MSO	Multi-Source Ontology
MUH	Mathematical Universe Hypothesis
MW	Mirror Worlds
MWI	Many-Worlds Interpretation [of quantum mechanics]
n/a	not available
NaaS	Network as a Service
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCR	Non Conformity Report / Nonconformance Report
NEMs	No-Event Metaphysicians
NEMS	Nano Electro Mechanical Systems
NFA	Nondeterministic Finite Automaton [Automata Theory]
NFA	Non-Functional Aspects [Common NFA Ontology]
NFC	Near Field Communication
NIAM	Natural language Information Analysis Methodology
NIST	National Institute of Standards and Technologies
NLM	Natural Language Modeling
NLP	Natural Language Processing
NLU	Natural Language Understanding
NMAS	Normative Multi-Agent Systems
NoSQL	Not Only SQL
NPD	New Product Development
NRTA	Near Real-Time Analytics
NSF	National Science Foundation
O&M	Observations and Measurements (OGC)
OAGi	Open Applications Group Incorporated
OAGIS	Open Application Group Integration Specification
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
OASys	Ontology for Autonomous Systems
OBIS	Ontology/Object-Based Information System
OBO	Open Biological and Biomedical Ontologies / Open Biomedical Ontologies
OBTM	Ontology-Based Text Mining
OCD (DEMO)	Organization Construction Diagram
OCEP (CYPO)	Ontology-driven Complex Event Processing
OCF (IMKO)	Ontological Computing Framework
OCHRE	Object-Centered High-level REference ontology
OCL	Object Constraint Language (UML)
ODCA	Ontology-Driven Conceptual Analysis
ODCM	Ontology-Driven Conceptual Modeling
ODIS	Ontology-Driven Information Systems
ODM	Ontology Definition Metamodel (OMG Standard)
ODMG	Object Data Management Group
OE	Ontology Engineering
OeBTO	Open-edi Business Transaction Ontology
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OEM	Original Equipment Manufacturer
oEPC	object-oriented Event-driven Process Chain
OF	Ontology of Functions
OFD (DEMO)	Object Fact Diagram
OGC	Open Geospatial Consortium
OH	Operational Holon
OIL	Ontology Inference Layer
OKBC	Open Knowledge Base Connectivity
OLAP	Online Analytical Processing
OLE	Object Linking and Embedding
OLM	Ontology Lifecycle Management
OLP	Ordinary Language Philosophy / Ordinary Language Philosophers
OM	Ontology of units of Measure and related concepts

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

OMG	Object Management Group
Onto-SOA	Ontology-enabled Service-Oriented Architectural Style
OO	Object-Oriented
OOA	Object-Oriented Analysis
OOD	Object-Oriented Design
OOP	Object-Oriented Programming
OOREA	Object-Oriented REA
OOWS	Object-Oriented Web Solution
OPC	OLE for Process Control / Open Platform Communications [OPC Foundation]
OPC UA	OPC Unified Architecture
OPD (OPM)	Object-Process Diagram
OPF	One-Piece Flow
OPL (DEMO)	Object Property List
OPL (OPM)	Object-Process Language
OPM	Object-Process Methodology
ORA	IEEE Ontologies for Robotics and Automation [Working Group]
ORM	Object-Role Modeling
OS	Open Source
OSLC	Open Services for Lifecycle Collaboration
OSR	Ontic Structural Realism
OTTO	OnTology-based Text mining framewOrk
OWL	Web Ontology Language (W3C Standard)
OWL 2	OWL 2 Web Ontology Language (W3C Standard)
OWL DL	Web Ontology Language Description Logics
OWL-S	Web Ontology Language for Services
OZ	Object-Z
P3R	Product, Process, Plant, Resources
P-acts (DEMO)	Production acts
PaaS	Platform as a Service
PCB	Printed Circuit Board
PCEP	Probabilistic Complex Event Processing
PCF	Process Classification Framework
PCS	Physical-Cyber-Social [Computing]
PDH	Product Data Hub
PDM	Product Data Management
PDP	Product Development Process
PDQ	Product Data Quality
PDW	Process Data Warehouse
PE (CEP)	Primitive Events
PEID	Product Embedded Information Device
PEMs	Pro-Event Metaphysicians
PEP	Product Engineering Process
PERA	Purdue Enterprise Reference Architecture
PEV	Plug-in Electric Vehicle
PH	Product Holon
PHM	Prognostics and Health Management
PI	Physical Internet
PI	Philosophy of Information
PIM	Product Information Management
PIM (MDA)	Platform Independent Model (OMG Standard)
Pixel	Picture Element
PL	Propositional Logic
PLC	Product Life Cycle (PLM)
PLC	Programmable Logic Controller (Industrial Automation)
PLIM	Product Lifecycle Information Model
PLK	Product Lifecycle Knowledge
PLM	Product Lifecycle Management
PLM-AO	PLM Application Ontology
PLM-CO	PLM Core Ontology (Enterprise Ontology)
PLM-DO	PLM Domain Ontology
PLM-FO	PLM Functional Ontology

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

PLM-MO	PLM Method Ontology
PLM-TO	PLM Task Ontology
PLM-TLO	PLM Top-level Ontology
PLMS	Product Lifecycle Management Software / Product Lifecycle Management System
PM (DEMO)	Process Model
POI (GIS)	Point of Interest
POM	Process-Ontological Model
POP* (AIF)	Process, Organisation, Product, etc.
POS	Positioning Ontology
PPC	Production Planning and Control
PPO	Pharmaceutical Product Ontology
PPO (IPPOP)	Product-Process-Organisation model
PPR	Product, Process, and Resource
PPRLT	Product, Process, Resource, Location, and Time
PPRO	Product, Process, Resource, and Organization
PPRS	Product, Process, Resource, and Skill
PPRX	Product, Process, and Resource XML file format
PPS	Production Planning and Scheduling
Prolog	PROgrammation en LOGique / PROgramming in LOGic
PROMISE	PROduct Lifecycle Management and Information tracking using Smart Embedded systems
PROSA	Product-Resource-Order-Staff Architecture
PROTON	PROTo ONtology
PRR	Production Rule Representation (OMG Standard)
PS	Production Systems
PSA	Problem-Solving Agents
PSD (DEMO)	Process Structure Diagram
PSI (DEMO)	Performance in Social Interaction
PSI	Productivity Simulation Initiative
PSIM	Participative Simulation environment for Integral Manufacturing enterprise renewal
PSL	Process Specification Language (ISO 18629)
PSLS	Product-Service Lifecycle System
PSM (MDA)	Platform Specific Model (OMG Standard)
PSMs	Problem-Solving Methods
PSR	Process Structural Realism
PSS	Product Service System
PTO	Pick to Order
PTO (GR)	Product Types Ontology [GoodRelations]
QA (NLP)	Question Answering
QFT	Quantum Field Theory
QLM	Quantum Lifecycle Management
QoS	Quality of Service
QSR	Quality System Regulations
QUDT	Quantities, Units, Dimensions and Types
R	Requirement(s)
R&A	Robotics and Automation
R&D	Research and Development
R2M	Reality to Machine
R2ML	REWERSE Rule Markup Language
R2R	Roadside-to-Roadside
RaaS	Resource as a Service
Radar	RADio Detection And Ranging / RADio Direction And Ranging
RAI	Reality-based Artificial Intelligence
RALA	Reconfigurable Asynchronous Logic Automata
RAMI4.0	Reference Architecture Model Industrie 4.0
RAS	Reconfigurable Assembly System
RBMS	Rule Base Management System
RBQs	Really Big Questions
RCG	Radical Construction Grammar
RCS	Real-time Control System
RDB2RDF	Relational Database to RDF
RDBMS	Relational Database Management System

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

RDF	Resource Description Framework (W3C Standard)
RDFS	Resource Description Framework Schema
RDV	Repeatable Digital Validation
RE	Requirements Engineering
REA [EO]	Resources, Events, Agents
REA [RFID]	RFID Event Processing Agent
REACH	Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals
REST	Representational State Transfer
RFID	Radio-Frequency Identification
RFP	Request for Proposal
RGB	Red–Green–Blue [RGB color space]
RIF	Rule Interchange Format (W3C Recommendation)
RML	Rule Markup Language [RuleML]
RMS	Reconfigurable Manufacturing System
RNN	Recurrent Neural Network
RO	Reference Ontology
RO (OBO)	Relation Ontology (OBO-Foundry)
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
ROI	Return on Investment
ROMEO	Requirements-Oriented Methodology for Evaluating Ontologies
ROMULUS	Repository of Ontologies for MULTiple USes
RP	Rapid Prototyping
RPC	Remote Procedure Call
RPPR	Requirement, Product, Process, Resource
RS	Representational Systems
RSP	RDF Stream Processing
RSS	Resource-Service-System
RTA	Real-Time Analytics
RTBDA	Real-Time Big Data Analytics
RTC	Real-Time Computing
RTE	Real-Time Enterprise
RTLS	Real-Time Locating System
RTU	Remote Terminal Unit
RuleML	Rule Markup Language [RML]
RWI	Real World Internet
S&R Apps	Sense and Respond Applications
S-BPM	Subject-oriented Business Process Management
SaaS	Software as a Service
SAE	SAE International / Society of Automotive Engineers
SAP	Systems, Applications and Products in Data Processing (SAP SE)
SARI	Sense-and-Respond Infrastructure
SAW	Situation Awareness (SAW Ontology)
SAWA	Situation Awareness Assistant
sBPEL	Semantic BPEL
sBPMN	Semantic BPMN
SBPM	Semantic Business Process Management
SBVR	Semantics of Business Vocabulary and Business Rules (OMG Standard)
SC	Situated Cognition
SC	Situation Calculus
SCA	Sense-Compute-Actuate
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SCC	Supply Chain Council
SCE	Sales Configuration Engine (SAP)
SCEP	Semantic Complex Event Processing
SCM	Supply Chain Management
SCO	Supply Chain Ontology
SCOR	Supply Chain Operations Reference-model (SCC Standard)
SDA	Smart Data Analytics
SDL	Service-Dominant Logic
SDM	Semantic Data Management
SDSS	Semantic Decision Support System

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

SE	Software Engineering
SEA	Smart Enterprise Architecture
SEEs	Software Engineering Environments
SEI	Smart Enterprise Integration
SemProM	Semantic Product Memory
Senaas	Sensing as a Service
SenML	Sensor Markup Language
SEO	Search Engine Optimization
sEPC	Semantic EPC
SeReS	Semantic Reference Systems
SFI	Santa Fe Institute
SH	Supervisor Holon
SHO	SOA Healthcare Ontology
SIoT	Social Internet of Things
SIoV	Social Internet of Vehicles
SLA	Service Level Agreement
SLC	Software Life Cycle
SLIP	Symmetric List Processor
SLM	Service Lifecycle Management
SM (DEMO)	State Model
SMA	Shape Memory Alloys
SMIF	Semantic Manufacturing Interoperability Framework
SMLC	Smart Manufacturing Leadership Coalition
SMM	Shape Memory Materials
SMP	Shape Memory Polymers
SMPA	Sense-Model-Plan-Act [Framework]
SN	Sensor Network
SNAP	Situations, Needs, Actions, and Products [E-Commerce Ontology, IBM Research]
SoaML	Service oriented architecture Modeling Language (OMG)
SOA [SoA]	Service-Oriented Architecture
SOA-AT	SOA in Automation Technology
SOA-O	Service-Oriented Architecture Ontology
SOA-RM	SOA Reference Model (OASIS)
SOAP	Simple Object Access Protocol (W3C Standard)
SOC	Service-Oriented Computing
SOCCA	Service-Oriented Cloud Computing Architecture
SODA	Service-Oriented Device Architecture
SOE	Service-Oriented Enterprise
SOHO	Self-regulating Open Hierarchic Order [Holarchy]
SOI	Service-Oriented Integration
SOM	Semantic Object Model
SOM [SoM]	Service-Oriented Middleware (SOA)
SOP	Start of Production
SOSE	Service-Oriented System Engineering
SOUPA	Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications
SOWL	Spatio-Temporal OWL
SPARC	Standards Planning and Requirements Committee
SPARQL	SPARQL Protocol and RDF Query Language
SPARQL-ST	SPARQL Spatio-Temporal [Extension for complex spatiotemporal queries]
SPICE	Software Process Improvement and Capability Determination (ISO/IEC 15504)
SPLM	Semantic Product Lifecycle Management
SPPR	Smart PPR / Semantic PPR
SPSS	Smart Product Service Systems
SQL	Structured Query Language
SR	Structural Realism
SRI	SRI International [Stanford Research Institute]
SRM	Supplier Relationship Management
SSE	Semantic Search Engine
SSN	Semantic Sensor Network
SSND	Strategic Supply Network Development

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

SSOA	Semantic Service-Oriented Architecture / Semantically enabled Service-Oriented Architecture
SSOA-RO	Reference Ontology for Semantic Service Oriented Architecture (OASIS)
SSW	Semantic Sensor Web
ST	Semantic Technologies
STA	Situation and Threat Assessment
STEP	STandard for the Exchange of Product model data (ISO 10303)
STL	Standard Transformation Language / STereoLithography [3DP file format]
STR	Special Theory of Relativity
STRIPS	STanford Research Institute Problem Solver
SUMO	Suggested Upper Merged Ontology
SUO	Standard Upper Ontology
SUO WG	IEEE Standard Upper Ontology Working Group
SUPER	Semantics Utilized for Process management within and between EnterPrises
SW	Semantic Web
SWEET	Semantic Web for Earth and Environmental Terminology (NASA)
SWoT	Semantic Web of Things
SWRL	Semantic Web Rule Language (W3C Specification)
SWT	Semantic Web Technologies
SysLM	Systems Lifecycle Management
T	Time
TBox	Terminology Box (Description Logic)
TAL	Temporal Action Logics
TC	Target Costing
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TCT	Total Cycle Time
TEO	The Enterprise Ontology
TH	Task Holon
TLCM	Total Life Cycle Management
TLO	Top-level Ontology
TO	Task Ontology
TOA	Transaction-Oriented Architecture
TOGAF	The Open Group Architecture Framework
TOVE	Toronto Virtual Enterprise
TPLC	Total Product Lifecycle
TQM	Total Quality Management
TRT (DEMO)	Transaction Result Table
U-AWS	Ubiquitous Autonomous Work System
U-CEP	Ubiquitous Complex Event Processing
U-Design	Ubiquitous Design
U-Factory	Ubiquitous Factory
U-Maintenance	Ubiquitous Maintenance
U-Monitoring	Ubiquitous Monitoring
U-PLM	Ubiquitous Product Lifecycle Management
UC	Ubiquitous Computing
UC ²	Ubiquitous Command and Control Systems
UCO	Upper Cyc Ontology
UEML	Unified Enterprise Modeling Language
UFDO	Upper-level Functional Design Ontology
UFO	Unified Foundational Ontology
UFO-S	Unified Foundational Ontology for Services
UIMA	Unstructured Information Management Architecture
UIS	Ubiquitous Information System
ULO	Upper Level Ontology [Highfleet]
UMBEL (Cyc)	Upper Mapping and Binding Exchange Layer
UML	Unified Modeling Language (OMG Standard)
UML AD	Unified Modeling Language Activity Diagram (OMG Standard)
UMM	UN/CEFACT Modelling Methodology
UN	United Nations
UN/CEFACT	United Nations Centre for Trade Facilitation and Electronic Business

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

UoD	Universe of Discourse
UPO	Upper-level Process Ontology
URI	Uniform Resource Identifier
URL	Uniform Resource Locator
USDOD	United States Department of Defense
USFDA	United States Food and Drug Administration
USN	Ubiquitous Sensor Networks
UST	Unified Services Theory
v.v.	vice versa
V2B	Vehicle-to-Building
V2C	Vehicle-to-Cloud
V2D	Vehicle-to-Device
V2G	Vehicle-to-Grid
V2H	Vehicle-to-Home
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2N	Vehicle-to-Network
V2P	Vehicle-to-Pedestrian
V2R	Vehicle-to-Road / Vehicle-to-Roadside
V2S	Vehicle-to-Sensor
V2V	Vehicle-to-Vehicle
V2X	Vehicle-to-Everything
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VE	Virtual Environment
VEL	Versatile Event Logic
Voxel	Volume Element (Virtual Voxel \cong 3D Pixel = 3D Picture Element / Volumetric Pixel)
VP	Virtual Prototype
VR	Virtual Reality
W1 (CYPO)	World 1
W1A (CYPO)	W1 Actualism (Objective Knowledge - Natural World) - Standard Mode Natural Science
W1L (CYPO)	W1 Linguistics (W1 simplified for Common Sense) [~ Naïve Physics]
W1P (CYPO)	W1 Possibilism (Possible Worlds in Natural Science) [~ Many Universes Quantum Theory]
W1S (CYPO)	World 1 referring Semantics
W2 (CYPO)	World 2
W2A (CYPO)	W2 Actualism (Subjective Knowledge - Agent World; <i>endogenous</i> MAS-Mode)
W2F (CYPO)	W2 Fictionalism (Fictional World of Agent)
W2P (CYPO)	W2 Possibilism (Possible World of Agent; <i>endogenous</i> W4P-Mode)
W2S (CYPO)	World 2 referring Semantics
W2T	Wisdom Web of Things
W3 (CYPO)	World 3
W3A (CYPO)	W3 Actualism (Techno-Practice)
W3C	World Wide Web Consortium
W3F (CYPO)	W3 Fictionalism
W3L (CYPO)	W3 Linguistics (Common Sense; built on consensus)
W3M (CYPO)	W3 Multiagent (Artificial Societies) [non-empirical technological <i>consensus</i> mode]
W3P (CYPO)	W3 Possibilism
W3S (CYPO)	World 3 referring Semantics
W4 (CYPO)	World 4
W4A (CYPO)	W4 Actualism (Objective Knowledge - Social World) - empirical <i>Social Science</i> Mode
W4L (CYPO)	W4 Linguistics (W4 simplified for Common Sense) [~ Commonsense Microsociology]
W4M (CYPO)	W4 Multiagent (Artificial Societies) [<i>exogenous</i> empirical mode; <i>endogenous</i> : cf. W2A]
W4P (CYPO)	W4 Possibilism (Possible Social Worlds) [<i>exogenous</i> mode; <i>endogenous</i> : cf. W2P]
W4S (CYPO)	World 4 referring Semantics
WaaS	Workflow as a Service
WEEE	Waste from Electrical and Electronic Equipment
Wf	Workflow
WfM	Workflow Management
WfMC	Workflow Management Coalition
WfMS	Workflow Management System
WFOL	WonderWeb Foundational Ontologies Library

Akronym- und Abkürzungsverzeichnis

WG	Working Group
WI	Web Intelligence
WoT	Web of Things
WoTS	Web of Things and Services
WPML	Work Process Modeling Language
WS	Web Service / Web Services
WS-BPEL	Web Services Business Process Execution Language
WSAN	Wireless Sensor and Actuator Network / Wireless Sensor and Actor Network
WSDL	Web Services Description Language (W3C Specification)
WSML	Web Service Modeling Language (W3C Member Submission)
WSMO	Web Service Modeling Ontology (W3C Member Submission)
WSN	Wireless Sensor Network
WWW	World Wide Web
X	Everything
XaaS	Everything as a Service / Anything as a Service
XBRL	eXtensible Business Reporting Language
XML	Extensible Markup Language (W3C Standard)
XML-RPC	XML Remote Procedure Call
XPDL	XML Process Definition Language (WfMC Standard)
YAGO	Yet Another Great Ontology
YAMATO	Yet Another More Advanced Top-level Ontology
YATO	Yet Another Top-level Ontology
YAWL	Yet Another Workflow Language
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

Bibliographie

- Aagesen, Gustav; Krogstie, John (2010) „Analysis and Design of Business Processes Using BPMN“, in: „Handbook on Business Process Management 1“, ed. by Vom Brocke, Jan; Rosemann, Michael, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 213-235.
- Aalami, Florian; Fischer, Martin (1998) „Joint Product and Process Model Elaboration Based on Construction Method Models“, in: Construction Informatics, Paper w78-1998-2, 1998, pp. 1-11.
- Aameri, Bahar (2012) „Using Partial Automorphisms to Design Process Ontologies“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 309-322.
- Aasman, Jans (2008) „Unification of Geospatial Reasoning, Temporal Logic, & Social Network Analysis in an RDF Database“, in: „Ontology for the Intelligence Community (OIC-2008): Towards Effective Exploitation and Integration of Intelligence Resources“, ed. by Blackmond Laskey, Kathryn; Wijesekera, Duminda, Proceedings of the Third International Ontology for the Intelligence Community Conference, Fairfax, VA, USA, December 3-4, 2008, 2008.
- Aazam, Mohammad; Huh, Eui-Nam (2013) „Network as a Service and its Key Challenges in Cloud Computing“, Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, Vol. 36 (APAN 36), Daejeon/Korea, 19-23 August, 2013, pp. 125-131.
- Abbas, Muhammad Aun (2013) „Compatible and Incompatible Ontology Mappings“, 25th International Conference on Advanced Information Systems Engineering, June 17-21 2013, Valencia, Spain, 2013.
- Abbott, Robert D. (1997) „Information Transfer and Cognitive Mismatch: A Popperian Model for Studies of Public Understanding“, in: Journal of Information Science, Vol. 23, No. 2, 1997, pp. 129-137.
- Abbott, Robert D. (1999) „The World As Information. Overload and Personal Design“, Exeter: Intellect, 1999.
- Abbott, Robert D. (2004) „Subjectivity as a Concern for Information Science: A Popperian Perspective“, in: Journal of Information Science, Vol. 30, No. 2, 2004, pp. 95-106.
- Abdelwahab, Sherif; Hamdaoui, Bechir; Guizani, Mohsen; Rayes, Ammar (2014) „Enabling Smart Cloud Services Through Remote Sensing: An Internet of Everything Enabler“, in: IEEE Internet of Things Journal, Vol. 1, No. 3, 2014, pp. 276-288.
- Abdoul্লাev, Azamat (1997) „Creating Machines with Universal Intelligence“, Proceedings Intelligent Information Systems, 1997 (IIS '97), Grand Bahama Island, 8-10 Dec, 1997, pp. 115-121.
- Abdoul্লাev, Azamat (2008) „Reality, Universal Ontology, and Knowledge Systems: Toward the Intelligent World“, Hershey: IGI Publ., 2008.
- Abdullah, Mohd Syazwan et al. (2005) „Developing a UML Profile for Modelling Knowledge-Based Systems“, in: „Model Driven Architecture“, ed. by Aßmann, Uwe et al., European MDA Workshops: Foundations and Applications, MDFA 2003 and MDFA 2004, Twente, The Netherlands, June 26-27, 2003 and Linköping, Sweden, June 10-11, 2004, Rev. Papers, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 220-233.
- Abdullah, Mohd Syazwan; Kimble, Chris; Benest, Ian; Paige, Richard (2006) „Knowledge-based Systems: A Re-evaluation“, in: Journal of Knowledge Management, Vol. 10, No. 3, 2006, pp. 127-142.
- Abele, Lisa; Grimm, Stephan (2013) „Knowledge-based Integration of Industrial Plant Models“, 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2013.
- Abele, Lisa; Legat, Christoph; Grimm, Stephan; Müller, Andreas W. (2013) „Ontology-based Validation of Plant Models“, 11th IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2013, pp. 236-241.
- Abelson, Robert P. (1979) „Differences Between Belief and Knowledge Systems“, in: Cognitive Science, Vol. 3, No. 4, 1979, pp. 355-366.
- ABI Research (2014) „Internet of Things vs. Internet of Everything: What's the Difference?“, 2014.
- Abi-Lahoud, Elie; Butler, Tom; Chapin, Donald; Hall, John (2013) „Interpreting Regulations with SBVR“, in: „RuleML@ChallengeEnriched 2013“, ed. by Fodor, Paul et al., Joint Proceedings of the 7th Int. Rule Challenge, the Special Track on Human Language Technology and the 3rd RuleML Doctoral Consortium hosted at RuleML2013, Seattle/USA, July, 2013.
- Ablowitz, Reuben (1939) „The Theory of Emergence“, in: Philosophy of Science, Vol. 6, No. 1, 1939, pp. 1-16.
- Abramovici, Michael; Aidi, Youssef (2013) „Next Generation Product Lifecycle Management (PLM)“, in: „Integration of Practice-Oriented Knowledge Technology: Trends and Prospectives“, ed. by Fathi, Madjid, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 143-156.

Bibliographie

- Abramovici, Michael; Aidi, Youssef; Dang, Hoang Bao (2013) „Knowledge-Based Lifecycle Management Approach for Product Service Systems (PSS)“, in: „Product Lifecycle Management for Society“, ed. by Bernard, Alain et al., 10th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2013, Nantes, France, July 6-10, 2013, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 239-248.
- Abramovici, Michael; Aidi, Youssef; Jin, Feng; Göbel, Jens-Christian (2012) „Lifecycle Management von Hybriden Leistungsbündeln“, in: „Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen“, hrsg. v. Meier, Horst; Uhlmann, Eckart, Berlin et al.: Springer, 2012, S. 265-284.
- Abramovici, Michael; Bellalouna, Fahmi (2010) „New PLM-Approach for the Mechatronic Product Design“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 759-769.
- Abramovici, Michael; Bellalouna, Fahmi; Göbel, Jens Christian (2010) „Adaptive Change Management for Industrial Product-Service Systems“, 2010.
- Abramovici, Michael; Dang, Hoang Bao; Wolf, Mario (2013) „IPS²-KOP: IPS² Knowledge-Based Service-Oriented Lifecycle Management Platform“, in: „Product-Service Integration for Sustainable Solutions“, ed. by Meier, Horst, Proceedings of the 5th CIRP International Conference on Industrial Product-Service Systems, Bochum, Germany, March 14th - 15th, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 485-493.
- Abramovici, Michael; Göbel, Jens Christian; Dang, Hoang Bao (2016) „Semantic Data Management for the Development and Continuous Reconfiguration of Smart Products and Systems“, in: CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 65, No. 1, 2016, pp. 185-188.
- Abramovici, Michael; Göbel, Jens Christian; Neges, Matthias (2015) „Smart Engineering as Enabler for the 4th Industrial Revolution“, in: „Integrated Systems: Innovations and Applications“, ed. by Fathi, Madjid, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 163-170.
- Abramovici, Michael; Jin, Feng; Dang, Hoang Bao (2013) „An Indicator Framework for Monitoring IPS² in the Use Phase“, in: „Product-Service Integration for Sustainable Solutions“, ed. by Meier, Horst, Proceedings of the 5th CIRP International Conference on Industrial Product-Service Systems, Bochum, Germany, March 14th - 15th, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 311-322.
- Abramovici, Michael; Lindner, Andreas; Dienst, Susanne (2013) „Use Case of Providing Decision Support for Product Developers in Product Improvement Processes“, in: „Integration of Practice-Oriented Knowledge Technology: Trends and Perspectives“, ed. by Fathi, Madjid, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 171-182.
- Abramovici, Michael; Neubach, Manuel; Schulze, Martin; Spura, Christian (2009) „Metadata Reference Model for IPS² Lifecycle Management“, Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS²) Conference, Cranfield Univ., 1-2 April, 2009, pp. 268-272.
- Abramovici, Michael; Schulte, Stefan (2005) „PLM - Neue Bezeichnung für alte CIM-Ansätze oder Weiterentwicklung von PDM? Ergebnisse einer Experten-Studie in der Automobilindustrie“, in: Konstruktion - Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe 1/2, 2005.
- Abramovici, Michael; Schulte, Stefan (2006) „PLM - Stand der Technik und Entwicklungsperspektiven“, in: Robuste, verkürzte Prozessketten für flächige Leichtbauteile, Tagungsband zum Berichts- und Industriekolloquium des SFB 396; Erlangen, 20. - 21. Juni 2006, Bamberg: Meisenbach, 2006.
- Abramowicz, Witold; Filipowska, Agata; Kaczmarek, Monika; Kaczmarek, Tomasz (2007) „Semantically enhanced Business Process Modelling Notation“, in: „SBPM 2007. Semantic Business Process and Product Lifecycle Management“, ed. by Hepp, Martin et al., Proceedings of the Workshop on Semantic Business Process and Product Lifecycle Management, held in conjunction with ESWC 2007, Innsbruck, Austria, June 7, 2007.
- acatech (ed.) (2011) „Cyber-Physical Systems. Driving Force for Innovation in Mobility, Health, Energy and Production“, acatech - National Academy of Science and Engineering, Munich/Germany, 2011.
- acatech (ed.) (2013) „Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0“, Final report of the Industrie 4.0 Working Group, April, 2013.
- acatech (ed.) (2014) „Future Business Clouds. Ein Beitrag zum Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft“, München, 2014.
- Ackermann, Robert (1963) „A Neglected Proposal Concerning Simplicity“, in: Philosophy of Science, Vol. 30, No. 3, 1963, pp. 228-235.
- Adaikkalavan, Raman; Chakravarthy, Sharma (2007) „Event Specification and Processing for Advanced Applications: Generalization and Formalization“, in: „Database and Expert Systems Applications“, ed. by Wagner, Roland et al., 18th International Conference, DEXA 2007, Regensburg, Germany, September 3-7, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 369-379.

Bibliographie

- Adaikkalavan, Raman; Chakravarthy, Sharma (2011) „Generalization of Events and Rules to Support Advanced Applications“, in: „Reasoning in Event-Based Distributed Systems“, ed. by Helmer, Sven et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 173-193.
- Adami, Christoph (2002) „What is Complexity?“, in: *BioEssays*, Vol. 24, No. 12, 2002, pp. 1085-1094.
- Adams, Frederick (2003) „The Informational Turn in Philosophy“, in: *Minds and Machines*, Vol. 13, No. 4, 2003, pp. 471-501.
- Adams, Robert M. (1979) „Theories of Actuality“, in: „The Possible and the Actual. Readings in the Metaphysics of Modality“, ed. by Loux, Michael J., Ithaca et al.: Cornell Univ. Pr., 1979, pp. 190-209.
- Adams, Robert M. (1986) „Time and Thisness“, in: *Midwest Studies in Philosophy*, Vol. 11, Minneapolis: Univ. of Minnesota Pr., 1986, pp. 315-329.
- Addakiri, Khaoula; Bahaj, Mohamed (2013) „Integrating Ontologies into Distributed Multi-Agent System“, in: *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 5, 2013, pp. 4326-4331.
- Addis, Laird (2008) „Mind: Ontology and Explanation“, Heusenstamm: Ontos, 2008.
- Adriaans, Pieter; Van Benthem, Johan (2008) „Introduction: Information Is What Information Does“, in: „Philosophy of Information“, ed. by Adriaans, Pieter; Van Benthem, Johan, Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 3-26.
- Adriansyah, Arya; Buijs, Joos C.A.M. (2013) „Mining Process Performance from Event Logs“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by La Rosa, Marcello; Soffer, Pnina, BPM 2012 International Workshops Tallinn, Estonia, September 3, 2012, Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 217-218.
- Afify, Yasmine M.; Moawad, Ibrahim F.; Badr, Nagwa L.; Tolba, Mohamed F. (2016) „Ontology-Based Saas Catalogue for Cloud Services Publication and Discovery“, in: *Asian Journal of Information Technology*, Vol. 15, No. 23, 2016, pp. 4900-4915.
- Afify, Yasmine M.; Moawad, Ibrahim F.; Badr, Nagwa L.; Tolba, Mohamed F. (2017) „Cloud Services Publication and Discovery“, ed. by Hassanien, Aboul Ella, Hershey/PA: IGI Global, 2017, pp. 204-228.
- Agarwal, Sudhir; Petrie, Charles J. (2012) „An Alternative to the Top-Down Semantic Web of Services“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 16, No. 5, 2012, pp. 94-97.
- Agassi, Joseph (1964) „The Nature of Scientific Problems and Their Roots in Metaphysics“, in: „The Critical Approach to Science and Philosophy“, ed. by Bunge, Mario A., in Honor of Karl R. Popper, New York: Free Pr., 1964, pp. 189-211.
- Agassi, Joseph (1966) „The Confusion between Science and Technology in the Standard Philosophies of Science“, in: *Technology and Culture*, Vol. 7, No. 3, 1966, pp. 348-366.
- Agassi, Joseph (1976) „Metaphysics as Regulative Ideas for Science“, in: „Science et Métaphysique“, ed. by Dockx, Stanislas I., Paris: Beauchesne, 1976, pp. 33-46.
- Agassi, Joseph (2006) „Metaphysics and the Growth of Scientific Knowledge“, in: „Karl Popper: A Centenary Assessment Volume II“, ed. by Jarvie, Ian Charles et al., Aldershot/Hants et al.: Ashgate, 2006, pp. 3-18.
- Agazzi, Evandro (2001) „What does 'The Unity of Science' Mean?“, in: „The Problem of the Unity of Science“, ed. by Agazzi, Evandro; Faye, Jan, World Scientific: Singapore et al., 2001, pp. 3-14.
- Aggarwal, Charu C.; Abdelzaher, Tarek (2013) „Social Sensing“, in: „Managing and Mining Sensor Data“, ed. by Aggarwal, Charu C., New York/NY: Springer, 2013, pp. 237-297.
- Aggarwal, Charu C.; Ashish, Naveen; Sheth, Amit (2013) „The Internet of Things: A Survey from the Data-Centric Perspective“, in: „Managing and Mining Sensor Data“, ed. by Aggarwal, Charu C., New York/NY: Springer, 2013, pp. 383-428.
- Aghaei, Sareh; Nematbakhsh, Mohammad Ali; Farsani, Hadi Khosravi (2012) „Evolution of the World Wide Web: From Web 1.0 TO Web 4.0“, in: *International Journal of Web & Semantic Technology*, Vol. 3, No. 1, 2012, pp. 1-10.
- Agostinho, Carlos; Ducq, Yves; Zacharewicz, Gregory et al. (2016) „Towards a Sustainable Interoperability in Networked Enterprise Information Systems: Trends of Knowledge and Model-driven Technology“, in: *Computers in Industry*, Vol. 79, 2016, pp. 64-76.
- Agostinho, Carlos; Jardim-Goncalves, Ricardo (2015) „Sustaining Interoperability of Networked Liquid-Sensing Enterprises: A Complex Systems Perspective“, in: *Annual Reviews in Control*, Vol. 39, 2015, pp. 128-143.
- Agrawal, Dharma Prakash (2017) „Embedded Sensor Systems“, Singapore: Springer, 2017.
- Agre, Philip E. (1995) „The Soul Gained and Lost: Artificial Intelligence as Philosophical Project“, in: *Stanford Humanities Review*, Vol. 4, No. 2, 1995.

Bibliographie

- Agre, Philip E.; Chapman, David (1987) „Pengi: An Implementation of a Theory of Activity“, Proceedings of the Sixth National Conference on Artificial Intelligence, Menlo Park/CA, 1987, pp. 268-272.
- Agre, Philip E.; Horswill, Ian (1997) „Lifeworld Analysis“, in: Journal of Artificial Intelligence Research, Vol. 6, 1997, pp. 111-145.
- Ahmad, Khurshid (2007) „Artificial Ontologies and Real Thoughts: Populating the Semantic Web?“, in: „AI*IA 2007: Artificial Intelligence and Human-Oriented Computing“, ed. by Basili, Roberto; Pazienza, Maria Teresa, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 3-23.
- Ahmad, Mahmood; Odeh, Mohammed (2014) „Blueprint of a Semantic Business Process-Aware Enterprise Information Architecture: The EIAOnt Ontology“, in: „Enterprise Information Systems“, ed. by Hammoudi, Slimane et al., 15th International Conference, ICEIS 2013, Angers, France, July 4-7, 2013, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 520-539.
- Aier, Stephan; Gleichauf, Bettina (2009) „Towards a Sophisticated Understanding of Service Design for Enterprise Architecture“, in: „Service-Oriented Computing - ICSOC 2008 Workshops“, ed. by Feuerlicht, George; Lamersdorf, Winfried, ICSOC 2008, International Workshops, Sydney, Australia, December 1st, 2008, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 316-326.
- Aikins, Janice S. (1984) „A Representation Scheme Using Both Frames and Rules“, in: „Rule-Based Expert Systems“, ed. by Buchanan, B.G.; Shortliffe, E.H., Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1984, pp. 424-440.
- Aitken, Stuart; Curtis, Jon (2002) „A Process Ontology“, in: „Knowledge Engineering and Knowledge Management: Ontologies and the Semantic Web“, ed. by Gómez-Pérez, Asunción; Benjamins, V. Richard, 13th International Conference, EKAW 2002 Sigüenza, Spain, October 1-4, 2002 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 108-113.
- Akanbi, Adeyinka K. (2014) „LB2CO: A Semantic Ontology Framework for B2C eCommerce Transaction on the Internet“, in: International Journal of Research in Computer Science, Vol. 4, No. 1, 2014, pp. 1-9.
- Akif, Jean-Charles (1991) „Consistency Analysis of P.M.S. based on GRAI Modeling“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeingts, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 269-277.
- Akkermans, Hans (2008) „The Business of Ontology Calls for a Formal Pragmatics“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Borgo, Stefano; Lesmo, Leonardo, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 10-16.
- Akkermans, Hans; Baida, Ziv; Gordijn, Jaap; Peña, Nieves; Altuna, Ander; Laresgoiti, Iñaki (2004) „Value Webs: Using Ontologies to Bundle Real-World Services“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 19, No. 4, 2004, pp. 57-66.
- Akkermans, Hans; Wielinga, Bob J.; Schreiber, Guus (1993) „Steps in Constructing Problem Solving Methods“, in: „Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems“, ed. by Aussenac, Nathalie et al., 7th European Workshop, EKAW '93 Toulouse and Caylus, France September 6-10, 1993, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1993, pp. 45-65.
- Akmal, Suriati; Batres, Rafael; Shih, Li-Hsing (2013) „An Ontology-based Approach for Product-Service System Design“, in: „The Philosopher's Stone for Sustainability“, ed. by Shimomura, Yoshiki; Kimita, Koji, Proceedings of the 4th CIRP International Conference on Industrial Product-Service Systems, Tokyo, Japan, November 8th - 9th, 2012, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 67-72.
- Akyildiz, Ian F.; Jornet, Josep M. (2010) „The Internet of Nano-Things“, in: IEEE Wireless Communications, Vol. 17, No. 6, 2010, pp. 58-63.
- Akyildiz, Ian F.; Pierobon, Massimiliano; Balasubramaniam, Sasitharan; Koucheryavy, Yevgeni (2015) „The Internet of Bio-Nano Things“, in: IEEE Communications Magazine, Vol. 53, No. 3, 2015, pp. 32-40.
- Al Ali, Rima; Bures, Tomas; Gerostathopoulos, Ilias; Hnetyinka, Petr; Keznikl, Jaroslav; Kit, Michal; Plasil, Frantisek (2014) „DEECo: An Ecosystem for Cyber-Physical Systems“, Companion Proceedings of the 36th International Conference on Software Engineering (ICSE Companion 2014), Hyderabad/India, May 31 - June 07, 2014, pp. 610-611.
- Al Shargi, Hanan; Berkovich, Simon (2009) „Biological Information Processing As Cloud Computing“, Second International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies (ICADIWT '09), 2009, pp. 417-422.
- Al-Debei, Mutaz M.; Al Asswad, Mohammad Mourhaf; De Cesare, Sergio; Lycett, Mark (2012) „Conceptual Modelling and the Quality of Ontologies: Endurantism vs. Perdurantism“, in: International Journal of Database Management Systems, Vol. 4, No. 3, 2012, pp. 1-19.
- Al-Debei, Mutaz M.; Fitzgerald, Guy (2009) „OntoEng: A Design Method for Ontology Engineering in Information Systems“, Proceedings of the ACM OOPSLA'09, ODiSE 2009, Orlando/Florida, 2009, pp. 1-25.

Bibliographie

- Al-Jaroodi, Jameela; Mohamed, Nader (2012) „Service-Oriented Middleware: A Survey“, in: *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 35, No. 1, 2012, pp. 211-220.
- Al-Jumeily, Dhiya; Al-Zawi, Mohamad; Hussain, Abir Jaafar; Dobre, Ciprian (2014) „Adaptive Pipelined Neural Network Structure in Self-aware Internet of Things“, in: „Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments“, ed. by Bessis, Nik; Dobre, Ciprian, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 111-136.
- Al-Zubaide, Hadeel; Issa, Ayman A. (2011) „OntBot: Ontology based Chatbot“, *Fourth International Symposium on Innovation in Information & Communication Technology (ISIICT)*, 29 Nov.-1 Dec., 2011, pp. 7-12.
- Alam, Kazi M.; Saini, Mukesh; El Saddik, Abdulmotaleb (2014) „tNote: A Social Network of Vehicles under Internet of Things“, in: „Internet of Vehicles - Technologies and Services“, ed. by Hsu, Ching-Hsien; Shangguang, Wang, *First International Conference, IOV 2014, Beijing, China, September 1-3, 2014, Proceedings*, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 227-236.
- Alam, Sarfraz; Chowdhury, Mohammad M.R.; Noll, Josef (2010) „SenaaS: An Event-Driven Sensor Virtualization Approach for Internet of Things Cloud“, *IEEE International Conference on Networked Embedded Systems for Enterprise Applications (NESEA)*, Suzhou/China, 25-26 Nov., 2010, pp. 1-6.
- Albani, Antonia; Dietz, Jan L.G. (2009) „Benefits of Enterprise Ontology for the Development of ICT-Based Value Networks“, in: „Software and Data Technologies“, ed. by Filipe, Joaquim et al., *Second International Conference, ICSoft/ENASE 2007, Barcelona, Spain, July 22-25, 2007, Revised Selected Papers*, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 3-22.
- Albani, Antonia; Dietz, Jan L.G. (2011) „Enterprise Ontology Based Development of Information Systems“, in: *International Journal of Internet and Enterprise Management*, Vol. 7, No. 1, 2011, pp. 41-63.
- Albani, Antonia; Terlouw, Linda; Hardjosumarto, Gde; Dietz, Jan L.G. (2009) „Enterprise Ontology Based Service Definition“, *Proceedings of the 4th International Workshop on Value Modeling and Business Ontologies (VMBO 2009)*, Amsterdam/The Netherlands, 2009.
- Albert, Hans (1968) „Traktat über Kritische Vernunft“, 2., unveränd. Aufl., Tübingen: Mohr, 1969.
- Albert, Hans (1973) „Konstruktivismus oder Realismus? Bemerkungen zu Holzkamps dialektischer Überwindung der modernen Wissenschaftslehre“, in: „Kritik der kritischen Psychologie“, hrsg. v. Albert, Hans; Keuth, Herbert, Hamburg: Hoffmann und Campe, 1973, S. 9-40.
- Albert, Hans (1976) „Erkenntnis, Sprache und Wirklichkeit. Der kritische Realismus und das Problem der Erkenntnis“, in: „Sprache und Erkenntnis“, hrsg. v. Kanitscheider, Bernulf, Innsbruck: AMOE, 1976, S. 39-53.
- Albert, Hans (1980) „Die Wissenschaft und die Suche nach Wahrheit. Der kritische Realismus und seine Konsequenzen für die Methodologie“, in: „Fortschritt und Rationalität der Wissenschaft“, hrsg. v. Radnitzky, Gerard; Andersson, Gunnar, Tübingen: Mohr, 1980, S. 221-246.
- Albert, Hans (1982) „Die Wissenschaft und die Fehlbarkeit der Vernunft“, Tübingen: Mohr, 1982.
- Albert, Hans (1987) „Kritik der reinen Erkenntnislehre. Das Erkenntnisproblem in realistischer Perspektive“, Tübingen: Mohr, 1987.
- Albert, Hans (1994) „Kritik der reinen Hermeneutik. Der Antirealismus und das Problem des Verstehens“, Tübingen: Mohr, 1994.
- Albert, Hans (2003) „Erkenntnislehre und Sozialwissenschaft. Karl Poppers Beitrag zur Analyse sozialer Zusammenhänge“, Wien: Picus, 2003.
- Albus, James et al. (2002) „4D/RCS: A Reference Model Architecture For Unmanned Vehicle Systems“, Vers. 2.0, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg/MD, 2002.
- Alevizos, Elias; Artikis, Alexander (2014) „Being Logical or Going with the Flow? A Comparison of Complex Event Processing Systems“, in: „Artificial Intelligence: Methods and Applications“, ed. by Likas, Aristidis et al., *8th Hellenic Conference on AI, SETN 2014, Ioannina/Greece, May 15-17, 2014, Proceedings*, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 460-474.
- Alexaki, Sofia et al. (2000) „Managing RDF Metadata for Community Webs“, in: „Conceptual Modeling for E-Business and the Web“, ed. by Liddle, Stephen W. et al., *ER 2000 Workshops on Conceptual Modeling Approaches for E-Business and The World Wide Web and Conceptual Modeling*, Salt Lake City, Utah, USA, October 9-12, 2000, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2000, pp. 140-151.
- Alexakos, Christos; Kalogeras, Athanasios P. (2015) „Internet of Things Integration to a Multi Agent System Based Manufacturing Environment“, *IEEE 20th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*, Luxembourg, 8-11 Sept., 2015, pp. 1-8.
- Alexander, James H.; Freiling, Michael J.; Shulman, Sheryl J.; Staley, Jeffrey L.; Rehfuss, Steven; Messick, Steven L. (1986) „Knowledge Level Engineering: Ontological Analysis“, in: *Proceedings of AAAI-86*.

Bibliographie

- Proceedings of the 5th National Conference on Artificial Intelligence, Los Altos: Morgan Kaufmann, 1986, pp. 963-968.
- Alexander, Samuel (1912) „The Method of Metaphysics; and the Categories“, in: *Mind*, Vol. 21, No. 81, 1912, pp. 1-20.
- Alexander, Samuel (1914) „The Basis of Realism“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1914.
- Alexander, Samuel (1920) „Space, Time, and Deity. The Gifford Lectures at Glasgow 1916-1918“, (2 Vols.), London: Macmillan, 1920.
- Alexopoulos, Kosmas; Makris, Sotiris; Xanthakis, Vangelis; Sipsas, Konstantinos; Liapis, Aggelos; Chryssolouris, George (2014) „Towards a Role-Centric and Context-Aware Information Distribution System for Manufacturing“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 25, 2014, pp. 377-384.
- Alhakhbani, Noura; Hassan, Mohammed Mehedi; Ykhlef, Mourad (2017) „An Effective Semantic Event Matching System in the Internet of Things (IoT) Environment“, in: *Sensors*, Vol. 17, No. 9, Art. 2014, 2017, pp. 1-19.
- Ali, Muhammad I.; Ono, Naomi; Kaysar, Mahedi; Griffin, Keith; Mileo, Alessandra (2015) „A Semantic Processing Framework for IoT-Enabled Communication Systems“, in: „The Semantic Web - ISWC 2015“, ed. by Arenas, Marcelo et al., 14th International Semantic Web Conference, Bethlehem, PA, USA, October 11-15, 2015, Proceedings, Part II, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 241-258.
- Ali, Najah A.; Aleyadeh, Wesam; AbuElkhair, Mervat (2016) „Internet of Nano-Things Network Models and Medical Applications“, *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, Paphos/Cyprus, 5-9 Sept., 2016, pp. 211-215.
- Alippi, Cesare (2014) „Intelligence for Embedded Systems: A Methodological Approach“, Cham et al.: Springer, 2014.
- Allemang, Dean; Hendler, James A. (2011) „Semantic Web for the Working Ontologist. Effective Modeling in RDFS and OWL“, 2nd ed., Amsterdam et al.: Elsevier, 2011.
- Allen, Eric; Edwards, Geoffrey; Bédard, Yvan (1995) „Qualitative Causal Modeling in Temporal GIS“, in: „Spatial Information Theory. A Theoretical Basis for GIS“, ed. by Frank, Andrew U.; Kuhn, Werner, International Conference COSIT '95 Semmering, Austria, September 21-23, 1995 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1995, pp. 397-412.
- Allen, Gove N.; March, Salvatore T. (2000) „The Ontological Treatment of the 'Event' Construct: Implications for System Analysis and Design“, *Fifth Symposium On Research In Systems Analysis and Design*, Vancouver Canada, May 13-14, 2000.
- Allen, Gove N.; March, Salvatore T. (2006) „The Effects of State-Based and Event-Based Data Representation on User Performance in Query Formulation Tasks“, in: *MIS Quarterly*, Vol. 30, No. 2, 2006, pp. 269-290.
- Allen, Gove N.; March, Salvatore T. (2008) „A Critical Assessment of the Bunge-Wand-Weber Ontology for Conceptual Modeling“, *Workshop on Information Technologies and Systems*, Milwaukee, WI, Dec. 9-10, 2006; *Social Science Research Network (SSRN), Working Paper Series*, last revised: May 16, 2008.
- Allen, James F. (1983) „Maintaining Knowledge about Temporal Intervals“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 26, No. 11, 1983, pp. 832-843.
- Allen, James F. (1984) „Towards a General Theory of Action and Time“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 23, No. 2, 1984, pp. 123-154.
- Allen, James F.; Ferguson, George (1994) „Actions and Events in Interval Temporal Logic“, in: *Journal of Logic and Computation*, Vol. 4, No. 5, 1994, pp. 531-579.
- Allen, Peter M. (1981) „The Evolutionary Paradigm of Dissipative Structures“, in: „The Evolutionary Vision. Toward a Unifying Paradigm of Physical, Biological, and Sociocultural Evolution“, ed. by Jantsch, Erich, Boulder/Col.: Westview Pr., 1981, pp. 25-72.
- Allen, Peter M. (1985) „Towards a New Science of Complex Systems“, in: „The Science and Praxis of Complexity“, ed. by Aida, Shuhei, Contributions to the Symposium Held at Montpellier, France, 9-11 May, 1984, Tokyo: The United Nations Univ., 1985, pp. 268-297.
- Allen, Peter M. (1998) „Evolving Complexity in Social Science“, in: „Systems. New Paradigms for the Human Sciences“, ed. by Altmann, Gabriel; Koch, Walter A., Berlin, New York: De Gruyter, 1998, pp. 3-38.
- Allen, Peter M. (2000) „Knowledge, Ignorance, and Learning“, in: *Emergence*, Vol. 2, No. 4, 2000, pp. 78-103.
- Allen, Peter M. (2001a) „What Is Complexity Science? Knowledge of the Limits to Knowledge“, in: *Emergence*, Vol. 3, No. 1, 2001, pp. 24-42.

Bibliographie

- Allen, Peter M. (2001b) „Knowledge, Ignorance and the Evolution of Complex Systems“, in: „Frontiers of Evolutionary Economics. Competition, Self-Organization and Innovation Policy“, ed. by Foster, John; Metcalfe, J. Stanley, Cheltenham/Glos et al.: Elgar, 2001, pp. 313-350.
- Allen, Peter M.; Torrens, Paul M. (2005) „Knowledge and Complexity“, in: *Futures*, Vol. 37, No. 7, 2005, pp. 581-584.
- Allo, Patrick (2010) „Putting Information First: Luciano Floridi and the Philosophy of Information“, in: *Metaphilosophy*, Vol. 41, No. 3, 2010, pp. 247-254.
- Allori, Valia (2013) „Primitive Ontology and the Structure of Fundamental Physical Theories“, in: „The Wave Function: Essays On The Metaphysics Of Quantum Mechanics“, ed. by Ney, Alyssa; Albert, David Z., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2013, pp. 58-75.
- Allweyer, Thomas (2009) „BPMN 2.0 - Business Process Model and Notation. Einführung in den Standard für die Geschäftsprozessmodellierung“, 2., aktual. u. erw. Aufl., Norderstedt: Books on Demand, 2009.
- Almeida, Mauricio B.; Andrade, André Q.; Mendonça, Fabrício M. (2012) „Epistemology and Medical Records: an Applied Evaluation“, in: „ONTOBRAS-MOST 2012. Joint V Seminar on Ontology Research in Brazil and VII International Workshop on Metamodels, Ontologies and Semantic Technologies“, ed. by Malucelli, Andrea; Bax, Marcello, 2012, pp. 13-24.
- Alsafi, Yazen; Vyatkin, Valeriy (2010) „Ontology-based Reconfiguration Agent for Intelligent Mechatronic Systems in Flexible Manufacturing“, in: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 26, No. 4, 2010, pp. 381-391.
- Altinel, Mehmet; Franklin, Michael J. (2000) „Efficient Filtering of XML Documents for Selective Dissemination of Information“, *Proceedings of the 26th International Conference on VLDB*, Cairo, 10-14 September, 2000, pp. 53-64.
- Álvarez, Jose María; Campos López, Antonio (2009) „Integration and Interoperability on Service Oriented Architectures using Semantics“, in: „ICWE 2009 Doctoral Consortium“, ed. by Rossi, Gustavo, *Proceedings of the Doctoral Consortium of the International Conference on Web Engineering*, in conjunction with ICWE'2009, San Sebastian, Spain, June 22, 2009.
- Alwadain, Ayed; Korthaus, Axel; Fiel, Erwin; Rosemann, Michael (2010) „Integrating SOA into an Enterprise Architecture: A Comparative Analysis of Alternative Approaches“, 2010.
- Aly, Heba; Elmogy, Mohammed; Barakat, Shereif (2015) „Big Data on Internet of Things: Applications, Architecture, Technologies, Techniques, and Future Directions“, in: *International Journal of Computer Science Engineering*, Vol. 4, No. 6, 2015, pp. 300-313.
- Ambrose, Alice (1949) „Everett J. Nelson on 'The Relation of Logic to Metaphysics'“, in: *Philosophical Review*, Vol. 58, No. 1, 1949, pp. 12-15.
- Ambroszkiewicz, Stanislaw; Ambroszkiewicz, Anna; Bartyna, Waldemar; Baranski, Mirosław; Faderewski, Marek et al. (2014) „A Platform for Development of Electronic Markets of Sophisticated Business Services“, in: „Advanced SOA Tools and Applications“, ed. by Ambroszkiewicz, Stanislaw et al., Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 73-124.
- Ameri, Farhad; Dutta, Debasish (2005) „Product Lifecycle Management: Closing the Knowledge Loops“, in: *Computer-Aided Design & Applications*, Vol. 2, No. 5, 2005, pp. 577-590.
- Ameri, Farhad; Dutta, Debasish (2006) „An Upper Ontology for Manufacturing Service Description“, *ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Vol. 3, 2006, pp. 651-661.
- Américo, Azevedo; António, Almeida (2011) „Factory Templates for Digital Factories Framework“, in: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 27, 2011, pp. 755-771.
- Amir, Eyal (2002) „Projection in Decomposed Situation Calculus“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Fensel, Dieter et al., *Proceedings of the Eighth International Conference (KR2002)*, Toulouse, France, April 22-25, 2002, San Francisco/Calif.: Morgan Kaufmann, 2002, pp. 315-326.
- Ammon, Rainer von (2011) „From Event-Driven Business Process Management to Ubiquitous Complex Event Processing“, Working Paper, 2011.
- Ammon, Rainer von; Emmersberger, Christoph; Ertlmaier, Thomas; Etzion, Opher; Paulus, Thomas; Springer, Florian (2009) „Existing and Future Standards for Event-Driven Business Process Management“, *Proceedings of the Third ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems (DEBS '09)*, Article No. 24, 2009.
- Ammon, Rainer von; Emmersberger, Christoph; Springer, Florian; Wolff, Christian (2008) „Event-Driven Business Process Management and its Practical Application Taking the Example of DHL“, in: „iCEP08. 1st International Workshop on Complex Event Processing for the Future Internet“, ed. by Anicic, Darko et

Bibliographie

- al., Proceedings of the 1st iCEP08 Workshop on Complex Event Processing for the Future Internet Vienna, Austria, September 28th, 2008.
- Amodio, Carla Cristina; Cziulik, Carlos; Ugaya, Cássia; Fernandes, Ederson; Siqueira, Fábio; Rozenfeld, Henrique et al. (2008) „Ontologia PLM Project: Development and Preliminary Results“, in: „Collaborative Product and Service Life Cycle Management for a Sustainable World“, ed. by Curran, Richard et al., Proceedings of the 15th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (CE2008), London: Springer, 2008, pp. 503-511.
- Amsterdamski, Stefan (1975) „Between Experience and Metaphysics. Philosophical Problems of the Evolution of Science“, Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1975.
- An, Jia; Chua, Chee Kai; Mironov, Vladimir (2016) „A Perspective on 4D Bioprinting“, in: International Journal of Bioprinting, Vol. 2, No. 1, 2016, pp. 3-5.
- An, Yuan; Hu, Xiaohua; Song, Il-Yeol (2010) „Maintaining Mappings between Conceptual Models and Relational Schemas“, in: Journal of Database Management, Vol. 21, No. 3, 2010, pp. 36-68.
- Anaby-Tavor, Ateret et al. (2010) „Insights into Enterprise Conceptual Modeling“, in: Data & Knowledge Engineering, Vol. 69, 2010, pp. 1302-1318.
- Anderl, Reiner; Pfouga, Alain; Vettermann, Steven (2003) „Integriertes Produkt- und Prozessmanagement kollaborativer Engineering-Prozesse“, in: Industrie Management, Bd. 19, Nr. 5, 2003, S. 13-16.
- Anderl, Reiner; Picard, André; Albrecht, Katharina (2013) „Smart Engineering for Smart Products“, in: „Smart Product Engineering“, ed. by Abramovici, Michael; Stark, Rainer, Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference, Bochum, Germany, March 11th-13th, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 1-10.
- Andersen, William; Menzel, Christopher (2004) „Modal Rigidity in the OntoClean Methodology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 119-127.
- Anderson, John R. (1983) „The Architecture of Cognition“, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1983.
- Anderson, John R. (1986) „Knowledge Compilation: The General Learning Mechanism“, in: „Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach: Volume II“, ed. by Michalski, Ryszard S. et al., Los Altos/CA: Morgan Kaufmann, 1986, pp. 289-310.
- Anderson, John R. (1991) „The Place of Cognitive Architectures in Rational Analysis“, in: „Architectures for Intelligence“, ed. by VanLehn, Kurt, Hillsdale/NJ et al.: Lawrence Erlbaum, 1991, pp. 1-24.
- Anderson, Michael L. (2003) „Embodied Cognition: A Field Guide“, in: Artificial Intelligence, Vol. 149, No. 1, 2003, pp. 91-130.
- Anderson, Philip W. (1972) „More Is Different: Broken Symmetry and the Nature of the Hierarchical Structure of Science“, in: Science (America), Vol. 177, No. 4047, 4 August, 1972, pp. 393-396.
- Anderson, Philip W. (1991) „Is Complexity Physics? Is It Science? What is It?“, in: Physics Today, Vol. 44, No. 7, 1991, pp. 9-10.
- Anderson, Philip W. (1992) „Complexity II: The Santa Fe Institute“, in: Physics Today, Vol. 45, No. 6, 1992, pp. 9-10.
- Anderson, Philip W. (1994) „The Eightfold Way to the Theory of Complexity: A Prologue“, in: „Complexity. Metaphors, Models, and Reality“, ed. by Cowan, George A.; Pines, David; Meltzer, David, Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Vol. 19, Reading/Mass.: Perseus Books, 1994, pp. 7-16.
- Anderson, Philip W. (1995) „Viewpoint: The Future“, in: Science (America), Vol. 267, 17 March, 1995, pp. 1617-1618.
- Anderson, Philip W. (1997) „Is Measurement Itself an Emergent Property?“, in: Complexity, Vol. 3, No. 1, 1997, pp. 14-16.
- Andersson, Birger; Bergholtz, Maria; Edirisuriya, Ananda; Ilayperuma, Tharaka; Johannesson, Paul et al. (2006) „Towards a Common Ontology for Business Models“, in: „EMOI - INTEROP'06. Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability“, ed. by Missikoff, Michele et al., Proceedings of the Open Interop Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability, Co-located with CAiSE'06 Conference, Luxembourg, 5th-6th June, 2006.
- Andersson, Birger; Bergholtz, Maria; Johannesson, Paul (2012) „Resource, Process, and Use - Views on Service Modeling“, in: „Advances in Conceptual Modeling“, ed. by Castano, Silvana et al., ER 2012 Workshops CMS, ECDM-NoCoDA, MoDIC, MORE-BI, RIGiM, SeCoGIS, WISM, Florence, Italy, October 15-18, 2012. Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 23-33.
- Ando, Takatura (1963) „Metaphysics. A Critical Survey of its Meaning“, 2nd enl. ed., The Hague: Nijhoff, 1974.

Bibliographie

- Andreeva, Elena; Poletaeva, Tatiana; Abdulrab, Habib; Babkin, Eduard (2015) „One Solution for Semantic Data Integration in Logistics“, in: „Enterprise and Organizational Modeling and Simulation“, ed. by Barjis, Joseph et al., 11th International Workshop, EOMAS 2015, Held at CAiSE 2015, Stockholm, Sweden, June 8-9, 2015, Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 75-86.
- Andrienko, Gennady et al. (2010) „Space, Time and Visual Analytics“, in: *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 24, No. 10, 2010, pp. 1577-1600.
- Angele, Jürgen; Fensel, Dieter; Landes, Dieter; Studer, Rudi (1998) „Developing Knowledge-Based Systems with MIKE“, in: *Automated Software Engineering*, Vol. 5, No. 4, 1998, pp. 389-418.
- Angele, Jürgen; Kifer, Michael; Lausen, Georg (2009) „Ontologies in F-Logic“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 45-70.
- Angeles, Peter A. (1981) „Dictionary of Philosophy“, New York et al.: Harper & Row, 1981.
- Anicic, Darko; Fodor, Paul; Rudolph, Sebastian; Stojanovic, Nenad (2011) „EP-SPARQL: A Unified Language for Event Processing and Stream Reasoning“, *Proc. World Wide Web Conf., ACM*, 2011, pp. 635-644.
- Anjum, Najam A.; Harding, Jennifer A.; Young, Robert I.M.; Case, Keith (2012) „Mediation of Foundation Ontology Based Knowledge Sources“, in: *Computers in Industry*, Vol. 63, No. 5, 2012, pp. 433-442.
- Anjum, Najam A.; Harding, Jennifer A.; Young, Robert I.M.; Case, Keith; Usman, Zahid; Chungoora, Nitishal (2013) „Verification of Knowledge Shared Across Design and Manufacture Using a Foundation Ontology“, in: *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 22, 2013, pp. 6534-6552.
- Anke, Jürgen; Neugebauer, Mario; Eisenreich, Katrin; Do, Hong-Hai; Hackenbroich, Gregor (2007) „A Middleware for Real-world Aware PLM Applications“, *ITG-GI Conference Communication in Distributed Systems (KiVS)*, Bern/Switzerland, Feb. 26-March 2, 2007, pp. 1-12.
- Anke, Jürgen; Wolf, Bernhard; Hackenbroich, Gregor et al. (2008) „PROMISE: Product Lifecycle Management and Information Tracking Using Smart Embedded Systems“, in: „Handbook of Research on Ubiquitous Computing Technology for Real Time Enterprises“, ed. by Mühlhäuser, Max; Gurevych, Iryna, Hershey/PA: Information Science Reference, 2008, pp. 559-566.
- Annamalai, Gokula; Hussain, Romana; Cakkol, Mehmet; Roy, Rajkumar; Evans, Stephen; Tiwari, Ashutosh (2011a) „An Ontology for Product-Service Systems“, in: „Functional Thinking for Value Creation“, ed. by Hesselbach, Jürgen; Herrmann, Christoph, *Proceedings of the 3rd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems*, Technische Univ. Braunschweig, Braunschweig/Germany, May 5th-6th, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 231-236.
- Annamalai, Gokula; Roy, Rajkumar; Cakkol, Mehmet (2011b) „Problem Definition in Designing Product-Service Systems“, in: „Functional Thinking for Value Creation“, ed. by Hesselbach, Jürgen; Herrmann, Christoph, *Proceedings of the 3rd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems*, Technische Univ. Braunschweig, Braunschweig/Germany, May 5th-6th, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 105-110.
- Antoniou, Grigoris; Franconi, Enrico; Van Harmelen, Frank (2005) „Introduction to Semantic Web Ontology Languages“, in: „Reasoning Web“, ed. by Eisinger, Norbert; Maluszynski, Jan, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 1-21.
- Antoniou, Grigoris; Van Harmelen, Frank (2009) „Web Ontology Language: OWL“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 91-110.
- Antunes, Gonçalo; Bakhshandeh, Marzieh; Mayer, Rudolf; Borbinha, José; Caetano, Artur (2014) „Using Ontologies for Enterprise Architecture Integration and Analysis“, in: *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*, No. 1, 2014, pp. 1-23.
- Ao, Zhuoyun; Scholz, Jason; Oxenham, Martin (2014) „A Scientific Inquiry Fusion Theory for High-Level Information Fusion“, *17th Int. Conference on Information Fusion, FUSION 2014*, Salamanca, Spain, July 7-10, 2014, pp. 1-8.
- Apostel, Léo (1963) „Can Metaphysics be a Science?“, in: *Studia Philosophica Gandensia*, Vol. 1, 1963, pp. 7-95.
- Aquino, Nathalie; Vanderdonckt, Jean; Panach, José Ignacio; Pastor, Óscar (2011) „Conceptual Modelling of Interaction“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 335-358.
- Aram, Shiva; Eastman, Chuck (2013) „Integration of PLM Solutions and BIM Systems for the AEC Industry“, *2013 Proceedings of the 30th ISARC*, Montréal, Canada, 2013, pp. 1046-1055.
- Arantes, Lucas De Oliveira; Falbo, Ricardo De Almeida; Guizzardi, Giancarlo (2007) „Evolving a Software Configuration Management Ontology“, *Proceedings of the 2nd Workshop on Ontologies and Metamodeling Software and Data Engineering*, Brazil, 2007.

Bibliographie

- Aras (2008) „The Aras Innovator Advanced Model-based Enterprise SOA for PLM. Combining the Model-based Approach with the Service-Oriented Architecture“, White Paper, 2008.
- Arasu, Arvind; Babu, Shivnath; Widom, Jennifer (2006) „The CQL Continuous Query Language: Semantic Foundations and Query Execution“, in: *The VLDB Journal*, Vol. 15, No. 2, 2006, pp. 121-142.
- Arbab, Farhad (2006) „Computing and Interaction“, in: „Interactive Computation: The New Paradigm“, ed. by Goldin, Dina et al., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 9-23.
- Ardito, Carmelo; Barricelli, Barbara Rita; Buono, Paolo; Costabile, Maria Francesca; Lanzilotti, Rosa et al. (2011) „An Ontology-Based Approach to Product Customization“, in: „End-User Development“, ed. by Costabile, Maria Francesca et al., Third International Symposium, IS-EUD 2011, Torre Canne (BR), Italy, June 7-10, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 92-106.
- Ares, Juan Ares; Pazos, Juan (1998) „Conceptual Modelling: An Essential Pillar for Quality Software Development“, in: *Knowledge-Based Systems*, Vol. 11, 1998, pp. 87-104.
- Aristoteles (An.) „Über die Seele“, (*De Anima*), Hamburg: Meiner, 1995.
- Aristoteles (An.post.) „Analytica posteriora“, Turnhout: Brepols, 2011.
- Aristoteles (An.pr.) „Lehre vom Schluss oder Erste Analytik <des Organon dritter Teil>“, hrsg. v. Rolfes, Eugen, (*Analytica priora*), Leipzig: Meiner, 1922.
- Aristoteles (Cael.) „Über den Himmel - Über Werden und Vergehen“, Paderborn: Schöningh, 1958.
- Aristoteles (Cat.) „Kategorien“, (*Categoriae*), übers. u. erläutert von Klaus Oehler, 3., durchges. u. unveränd. Aufl., Darmstadt: Wiss. Buchges., 1997.
- Aristoteles (Met.) „Metaphysik“, (*Metaphysica*), 3. Aufl., übers. v. Hermann Bonitz u. neu hrsg. v. Ursula Wolf, Rowohlt: Reinbek, 2002.
- Aristoteles (Phys.) „Physik. Vorlesung über Natur“, (*Physica*), übers., mit e. Einf. u. mit Anm. hrsg. von Hans Günter Zekl (2 Bde.), Hamburg: Meiner, 1987.
- Aristoteles (Pol.) „Politik“, (*Politica*), 8. Aufl., München: Dt. Taschenbuch-Verl., 1998.
- Armstrong, David M. (1973) „Belief, Truth and Knowledge“, London et al.: Cambridge Univ. Pr., 1973.
- Armstrong, David M. (1978a) „Naturalism, Materialism and First Philosophy“, in: *Philosophia*, Vol. 8, No. 2, 1978, pp. 261-276.
- Armstrong, David M. (1978b) „Universals and Scientific Realism“, 2 Vols.; Vol. 1: Nominalism and Realism, Vol. 2: A Theory of Universals, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1978.
- Armstrong, David M. (1980) „Identity Through Time“, in: „Time and Cause. Essays presented to Richard Taylor“, ed. by Van Inwagen, Peter, Dordrecht: Springer, 1980, pp. 67-78.
- Armstrong, David M. (1989) „Universals. An Opinionated Introduction“, Boulder et al.: Westview Pr., 1989.
- Armstrong, David M. (1992) „Properties“, in: „Language, Truth and Ontology“, ed. by Mulligan, Kevin, Dordrecht et al.: Kluwer, 1992, pp. 14-27.
- Armstrong, David M. (1997) „A World of States of Affairs“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1997.
- Armstrong, David M. (2010) „Reinhardt Grossmann's Ontology“, in: „Studies in the Ontology of Reinhardt Grossmann“, ed. by Cumpa, Javier, Frankfurt/Main: Ontos, 2010, pp. 29-43.
- Arnheim, Rudolf (1974) „On Order, Simplicity and Entropy“, in: *Leonardo*, Vol. 7, No. 2, 1974, pp. 139-141.
- Arnold, Volker; Dettmering, Hendrik; Engel, Torsten; Karcher, Andreas (2011) „Product Lifecycle Management beherrschen“, 2., neu bearb. Aufl., Berlin et al.: Springer, 2011.
- Arp, Robert (2010) „Ontology: Not Just for Philosophers Anymore“, in: *Practical Philosophy*, Vol. 10, No. 1, 2010, pp. 80-102.
- Arp, Robert; Smith, Barry (2008) „Function, Role, and Disposition in Basic Formal Ontology“, in: *Nature Precedings*, 2008.
- Arp, Robert; Smith, Barry (2011) „Realizable Entities in Basic Formal Ontology“, 2011.
- Arp, Robert; Smith, Barry; Spear, Andrew D. (2015) „Building Ontologies with Basic Formal Ontology“, Cambridge/Mass. et al.: MIT Pr., 2015.
- Artale, Alessandro; Franconi, Enrico; Guarino, Nicola; Pazzi, Luca (1996) „Part-Whole Relations in Object-centered Systems: An Overview“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 20, No. 3, 1996, pp. 347-383.
- Arthur, W. Brian (1988a) „Self-Reinforcing Mechanisms in Economics“, in: „The Economy as an Evolving Complex System“, ed. by Anderson, Philip W.; Arrow, Kenneth J.; Pines, David, Redwood City/Cal.: Addison-Wesley, 1988, pp. 9-31.
- Arthur, W. Brian (1988b) „Competing Technologies: An Overview“, in: „Technical Change and Economic Theory“, ed. by Dosi, Giovanni et al., London, New York: Pinter, 1988, pp. 590-607.

Bibliographie

- Arthur, W. Brian (1988c) „Brian Arthur, SFI Visiting Fellow“, in: Bulletin of the Santa Fe Institute, Vol. 3, No. 1, 1988, pp. 6-7.
- Arthur, W. Brian (1989a) „Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events“, in: Economic Journal, Vol. 99, No. 394, 1989, pp. 116-131.
- Arthur, W. Brian (1989b) „The Economy and Complexity“, in: „Lectures in the Sciences of Complexity“, ed. by Stein, Daniel L., Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Lectures Vol. 1, Redwood City/Calif. et al.: Addison-Wesley, 1989, pp. 713-740.
- Arthur, W. Brian (1991) „Designing Economic Agents that Act like Human Agents: A Behavioral Approach to Bounded Rationality“, in: American Economic Review, Vol. 81, No. 2, Papers and Proceedings, 1991, pp. 353-359.
- Arthur, W. Brian (1993a) „On Designing Economic Agents that Behave like Human Agents“, in: Journal of Evolutionary Economics, Vol. 3, No. 1, 1993, pp. 1-22.
- Arthur, W. Brian (1993b) „Why Do Things Become More Complex?“, in: Scientific American, Vol. 268, No. 5, May, 1993, p. 92.
- Arthur, W. Brian (1995) „Complexity in Economics and Financial Markets“, in: Complexity, Vol. 1, No. 1, 1995, pp. 20-25.
- Arthur, W. Brian (1999) „Complexity and the Economy“, in: Science (America), Vol. 284, 2 April, 1999, pp. 107-109.
- Arthur, W. Brian (2006) „Out-of-Equilibrium Economics and Agent-Based Modeling“, in: „Handbook of Computational Economics. Vol. 2: Agent-Based Computational Economics“, ed. by Tesfatsion, Leigh; Judd, Kenneth L., Amsterdam et al.: North-Holland, 2006, pp. 1551-1564.
- Arthur, W. Brian; Durlauf, Steven N.; Lane, David A. (1997) „Introduction: Process and Emergence in the Economy“, in: „The Economy as an Evolving Complex System II“, ed. by Arthur, W. Brian; Durlauf, Steven N.; Lane, David A., Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1997, pp. 1-14.
- Arthur, W. Brian; Holland, John H.; LeBaron, Blake; Palmer, Richard; Tayler, Paul (1996) „Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market“, Santa Fe Institute Working Paper No. 96-12-093, 1996.
- Artmann, Stefan (2003) „Artificial Life as a Structural Science“, in: Philosophia Naturalis, Bd. 40, Nr. 2, 2003, S. 183-205.
- Artmann, Stefan (2007) „Biosemiotics as a Structural Science. Between the Forms of Life and the Life of Forms“, in: „Biosemiotics. Information, Codes and Signs in Living Systems“, ed. by Barbieri, Marcello, Hauppauge/NY: Nova Science Publ., 2007, pp. 179-205.
- Artmann, Stefan (2010) „Historische Epistemologie der Strukturwissenschaften“, München: Fink, 2010.
- Aschenwald, Jannette; Fink, Stefan; Tappeiner, Gottfried (2001) „Brave New Modeling: Cellular Automata and Artificial Neural Networks for Mastering Complexity in Economics“, in: Complexity, Vol. 7, No. 1, 2001, pp. 39-47.
- Ashburner, Michael; Ball, Catherine A.; Blake, Judith A.; Botstein, David; Butler, Heather; Cherry, J. Michael et al. (2000) „Gene Ontology: Tool for the Unification of Biology“, in: Nature Genetics, Vol. 25, No. 1, 2000, pp. 25-29.
- Ashby, W. Ross (1947) „Principles of the Self-Organizing Dynamic System“, in: Journal of General Psychology, Vol. 37, 1947, pp. 125-128.
- Ashby, W. Ross (1957) „An Introduction to Cybernetics“, 2nd Impress., London: Chapman and Hall, 1957.
- Ashby, W. Ross (1958) „Requisite Variety and its Implications for the Control of Complex Systems“, in: Cybernetica, Vol. 1, No. 2, 1958, pp. 83-99.
- Ashby, W. Ross (1963) „Cybernetics Today and Its Future Contribution to the Engineering Sciences“, in: General Systems. Yearbook of the Society for the Advancement of General Systems Theory, Vol. 8, 1963, pp. 207-212.
- Ashenurst, Robert L. (1996) „Ontological Aspects of Information Modeling“, in: Minds and Machines, Vol. 6, No. 3, 1996, pp. 287-394.
- Ashraf, Jamshaid; Cyganiak, Richard; O'Riain, Sean; Hadzic, Maja (2011) „Open eBusiness Ontology Usage: Investigating Community Implementation of GoodRelations“, in: „LDOW-2011. Linked Data on the Web 2011“, ed. by Bizer, Christian et al., 2011.
- Ashton, Kevin (2009) „That 'Internet of Things' Thing“, in: RFID Journal, 22 July, 2009.
- Assouroko, Ibrahim; Ducellier, Guillaume; Boutinaud, Philippe; Eynard, Benoît (2014) „Knowledge Management and Reuse in Collaborative Product Development - A Semantic Relationship Management-based Approach“, in: International Journal of Product Lifecycle Management, Vol. 7, No. 1, 2014, pp. 54-74.

Bibliographie

- Assouroko, Ibrahim; Ducellier, Guillaume; Eynard, Benoît; Boutinaud, Philippe (2012) „Semantic Relationship Based Knowledge Management and Reuse in Collaborative Product Development“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 1-13.
- Astor, Jens C.; Adami, Christoph (2000) „A Developmental Model for the Evolution of Artificial Neural Networks“, in: *Artificial Life*, Vol. 6, No. 3, 2000, pp. 189-218.
- Astrova, Irina; Koschel, Arne; Lukanowski, Jan; Martinez, Jose Luis M.; Procenko, Valerij; Schaaf, Marc (2014) „Ontologies for Complex Event Processing“, in: *International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, Vol. 8, No. 5, 2014, pp. 695-705.
- Atmanspacher, Harald (1994) „Complexity and Meaning as a Bridge Across the Cartesian Cut“, in: *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 1, No. 2, 1994, pp. 168-181.
- Atmanspacher, Harald (1996) „Complexity, Meaning and the Cartesian Cut“, in: „Information. New Questions to a Multidisciplinary Concept“, ed. by Kornwachs, Klaus; Jacoby, Konstantin, Berlin: Akad.-Verl., 1996, pp. 229-244.
- Atmanspacher, Harald (1996) „Informationsdynamik als formaler Ansatz für ein interdisziplinäres Wissenschaftsverständnis“, in: „Selbstorganisation. Jahrbuch für Komplexität in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften. Band 6: Realitäten und Rationalitäten“, hrsg. v. Ziemke, Axel; Kaehr, Rudolf, Berlin: Duncker u. Humblot, 1996, S. 177-196.
- Atmanspacher, Harald (2000) „Ontic and Epistemic Descriptions of Chaotic Systems“, in: „Computing Anticipatory Systems: CASYS'99“, ed. by Dubois, Daniel M., Melville/NY: American Institute of Physics, 2000, pp. 465-478.
- Atmanspacher, Harald; Kurths, Jürgen; Scheingraber, Herbert; Wackerbauer, Renate; Witt, Annette (1992) „Complexity and Meaning in Nonlinear Dynamical Systems“, in: *Open Systems and Information Dynamics*, Vol. 1, No. 2, 1992, pp. 269-289.
- Atmanspacher, Harald; Wiedenmann, Gerda; Amann, Anton (1995) „Descartes Revisited. The Endo-Exo-Distinction and Its Relevance for the Study of Complex Systems“, in: *Complexity*, Vol. 1, No. 3, 1995, pp. 15-21.
- Atzori, Luigi; Iera, Antonio; Morabito, Giacomo (2010) „The Internet of Things: A Survey“, in: *Computer Networks*, Vol. 54, No. 15, 2010, pp. 2787-2805.
- Atzori, Luigi; Iera, Antonio; Morabito, Giacomo (2014) „From 'Smart Objects' to 'Social Objects': The Next Evolutionary Step of the Internet of Things“, in: *IEEE Communications Magazine*, Vol. 52, No. 1, 2014, pp. 97-105.
- Atzori, Luigi; Iera, Antonio; Morabito, Giacomo; Nitti, Michele (2012) „The Social Internet of Things (SIoT) - When Social Networks Meet the Internet of Things: Concept, Architecture and Network Characterization“, in: *Computer Networks*, Vol. 56, No. 16, 2012, pp. 3594-3608.
- Auffèves, Alexia; Grangier, Philippe (2016) „Contexts, Systems and Modalities: A New Ontology for Quantum Mechanics“, in: *Foundations of Physics*, Vol. 46, No. 2, 2016, pp. 121-137.
- Augello, Agnese; Pilato, Giovanni; Vassallo, Giorgio; Gaglio, Salvatore (2014) „Chatbots as Interface to Ontologies“, in: „Advances onto the Internet of Things. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful“, ed. by Gaglio, Salvatore; Lo Re, Giuseppe, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 285-299.
- Augustynek, Zdzislaw; Jadacki, Jacek Juliusz (1993) „Possible Ontologies“, Amsterdam et al.: Rodopi, 1993.
- Aune, Bruce (1988) „Action and Ontology“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 54, No. 2, 1988, pp. 195-213.
- Aune, Bruce (1991) „Metaphysics of Analytic Philosophy“, in: „Handbook of Metaphysics and Ontology“, ed. by Burkhardt, Hans; Smith, Barry, Vol. 2, Munich: Philosophia, 1991, pp. 539-543.
- Aurich, Jan C.; Fuchs, Christian; Wagenknecht, Christian (2006) „Life Cycle Oriented Design of Technical Product-Service Systems“, in: *Journal of Cleaner Production*, Vol. 14, No. 17, 2006, pp. 1480-1494.
- Aurich, Jan C.; Schweitzer, Eric; Fuchs, Christian (2007) „Life Cycle Management of Industrial Product-Service Systems“, in: „Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses“, ed. by Takata, Shozo; Umeda, Yasushi, Proceedings of the 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan, June 11th-13th, London et al.: Springer, 2007, pp. 171-176.
- Aurich, Jan C.; Schweitzer, Eric; Mannweiler, Carsten (2008) „Integrated Design of Industrial Product-Service Systems“, in: „Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier“, ed. by Mitsubishi, Mamoru et al., The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems May 26-28, 2008, Tokyo, Japan, London: Springer, 2008, pp. 543-546.

Bibliographie

- Avilés-López, Edgardo; García-Macías, J. Antonio (2009) „TinySOA: A Service-Oriented Architecture for Wireless Sensor Networks“, in: *Service Oriented Computing and Applications*, Vol. 3, No. 2, 2009, pp. 99-108.
- Awad, Ahmed; Sakr, Sherif (2012) „On Efficient Processing of BPMN-Q Queries“, in: *Computers in Industry*, Vol. 63, 2012, pp. 867-881.
- Ayala, Francisco J. (1968) „Biology as an Autonomous Science“, in: *American Scientist*, Vol. 56, No. 3, 1968, pp. 207-221.
- Ayala, Francisco J. (1970) „Teleological Explanations in Evolutionary Biology“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 37, No. 1, 1970, pp. 1-15.
- Ayala, Francisco J. (1974) „The Concept of Biological Progress“, in: „*Studies in the Philosophy of Biology*“, ed. by Ayala, Francisco J.; Dobzhansky, Theodosius, London et al.: Macmillan, 1974, pp. 339-355.
- Ayala, Francisco J. (1977) „'Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution'. Theodosius Dobzhansky: 1900-1975“, in: *Journal of Heredity*, Vol. 68, No. 1, 1977, pp. 3-10.
- Ayala, Francisco J. (1982) „Beyond Darwinism? The Challenge of Macroevolution to the Synthetic Theory of Evolution“, in: *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1982, Volume Two: Symposia and Invited Papers, 1982, pp. 275-291.
- Ayala, Francisco J. (1998) „Teleological Explanations versus Teleology“, in: *History and Philosophy of the Life Sciences*, Vol. 20, No. 1, 1998, pp. 41-50.
- Ayer, Alfred J. (1947) „*Language, Truth and Logic*“, London: Gollancz, 1947.
- Ayer, Alfred J. (1968) „Are all our Common Sense Judgements False?“, in: „*Problems in the Philosophy of Science*“, ed. by Lakatos, Imre; Musgrave, Alan, *Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science*, London, 1965, Vol. 3, Amsterdam: North-Holland, 1968, p. 164.
- Ayers, Michael (1991) „Substance: Prolegomena to a Realist Theory of Identity“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 88, No. 2, 1991, pp. 69-90.
- Azevedo, Carlos L.B.; Iacob, Maria-Eugenia; Almeida, João Paulo A.; Van Sinderen, Marten et al. (2015) „Modeling Resources and Capabilities in Enterprise Architecture: A Well-founded Ontology-based Proposal for ArchiMate“, in: *Information Systems*, Vol. 54, 2015, pp. 235-262.
- Ba, Sulin; Lang, Karl R.; Whinston, Andrew B. (2008) „Compositional Enterprise Modeling and Decision Support“, in: „*Handbook on Decision Support Systems 2*“, ed. by Burstein, Frada; Holsapple, Clyde W., Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 611-636.
- Baader, Franz; Horrocks, Ian; Sattler, Ulrike (2009) „Description Logics“, in: „*Handbook on Ontologies*“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 21-43.
- Baas, Nils A. (1994) „Emergence, Hierarchies, and Hyperstructures“, in: „*Artificial Life III*“, ed. by Langton, Christopher G., Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1994, pp. 515-537.
- Babaie, Hassan A. (2011) „Ontological Relations and Spatial Reasoning in Earth Science Ontologies“, in: „*Societal Challenges and Geoinformatics*“, ed. by Sinha, A. Krishna et al., Boulder/CO: Geological Soc. of America, 2011, pp. 13-27.
- Babcock, Brian; Babu, Shivnath; Datar, Mayur; Motwani, Rajeev; Widom, Jennifer (2002) „Models and Issues in Data Stream Systems“, *Proceedings of the twenty-first ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART Symposium on Principles of Database Systems (PODS '02)*, Madison/WI, June 03-05, 2002, pp. 1-16.
- Babiceanu, Radu F.; Seker, Remzi (2015) „Manufacturing Cyber-Physical Systems Enabled by Complex Event Processing and Big Data Environments: A Framework for Development“, in: „*Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing*“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2015, pp. 165-173.
- Babiceanu, Radu F.; Seker, Remzi (2016) „Big Data and Virtualization for Manufacturing Cyber-Physical Systems: A Survey of the Current Status and Future Outlook“, in: *Computers in Industry*, Vol. 81, 2016, pp. 128-137.
- Bach, Emmon (1986a) „Natural Language Metaphysics“, in: *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, Vol. 114, 1986, pp. 573-595.
- Bach, Emmon (1986b) „The Algebra of Events“, in: *Linguistics and Philosophy*, Vol. 9, No. 1, 1986, pp. 5-16.
- Bach, Emmon; Chao, Wynn (2012) „The Metaphysics of Natural Language(s)“, in: „*Handbook of Philosophy of Science*, Vol. 14: *Philosophy of Linguistics*“, ed. by Kempson, Ruth et al., Amsterdam et al.: North Holland, 2012, pp. 175-196.
- Baclawski, Kenneth; Kokar, Mieczyslaw K.; Matheus, Christopher J.; Letkowski, Jerzy; Malczewski, Marek (2003) „Formalization of Situation Awareness“, in: „*Practical Foundations of Business System Specifications*“, ed. by Kilov, Haim; Baclawski, Kenneth, Dordrecht et al.: Springer, 2003, pp. 25-39.

Bibliographie

- Bacon, John (1995) „Universals and Property Instances: The Alphabet of Being“, Oxford: Blackwell, 1995.
- Badra, Fadi; Servant, François-Paul; Passant, Alexandre (2011) „A Semantic Web Representation of a Product Range Specification based on Constraint Satisfaction Problem in the Automotive Industry“, in: „OSEMA 2011. Ontology and Semantic Web for Manufacturing 2011“, ed. by García, Alexander et al., Proceedings of the 1st International Workshop on Ontology and Semantic Web for Manufacturing, co-located with the 8th ESWC2011, Heraklion, Crete, Greece, May 29, 2011, pp. 37-50.
- Baeyer, Hans Christian von (2005) „Das informative Universum. Das neue Weltbild der Physik“, München: Beck, 2005.
- Bagosi, Timea; De Greeff, Joachim; Hindriks, Koen V.; Neerincx, Mark A. (2015) „Designing a Knowledge Representation Interface for Cognitive Agents“, in: „Engineering Multi-Agent Systems“, ed. by Baldoni, Matteo et al., Third International Workshop, EMAS 2015, Istanbul, Turkey, May 5, 2015, Revised, Selected, and Invited Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 33-50.
- Bahm, Archie J. (1947a) „Organic Unity and Emergence“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 44, No. 9, 1947, pp. 241-244.
- Bahm, Archie J. (1947b) „Emergence of Purpose“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 44, No. 23, 1947, pp. 633-636.
- Bahm, Archie J. (1948) „Emergence of Values“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 45, No. 15, 1948, pp. 411-414.
- Bai, Quan; Guru, Siddeswara Mayura; Smith, Daniel; Liu, Qing; Terhorst, Andrew (2011) „A Multi-Agent View of the Sensor Web“, in: „Advances in Practical Multi-Agent Systems“, ed. by Bai, Quan; Fukuta, Naoki, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 435-444.
- Baianu, Ion C.; Poli, Roberto (2009) „From Simple to Super- and Ultra-Complex Systems: A Paradigm Shift Towards Non-Abelian Emergent System Dynamics“, in: „TAO-Theory and Applications of Ontology“, ed. by Poli, Roberto et al., Springer, 2009.
- Baida, Ziv; Akkermans, Hans; Bernaras, Amaia (2003b) „The Configurable Nature of Real-World Services: Analysis and Demonstration“, *The First International Workshop on e-Services*, Pittsburgh/PA, Carnegie Mellon University, 2003, pp. 46-56.
- Baida, Ziv; Akkermans, Hans; Gordijn, Jaap (2003a) „Serviguration: Towards Online Configurability of Real-World Services“, *Proceedings of the Fifth International Conference on Electronic Commerce (ICEC03)*, Pittsburgh/PA, 2003, pp. 111-118.
- Baida, Ziv; Gordijn, Jaap; Akkermans, Hans; Morch, Andrei Z.; Sæle, Hanne (2004b) „Ontology-Based Analysis of eService Bundles for Networked Enterprises“, *17th Bled eCommerce Conference eGlobal*, Bled, Slovenia, June 21-23, 2004.
- Baida, Ziv; Gordijn, Jaap; Sæle, Hanne; Akkermans, Hans; Morch, Andrei Z. (2005) „An Ontological Approach for Eliciting and Understanding Needs in e-Services“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Pastor, Oscar; Falcão e Cunha, João, 17th International Conference, CAiSE 2005, Porto, Portugal, June 13-17, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 400-414.
- Baida, Ziv; Gordijn, Jaap; Sæle, Hanne; Morch, Andrei Z.; Akkermans, Hans (2004a) „Energy Services: A Case Study in Real-World Service Configuration“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Persson, Anne; Stirna, Janis, 16th International Conference, CAiSE 2004, Riga, Latvia, June 7-11, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 36-50.
- Bailey, Ian (2011) „Enterprise Ontologies - Better Models of Business“, in: „Intelligent-Based Systems Engineering“, ed. by Tolk, Andreas; Jain, Lakhmi C., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 327-342.
- Bailin, Sidney C.; Truszkowski, Walt (2002) „Ontology Negotiation Between Intelligent Information Agents“, in: *Knowledge Engineering Review*, Vol. 17, No. 1, 2002, pp. 7-19.
- Baines, Tim; Lightfoot, Howard W.; Evans, Steve; Neely, Andy; Greenough, Richard; Peppard, Joe; Roy, Rajkumar et al. (2007) „State-of-the-Art in Product-Service Systems“, in: *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 221, No. 10, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, 2007, pp. 1543-1552.
- Baiôco, Gleison; Cypriano Monteiro Costa, André; Zardo Calvi, Camilo; Salles Garcia, Anilton (2009) „IT Service Management and Governance. Modeling an ITSM Configuration Process: a Foundational Ontology Approach“, *IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management-Workshops*, 2009 (IM '09), 1-5 June 2009, New York/NY, 2009, pp. 24-33.
- Bajwa, Imran Sarwar; Bordbar, Behzad; Lee, Mark (2011) „SBVR vs OCL: A Comparative Analysis of Standards“, 2011, pp. 261-266.

Bibliographie

- Bakarich, Shannon E.; Gorkin, Robert III; In het Panhuis, Marc; Spinks, Geoffrey M. (2015) „4D Printing with Mechanically Robust, Thermally Actuating Hydrogels“, in: *Macromolecular Rapid Communications*, Vol. 36, No. 12, 2015, pp. 1211-1217.
- Baker, Andrew B. (1991) „Nonmonotonic Reasoning in the Framework of Situation Calculus“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 49, No. 1-3, 1991, pp. 5-23.
- Baker, Lynne Rudder (1997) „Why Constitution is Not Identity“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 94, No. 12, 1997, pp. 599-621.
- Baker, Lynne Rudder (2000) „Persons and Bodies: A Constitution View“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2000.
- Baker, Lynne Rudder (2004) „The Ontology of Artifacts“, in: *Philosophical Explorations*, Vol. 7, No. 2, 2004, pp. 99-111.
- Baker, Lynne Rudder (2006) „Everyday Concepts as a Guide to Reality“, in: *The Monist*, Vol. 89, No. 3, 2006, pp. 313-333.
- Baker, Lynne Rudder (2008) „The Shrinking Difference Between Artifacts and Natural Objects“, 2008.
- Bakhtiyari, Mohammad; Barros, Alistair; Russell, Nick (2014) „Enterprise Architecture for Business Networks: A Constructivist Synthesis“, 25th Australasian Conference on Information Systems, 8th - 10th Dec 2014, Auckland, New Zealand, 2014.
- Balashov, Yuri (1999) „Relativistic Objects“, in: *Noûs*, Vol. 33, No. 4, 1999, pp. 644-662.
- Balashov, Yuri (2000a) „Enduring and Perduring Objects in Minkowski Space-Time“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 99, No. 2, 2000, pp. 129-166.
- Balashov, Yuri (2000b) „Persistence and Space-Time: Philosophical Lessons of the Pole and Barn“, in: *The Monist*, Vol. 83, No. 3, 2000, pp. 321-340.
- Balashov, Yuri (2002) „On Stages, Worms, and Relativity“, in: „Time, Reality & Experience“, ed. by Callender, Craig, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2002, pp. 223-252.
- Balashov, Yuri (2007a) „About Stage Universalism“, in: *Philosophical Quarterly*, Vol. 57, No. 226, 2007, pp. 21-39.
- Balashov, Yuri (2007b) „Defining 'Exdurance'“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 133, No. 1, 2007, pp. 143-149.
- Balasubramaniam, Sandhya; Sarala, V.; Kavitha, J.C. (2015) „A Service Oriented Architecture for Internet of Things (IOT)“, in: *IJRDO-Journal of Computer Science and Engineering*, Vol. 1, No. 5, 2015, pp. 152-155.
- Balasubramaniam, Sasitharan; Jornet, Josep M.; Pierobon, Massimiliano; Koucheryavy, Yevgeni (2016) „Guest Editorial Special Issue on the Internet of Nano Things“, in: *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 3, No. 1, 2016, pp. 1-3.
- Balasubramaniam, Sasitharan; Kangasharju, Jussi (2013) „Realizing the Internet of Nano Things: Challenges, Solutions, and Applications“, in: *IEEE Computer*, Vol. 46, No. 2, 2013, pp. 62-68.
- Baldoni, Matteo; Baroglio, Cristina (2013b) „Some Thoughts about Commitment Protocols“, in: „Declarative Agent Languages and Technologies X“, ed. by Baldoni, Matteo et al., 10th International Workshop, DALT 2012, Valencia, Spain, June 4, 2012, Revised Selected and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 190-196.
- Baldoni, Matteo; Baroglio, Cristina; Capuzzimati, Federico (2013c) „2COMM: A Commitment-Based MAS Architecture“, in: „Engineering Multi-Agent Systems“, ed. by Cossentino, Massimo et al., First International Workshop, EMAS 2013, St. Paul, MN, USA, May 6-7, 2013, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 38-57.
- Baldoni, Matteo; Baroglio, Cristina; Capuzzimati, Federico (2014) „Typing Multi-Agent Systems via Commitments“, in: „Engineering Multi-Agent Systems“, ed. by Dalpiaz, Fabiano et al., Second International Workshop, EMAS 2014, Paris, France, May 5-6, 2014, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 388-405.
- Baldoni, Matteo; Baroglio, Cristina; Capuzzimati, Federico; Marengo, Elisa; Patti, Viviana (2013a) „A Generalized Commitment Machine for 2CL Protocols and Its Implementation“, in: „Declarative Agent Languages and Technologies X“, ed. by Baldoni, Matteo et al., 10th International Workshop, DALT 2012, Valencia, Spain, June 4, 2012, Revised Selected and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 96-115.
- Baldoni, Matteo; Baroglio, Cristina; Marengo, Elisa (2011) „Commitment-Based Protocols with Behavioral Rules and Correctness Properties of MAS“, in: „Declarative Agent Languages and Technologies VIII“, ed. by Omicini, Andrea et al., 8th International Workshop, DALT 2009, Toronto, Canada, May 10, 2010, Revised Selected and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 60-77.

Bibliographie

- Baldoni, Matteo; Boella, Guido; Genovese, Valerio; Mugnaini, Andrea; Grenna, Roberto; Van der Torre, Leendert (2010) „A Middleware for Modeling Organizations and Roles in Jade“, in: „Programming Multi-Agent Systems“, ed. by Braubach, Lars et al., 7th International Workshop, ProMAS 2009, Budapest/Hungary, May 10-15, 2009, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 100-117.
- Bales, Eugene F. (1987) „A Ready Reference to Philosophy East and West“, Lanham et al.: Univ. Pr. of America, 1987.
- Balke, Wolf-Tilo; Mainzer, Klaus (2005) „Knowledge Representation and the Embodied Mind: Towards a Philosophy and Technology of Personalized Informatics“, in: „Professional Knowledge Management“, ed. by Althoff, Klaus-Dieter et al., Revised Selected Papers, Third Biennial Conference, WM 2005, Kaiserslautern/Germany, April 10-13, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 586-597.
- Ballard, Chuck; Hasegawa, Fabio; Owens, Gord; Pedersen, Soren Ravn; Subtil, Klaus (2006) „Moving Forward with the On Demand Real-time Enterprise“, Armonk/NY: IBM, 2006.
- Ballot, Eric; Gobet, Olivier; Montreuil, Benoit (2012) „Physical Internet Enabled Open Hub Network Design for Distributed Networked Operations“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing Control“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 279-292.
- Baloch, Zartasha; Shaikh, Faisal Karim; Unar, Mukhtiar A. (2016) „Interfacing Physical and Cyber Worlds: A Big Data Perspective“, in: „Data Science and Big Data Computing. Frameworks and Methodologies“, ed. by Mahmood, Zaigham, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 117-138.
- Balz, Albert G.A. (1934) „Whitehead, Descartes and the Bifurcation of Nature“, in: Journal of Philosophy, Vol. 31, No. 11, 1934, pp. 281-297.
- Balzer, Wolfgang; Moulines, C. Ulises (2000) „Introduction“, in: „Structuralist Knowledge Representation“, ed. by Balzer, Wolfgang; Sneed, Joseph D.; Moulines, C. Ulises, Amsterdam, Atlanta/GA: Rodopi, 2000, pp. 5-18.
- Balzer, Wolfgang; Moulines, C. Ulises; Sneed, Joseph D. (1987) „An Architectonic for Science. The Structuralist Program“, Dordrecht et al.: Reidel, 1987.
- Bandini, Stefania (2002) „Cellular Automata“, in: Future Generation Computer Systems, Vol. 18, No. 7, 2002, pp. v-vi.
- Bandini, Stefania; Manzoni, Sara; Vizzari, Giuseppe (2009) „Agent Based Modeling and Simulation: An Informatics Perspective“, in: Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Vol. 12, No. 4, 2009.
- Bandyopadhyay, Soma; Sengupta, Munmun; Maiti, Souvik; Dutta, Subhajt (2011) „A Survey of Middleware for Internet of Things“, in: „Recent Trends in Wireless and Mobile Networks“, ed. by Özcan, Abdulkadir et al., Third International Conferences, WiMo 2011 and CoNeCo 2011, Ankara, Turkey, June 26-28, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 288-296.
- Banerjee, Prith; Bash, Cullen; Friedrich, Rich; Goldsack, Patrick; Huberman, Bernardo A.; Manley, John et al. (2011) „Everything as a Service: Powering the New Information Economy“, in: IEEE Computer, Vol. 44, No. 3, 2011, pp. 36-43.
- Bao, Jie; Tao, Jiao; McGuinness, Deborah L.; Smart, Paul (2010) „Context Representation for the Semantic Web“, Proceedings of the WebSci10: Extending the Frontiers of Society On-Line, April 26-27th, 2010, Raleigh/NC, USA, 2010, pp. 1-8.
- Bar-Hillel, Yehoshua (1955) „An Examination of Information Theory“, in: Philosophy of Science, Vol. 22, No. 2, 1955, pp. 86-105.
- Bar-Hillel, Yehoshua; Carnap, Rudolf (1953) „Semantic Information“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 4, No. 14, 1953, pp. 147-157.
- Bar-Yam, Yaneer (1997) „Dynamics of Complex Systems“, Reading/MA: Perseus Books, 1997.
- Bar-Yam, Yaneer; Anderson, Philip W.; Kosslyn, Stephen; Badler, Norman I.; Wilson, David Sloan (2004) „Emergence“, in: „Unifying Themes in Complex Systems II“, Proceedings of the Second International Conference on Complex Systems, 1998“, ed. by Bar-Yam, Yaneer; Minai, Ali A., Boulder/Col.: Westview Pr., 2004, pp. 87-131.
- Barabási, Albert-László (2002) „Linked. How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life“, Repr., London: Plume, 2003.
- Barabási, Albert-László (2003) „Emergence of Scaling in Complex Networks“, in: „Handbook of Graphs and Networks“, ed. by Bornholdt, Stefan; Schuster, Heinz Georg, Weinheim: Wiley-VCH, 2003, pp. 69-84.
- Barabási, Albert-László (2007) „The Architecture of Complexity“, in: IEEE Control Systems Magazine, Vol. 27, No. 4, 2007, pp. 33-42.
- Baranski, Leo J. (1960) „Scientific Basis for World Civilization. Unitary Field Theory. The Origins, Evolution, Current Operation and Future Destiny of the Universe, Life, Mind, and the Social Group“, Boston: Christopher Publ. House, 1960.

Bibliographie

- Barber, Bernard (1956) „Structural-Functional Analysis: Some Problems and Misunderstandings“, in: *American Sociological Review*, Vol. 21, No. 2, 1956, pp. 129-135.
- Barbosa, José; Leitão, Paulo (2010) „Modelling and Simulating Self-Organizing Agent-based Manufacturing Systems“, 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Glendale/AZ, 7-10 Nov., 2010, pp. 2702-2707.
- Barcikowski, Mathieu; Pernelle, Philippe; Lefebvre, Arnaud; Martinez, Michel (2005) „Robustness of Know-how within a Product Lifecycle Management System“, 5th International Conference on Integrated Design and Production, 2005.
- Baresi, Luciano; Garzotto, Franca; Paolini, Paolo (2000) „From Web Sites to Web Applications: New Issues for Conceptual Modeling“, in: „Conceptual Modeling for E-Business and the Web“, ed. by Liddle, Stephen W. et al., ER 2000 Workshops on Conceptual Modeling Approaches for E-Business and The World Wide Web and Conceptual Modeling, Salt Lake City, Utah, USA, October 9-12, 2000, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2000, pp. 89-100.
- Bari, Nima; Mani, Ganapathy; Berkovich, Simon (2013) „Internet of Things as a Methodological Concept“, Fourth International Conference on Computing for Geospatial Research and Application (COM.Geo), 2013, pp. 48-55.
- Barkmeyer, Ed; Neuhaus, Fabian (2013) „RECON - A Controlled English for Business Rules“, in: „RuleML@ChallengeEnriched 2013“, ed. by Fodor, Paul et al., Joint Proceedings of the 7th Int. Rule Challenge, the Special Track on Human Language Technology and the 3rd RuleML Doctoral Consortium hosted at RuleML2013, Seattle/USA, July, 2013.
- Barn, Balbir S.; Barn, Gulzaar K. (2013) „Conceptual Modelling: A Philosophy of Fiction Account“, in: „Information Systems Development“, ed. by Pooley, Rob et al., New York: Springer, 2013, pp. 369-379.
- Barnaghi, Payam; Sheth, Amit; Henson, Cory (2013) „From Data to Actionable Knowledge: Big Data Challenges in the Web of Things“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 28, No. 6, 2013, pp. 6-11.
- Barnaghi, Payam; Wang, Wei; Henson, Cory; Taylor, Kerry (2012) „Semantics for the Internet of Things: Early Progress and Back to the Future“, in: *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, Vol. 8, No. 1, 2012, pp. 1-21.
- Barnden, John A. (1989) „Belief, Metaphorically Speaking“, ed. by Brachman, Ronald J. et al., Proceedings of the 1st International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'89). Toronto, Canada, May 15-18, San Mateo/Cal.: Morgan Kaufman, 1989, pp. 21-32.
- Barnett, Jeffrey A. (1978) „DSN Problems - An Overview“, in: „Distributed Sensor Nets“, ed. by Defense Advanced Research Projects Agency, Proceedings of a Workshop held at Carnegie-Mellon University, December 7-8, 1978, pp. 37-40.
- Barros, Alistair (2008) „Ubiquitous Services and Business Processes“, in: „Handbook of Research on Ubiquitous Computing Technology for Real Time Enterprises“, ed. by Mühlhäuser, Max; Gurevych, Iryna, Hershey/PA: Information Science Reference, 2008, pp. 57-87.
- Barros, Alistair; Decker, Gero; Grosskopf, Alexander (2007) „Complex Events in Business Processes“, in: „Business Information Systems“, ed. by Abramowicz, Witold, 10th International Conference, BIS 2007, Poznan, Poland, April 25-27, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 29-40.
- Barrow, John D. (1990) „Theories of Everything“, Repr., Oxford: Vintage, 1992.
- Barrow, John D. (1996) „Warum die Welt mathematisch ist“, (dt. Übers. v. Perché il mondo è matematico?, Roma, 1992), München: Dt. Taschenbuch-Verl., 1996.
- Barrow, John D. (1998) „Impossibility. The Limits of Science and the Science of Limits“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1998.
- Barrow, John D. (2005) „The Artful Universe Expanded“, (rev. ed. of: *The Artful Universe*, 1995), Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2005.
- Bartels, Andreas (1999) „Objects or Events?: Towards an Ontology for Quantum Field Theory“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 66, Supplement. Proceedings of the 1998 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part I: Contributed Papers, 1999, pp. S170-S184.
- Bartels, Andreas (2000) „Quantum Field Theory: A Case for Event Ontologies?“, in: „Things, Facts and Events“, ed. by Faye, Jan et al., Amsterdam: Rodopi, 2000, pp. 327-341.
- Barwise, Jon (1981) „Scenes and Other Situations“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 78, No. 7, 1981, pp. 369-397.
- Barwise, Jon (1986) „Information and Circumstance“, in: *Notre Dame Journal of Formal Logic*, Vol. 27, No. 3, 1986, pp. 324-338.
- Barwise, Jon (1989) „The Situation in Logic“, CSLI Publications, Stanford Univ., CSLI Lecture Notes 17, 1989.

Bibliographie

- Barwise, Jon; Perry, John (1981a) „Semantic Innocence and Uncompromising Situations“, in: *Midwest Studies in Philosophy*, Vol. 6, No. 1, 1981, pp. 387-404.
- Barwise, Jon; Perry, John (1981b) „Situations and Attitudes“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 78, No. 11, 1981, pp. 668-691.
- Barwise, Jon; Perry, John (1983) „Situations and Attitudes“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1983.
- Barwise, Jon; Perry, John (1985) „Shifting Situations and Shaken Attitudes“, in: *Linguistics and Philosophy*, Vol. 8, No. 1, 1985, pp. 105-161.
- Barwise, Jon; Seligman, Jerry (1997) „Information Flow: The Logic of Distributed Systems“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1997.
- Basile, Pierfrancesco (2008) „Monadologie und Relationen - Whitehead, Russell und die Ablehnung der Substanz-Metaphysik“, in: „Substantia - sic et non. eine Geschichte des Substanzbegriffs von der Antike bis zur Gegenwart in Einzelbeiträgen“, hrsg. v. Gutschmidt, Holger, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2008, S. 445-460.
- Basile, Pierfrancesco (2009) „Leibniz, Whitehead and the Metaphysics of Causation“, Basingstoke et al.: Palgrave Macmillan, 2009.
- Bass, Robert E. (1951) „General System Theory: A New Approach to Unity of Science“, in: *Human Biology*, Vol. 23, No. 4, Dec., 1951, pp. 323-328.
- Bassi, Alessandro; Bauer, Martin; Fiedler, Martin; Kramp, Thorsten; Van Kranenburg, Rob et al. (eds.) (2013) „Enabling Things to Talk. Designing IoT Solutions with the IoT Architectural Reference Model“, Berlin et al.: Springer, 2013.
- Batchelor, Colin (2008) „An Upper-Level Ontology for Chemistry“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüniger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 195-207.
- Batchelor, Colin; Hastings, Janna; Steinbeck, Christoph (2010) „Ontological Dependence, Dispositions and Institutional Reality in Chemistry“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 271-284.
- Bateman, John A. (1990) „Upper Modeling: Organizing Knowledge for Natural Language Processing“, Proc. of the 5th Int. Workshop on Natural Language Generation, 1990, pp. 54-61.
- Bateman, John A. (1995) „On the Relationship Between Ontology Construction and Natural Language: A Socio-Semiotic View“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 929-944.
- Bateman, John A. (2004) „The Place of Language within a Foundational Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 222-233.
- Bateman, John A. (2010a) „Ontological Diversity: The Case from Space“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 5-16.
- Bateman, John A. (2010b) „Ontologies of Language and Language Processing“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 393-409.
- Bateman, John A.; Farrar, Scott (2004) „Towards a Generic Foundation for Spatial Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 237-248.
- Bateman, John A.; Henschel, Renate; Rinaldi, Fabio (1995) „The Generalized Upper Model 2.0“, Technical Report, GMD Institut für Integrierte Publikations- und Informationssysteme, Darmstadt/Germany, 1995.
- Bateman, John A.; Kasper, Robert T.; Moore, Johanna D.; Whitney, Richard A. (1990) „A General Organization of Knowledge for Natural Language Processing: the Penman Upper Model“, Technical Report, USC/Information Sciences Institute, Marina del Rey/CA, March, 1990.
- Bateman, John A.; Magnini, Bernardo; Fabris, Giovanni (1995) „The Generalized Upper Model Knowledge Base: Organization and Use“, in: „Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building & Knowledge Sharing“, ed. by Mars, Nicolaas J.I., Amsterdam: IOS Pr., 1995, pp. 60-72.
- Bateman, Richard J.; Cheng, Kai (2004) „Internet-based, End-User Design and E-Manufacture“, in: „Advances in e-Engineering and Digital Enterprise Technology - I“, ed. by Cheng, Kai; Webb, David; Marsh, Rodney, Bury St Edmunds, London: Professional Engineering Publ., 2004, pp. 15-23.

Bibliographie

- Batenburg, Ronald; Helms, Remko W.; Versendaal, Johan (2006) „PLM Roadmap: Stepwise PLM Implementation based on the Concepts of Maturity and Alignment“, in: *International Journal of Product Lifecycle Management*, Vol. 1, No. 4, 2006, pp. 333-351.
- Bateson, Gregory (1972) „Steps to an Ecology of Mind“, San Francisco: Chandler, 1972.
- Bateson, Gregory (1979) „Mind and Nature. A Necessary Unity“, Repr., Cresskill/N.J.: Hampton Pr., 2002.
- Batra, Dinesh; Sin, Thant (2008) „The READY Model: Patterns of Dynamic Behavior in REA-Based Accounting Applications“, in: *Information Systems Management*, Vol. 25, No. 3, 2008, pp. 200-210.
- Batres, Rafael; Aoyama, Atsushi; Naka, Yuji (2002) „A Life-Cycle Approach for Model Reuse and Exchange“, in: *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 26, No. 4-5, 2002, pp. 487-498.
- Batres, Rafael; Naka, Yuji; Lu, Ming L. (2000) „Process Plant Ontologies based on a Multi-Dimensional Framework“, in: „Fifth International Conference on Foundations of Computer-Aided Process Design“, ed. by Malone, Michael F. et al., proceedings of the Fifth International Conference on Chemical Process Design, Breckenridge, Colorado, July 19-24, 1999, New York: American Institute of Chemical Engineers, 2000, pp. 433-437.
- Batres, Rafael; Naka, Yuji; Lu, Ming Liang (1999) „A Multidimensional Design Framework and Its Implementation in an Engineering Design Environment“, in: *Concurrent Engineering*, Vol. 7, No. 1, 1999, pp. 43-54.
- Batres, Rafael; West, Matthew et al. (2005) „An Upper Ontology based on ISO 15926“, in: „Computer Aided Chemical Engineering, Vol. 20“, ed. by Puigjaner, Luis; Espuña, Antonio, European Symposium on Computer-Aided Process Engineering-15, 38 European Symposium of the Working Party on Computer Aided Process Engineering, Barcelona/Spain, 29 May-1 June, Amsterdam: Elsevier, 2005, pp. 1543-1548.
- Batres, Rafael; West, Matthew et al. (2007) „An Upper Ontology based on ISO 15926“, in: *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 31, No. 5-6, 2007, pp. 519-534.
- Batsakis, Sotiris; Petrakis, Euripides G.M. (2010) „SOWL: Spatio-Temporal Representation, Reasoning and Querying over the Semantic Web“, Proceedings of the 6th International Conference on Semantic Systems (I-SEMANTICS '10), Graz/Austria, September 01-03, 2010, Article No. 15, 2010, pp. 1-9.
- Batten, David F. (2000) „Discovering Artificial Economics. How Agents Learn and Economies Evolve“, Boulder/Col.: Westview Pr., 2000.
- Batterman, Robert W. (2001) „The Devil in the Details. Asymptotic Reasoning in Explanation, Reduction, and Emergence“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2001.
- Battle, Robert; Kolas, Dave (2012) „Enabling the Geospatial Semantic Web with Parliament and GeoSPARQL“, in: *Semantic Web*, Vol. 3, No. 4, 2012, pp. 355-370.
- Bauberger, Stefan (2003) „Was ist die Welt?“, Stuttgart: Kohlhammer, 2003.
- Baum, Eric B. (2004) „What Is Thought?“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 2004.
- Bauman, Bruce Todd (2009) „Prying Apart Semantics and Implementation: Generating XML Schemata directly from ontologically sound conceptual models“, Presented at Balisage: The Markup Conference 2009, Montréal, Canada, August 11-14, 2009.
- Baumann, Ringo; Herre, Heinrich (2011) „The Axiomatic Foundation of Space in GFO“, Working Paper, 2011, pp. 1-36.
- Baumann, Ringo; Loebe, Frank; Herre, Heinrich (2012) „Ontology of Time in GFO“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 293-306.
- Baumann, Ringo; Loebe, Frank; Herre, Heinrich (2014) „Axiomatic Theories of the Ontology of Time in GFO“, in: *Applied Ontology*, Vol. 9, No. 3/4, 2014, pp. 171-215.
- Baumgärtner, Lars; Graubner, Pablo; Leinweber, Matthias; Schwarzkopf, Roland; Schmidt, Matthias et al. (2012) „Mastering Security Anomalies in Virtualized Computing Environments via Complex Event Processing“, eKNOW 2012: The Fourth International Conference on Information, Process, and Knowledge Management, 2012, pp. 76-81.
- Baumgartner, Norbert; Gottesheim, Wolfgang; Mitsch, Stefan; Retschitzegger, Werner; Schwinger, Wieland (2010) „BeAware!-Situation Awareness, the Ontology-driven Way“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 69, No. 11, 2010, pp. 1181-1193.
- Baumgartner, Norbert; Retschitzegger, Werner (2006) „A Survey of Upper Ontologies for Situation Awareness“, Proc. of the 4th Intl. Conf. on Knowledge Sharing and Collaborative Engineering, ACTA Pr., 2006, pp. 1-9.
- Baumgartner, Norbert; Retschitzegger, Werner; Schwinger, Wieland (2008) „Application Scenarios of Ontology-Driven Situation Awareness Systems - Exemplified for the Road Traffic Management Domain“, in:

Bibliographie

- „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Borgo, Stefano; Lesmo, Leonardo, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 77-87.
- Bawden, David (2002) „The Three Worlds of Health Information“, in: *Journal of Information Science*, Vol. 28, No. 1, 2002, pp. 51-62.
- Bawden, David (2007) „Organised Complexity, Meaning and Understanding. An Approach to a Unified View of Information for Information Science“, in: *Aslib Proceedings: New Information Perspectives*, Vol. 59 No. 4/5, 2007, pp. 307-327.
- Bawden, David (2008) „Smoother Pebbles and the Shoulders of Giants: the Developing Foundations of Information Science“, in: *Journal of Information Science*, Vol. 34, No. 4, 2008, pp. 415-426.
- Baxter, David; Gao, James; Roy, Rajkumar (2008) „Design Process Knowledge Reuse Challenges and Issues“, in: *Computer-Aided Design & Applications*, Vol. 5, No. 6, 2008, pp. 942-952.
- Baxter, David; Roy, Rajkumar; Doultsinou, Athanasia; Gao, James; Kalta, Mohamad (2009) „A Knowledge Management Framework to Support Product-Service Systems Design“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 22, No. 12, 2009, pp. 1073-1088.
- Baylis, Charles A. (1929) „The Philosophic Functions of Emergence“, in: *Philosophical Review*, Vol. 38, No. 4, 1929, pp. 372-384.
- Beal, Jacob; Viroli, Mirko (2015) „Space-Time Programming“, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 373, No. 2046, 2015, pp. 1-19.
- Bealer, George (1995) „Concept“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 89-90.
- Beatrys Ruiz, Linyer; Siqueira, Isabela G.; Oliveira, Leonardo B.; Wong, Hao Chi et al. (2004) „Fault Management in Event-driven Wireless Sensor Networks“, *MSWiM '04 Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, 2004, pp. 149-156.
- Beavers, Anthony F. (2002) „Phenomenology and Artificial Intelligence“, in: *Metaphilosophy*, Vol. 33, No. 1-2, 2002, pp. 70-82.
- Beavers, Anthony F. (2017) „A Brief Introduction to the Philosophy of Information“, 2017.
- Bechtel, William; Richardson, Robert C. (1992) „Emergent Phenomena and Complex Systems“, in: „Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism“, ed. by Beckermann, Ansgar et al., Berlin, New York: De Gruyter, 1992, pp. 257-288.
- Bechtel, William; Richardson, Robert C. (1993) „Discovering Complexity. Decomposition and Localization as Strategies in Scientific Research“, Princeton/NJ: Princeton Univ. Pr., 1993.
- Becker, Jörg; Bergener, Philipp; Breuker, Dominic; Räckers, Michael (2010) „Evaluating the Expressiveness of Domain Specific Modeling Languages Using the Bunge-Wand-Weber Ontology“, *43rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS-43)*, 2010, pp. 1-10.
- Becker, Jörg; Beverungen, Daniel F.; Knackstedt, Ralf (2010) „The Challenge of Conceptual Modeling for Product-Service Systems: Status-quo and Perspectives for Reference Models and Modeling Languages“, in: *Information Systems and e-Business Management*, Vol. 8, No. 1, 2010, pp. 33-66.
- Becker, Jörg; Matzner, Martin; Müller, Oliver; Walter, Marcel (2012) „A Review of Event Formats as Enablers of Event-Driven BPM“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Daniel, Florian et al., BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011, Revised Selected Papers, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 433-445.
- Becker, Jörg; Niehaves, Björn; Pfeiffer, Daniel (2008) „Ontological Evaluation of Conceptual Models. A Linguistic Interpretivist Approach“, in: *Scandinavian Journal of Information Systems*, Vol. 20, No. 2, 2008, pp. 83-110.
- Becker, Jörg; Pfeiffer, Daniel (2007) „Konzeptionelle Modellierung - wissenschaftstheoretische Prämissen für eine pluralische Forschung“, in: „Wissenschaftstheoretische Fundierung und wissenschaftliche Orientierung der Wirtschaftsinformatik“, hrsg. v. Lehner, Franz; Zelewski, Stephan, Berlin: GITO-Verl., 2007, S. 1-17.
- Beckermann, Ansgar (1972) „Die realistischen Voraussetzungen der Konsenstheorie von J. Habermas“, in: *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, Bd. 3, Nr. 1, 1972, S. 63-80.
- Beckermann, Ansgar (1990) „Semantische Maschinen“, in: „Intentionalität und Verstehen“, hrsg. v. Forum für Philosophie, Bad Homburg, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1990, S. 196-211.
- Beckermann, Ansgar (1992) „Supervenience, Emergence, and Reduction“, in: „Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism“, ed. by Beckermann, Ansgar et al., Berlin, New York: De Gruyter, 1992, pp. 94-118.

Bibliographie

- Bedau, Mark A. (1992) „Philosophical Aspects of Artificial Life“, in: „Toward a Practice of Autonomous Systems. Proceedings of the First European Conference on Artificial Life“, ed. by Varela, Francisco J.; Bourgine, Paul, 2nd Pr., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1994, pp. 494-503.
- Bedau, Mark A. (1995) „Three Illustrations of Artificial Life's Working Hypothesis“, in: „Evolution and Biocomputation“, ed. by Banzhaf, Wolfgang; Eeckman, Frank, Berlin: Springer, 1995, pp. 53-68.
- Bedau, Mark A. (1996) „The Nature of Life“, in: „The Philosophy of Artificial Life“, ed. by Boden, Margaret A., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 332-357.
- Bedau, Mark A. (1997a) „Emergent Models of Supple Dynamics in Life and Mind“, in: *Brain and Cognition*, Vol. 34, No. 1, 1997, pp. 5-27.
- Bedau, Mark A. (1997b) „Weak Emergence“, in: *Noûs*, Vol. 31, Supplement: Philosophical Perspectives, 11, Mind, Causation, and World, 1997, pp. 375-399.
- Bedau, Mark A. (1998a) „Four Puzzles About Life“, in: *Artificial Life*, Vol. 4, No. 2, 1998, pp. 125-140.
- Bedau, Mark A. (1998b) „Philosophical Content and Method of Artificial Life“, in: „The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy“, ed. by Bynum, Terrell W.; Moor, James H., Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 135-152.
- Bedau, Mark A. (2002) „The Scientific and Philosophical Scope of Artificial Life“, in: *Leonardo*, Vol. 35, No. 4, 2002, pp. 395-400.
- Bedau, Mark A. (2003) „Artificial Life: Organization, Adaptation and Complexity from the Bottom Up“, in: *TRENDS in Cognitive Sciences*, Vol. 7, No. 11, 2003, pp. 505-512.
- Bedau, Mark A. (2005) „Note from the Editor“, in: *Artificial Life*, Vol. 11, No. 1/2, 2005, pp. 1-3.
- Beehner, Janet (1980) „Bibliography on Quantum Logic“, in: „Studies in the Foundations of Quantum Mechanics“, ed. by Suppes, Patrick, East Lansing/Mich.: Philosophy of Science Assoc., 1980, pp. 223-256.
- Beer, Stafford (1979) „The Heart of Enterprise. The Managerial Cybernetics of Organization“, Chichester et al.: Wiley, 1979.
- Beeson, Michael; Halcomb, Jay; Mayer, Wolfgang (2011) „Inconsistencies in the Process Specification Language (PSL)“, in: „ATE-2011. Automated Theory Engineering“, ed. by Höfner, Peter et al., Proceedings of the First Workshop on Automated Theory Engineering, Co-Located with the 23rd International Conference on Automated Deduction, Wrocław, Poland, July 31, 2011, pp. 9-19.
- Behnen, Ulrich J. (2015) „Ontology Engineering in PLM-based Industries“, Working Paper, unpublished, 2015.
- Behrendt, Wernher; Gangemi, Aldo; Maass, Wolfgang; Westenthaler, Rupert (2005) „Towards an Ontology-Based Distributed Architecture for Paid Content“, in: „The Semantic Web: Research and Applications“, ed. by Gómez-Pérez, Asunción; Euzenat, Jérôme, Second European Semantic Web Conference, ESWC 2005, Heraklion, Crete, Greece, May 29-June 1, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 257-271.
- Beijun, Wang; Jian, Li (2010) „Tacit Knowledge Transformation Based on Ontology“, 2010 International Conference on E-Business and E-Government, Guangzhou, 7-9 May, 2010, pp. 1958-1961.
- Beinstainer, Andreas (2010) „The Metaphysical Character of Information. Heidegger and Baudrillard“, in: „VIII European Conference on Computing and Philosophy (ECAP10)“, ed. by Mainzer, Klaus, 4-6 October 2010, TU München, München: Verl. Dr. Hut, 2010, pp. 326-331.
- Beinstainer, Andreas (2012) „Filter Bubble and Enframing: On the Self-Affirming Dynamics of Technologies“, in: „PhiloWeb 2012. Web and Philosophy: Why and What For?“, ed. by Monnin, Alexandre; Halpin, Harry; Carr, Leslie, Proceedings of the WWW2012 Conference Workshop PhiloWeb 2012: "Web and Philosophy, Why and What For?", Paper 3, Lyon/France, Apr 17, 2012.
- Bekey, George A. (2005) „Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2005.
- Belkadi, Farouk; Bosch-Mauchand, Magali; Kibamba, Yannick; Le Duigou, Julien; Eynard, Benoit (2012) „Functional Architecture and Specifications for Tolerancing Data and Knowledge Management“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 35-45.
- Belkadi, Farouk; Troussier, Nadège; Huet, Frederic; Gidel, Thierry; Bonjour, Eric; Eynard, Benoît (2008) „Innovative PLM-based Approach for Collaborative Design Between OEM and Suppliers: Case Study of Aeronautic Industry“, in: „Computer-Aided Innovation (CAI)“, ed. by Cascini, Gaetano, New York: Springer, 2008, pp. 157-168.
- Bell, John (2007) „Natural Events“, in: *Journal of Artificial Intelligence Research*, Vol. 30, 2007, pp. 361-412.

Bibliographie

- Bello, Oladayo; Zeadally, Sherali (2016) „Intelligent Device-to-Device Communication in the Internet of Things“, in: IEEE Systems Journal, Vol. 10, No. 3, 2016, pp. 1172-1182.
- Beltrame, Francesco; Dagostino, Virginia (2014) „Advances in Internet of Things as Related to the E-Government Domain for Citizens and Enterprises“, in: „Advances onto the Internet of Things. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful“, ed. by Gaglio, Salvatore; Lo Re, Giuseppe, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 217-232.
- Beltrametti, Enrico G.; Cassinelli, Gianni (1981) „The Logic of Quantum Mechanics“, Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1981.
- Beltrametti, Enrico G.; Van Fraassen, Bas C. (eds.) (1981) „Current Issues in Quantum Logic“, New York, London: Plenum Pr., 1981.
- Ben Khedher, Anis; Henry, Sébastien; Bouras, Abdelaziz (2011) „Integration between MES and Product Lifecycle Management“, IEEE 16th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFAs), Toulouse, 5-9 Sept., 2011, pp. 1-8.
- Ben-Yehuda, Orna Agmon; Ben-Yehuda, Muli; Schuster, Assaf; Tsafir, Dan (2012) „The Resource-as-a-Service (RaaS) Cloud“, HotCloud'12 Proceedings of the 4th USENIX Conference on Hot Topics in Cloud Computing, Boston/MA, June 12-13, 2012, pp. 1-5.
- Bendoukha, Sofiane (2014) „Multi-agent Approach for Managing Workflows in an Inter-Cloud Environment“, in: „Service-Oriented Computing - ICSOC 2013 Workshops“, ed. by Lomuscio, Alessio R. et al., CCSA, CSB, PASCEB, SWESE, WESOA, and PhD Symposium, Berlin, Germany, December 2-5, 2013, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 535-542.
- Bénel, Aurélien (2012) „Where Do 'Ontologies' Come From? Seeking for the Missing Link“, in: „PhiloWeb 2012. Web and Philosophy: Why and What For?“, ed. by Monnin, Alexandre; Halpin, Harry; Carr, Leslie, Proceedings of the WWW2012 Conference Workshop PhiloWeb 2012: "Web and Philosophy, Why and What For?", Paper 4, Lyon/France, Apr 17, 2012.
- Benioff, Paul A. (1982) „Quantum Mechanical Hamiltonian Models of Discrete Processes That Erase Their Own Histories: Application to Turing Machines“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, Nos. 3/4, 1982, pp. 177-201.
- Benjamin, Jan; Borst, Pim; Akkermans, Hans; Wielinga, Bob (1996) „Ontology Construction for Technical Domains“, in: „Advances in Knowledge Acquisition“, ed. by Shadbolt, Nigel et al., 9th European Knowledge Acquisition Workshop, EKAW '96 Nottingham, United Kingdom, May 14-17, 1996 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1996, pp. 98-114.
- Benjamin, Perakath C.; Menzel, Christopher P.; Mayer, Richard J.; Fillion, Florence; Futrell, Michael T. et al. (1994) „IDEF5 Method Report“, Information Integration for Concurrent Engineering (IICE), Knowledge Based Systems, Inc., September 21, 1994.
- Benjamin, Perakath C.; Patki, Mukul; Mayer, Richard (2006) „Using Ontologies for Simulation Modeling“, in: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, 2006, pp. 1151-1159.
- Benjamins, V. Richard (1993) „Problem-Solving Methods for Diagnosis“, PhD Thesis, Univ. of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands, 1993.
- Bennett, Brandon (2001) „Space, Time, Matter and Things“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01), New York: ACM Pr., 2001, pp. 105-116.
- Bennett, Brandon (2002) „Physical Objects, Identity and Vagueness“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Fensel, Dieter et al., Proceedings of the Eighth International Conference (KR2002), Toulouse, France, April 22-25, 2002, San Francisco/Calif.: Morgan Kaufmann, 2002, pp. 395-408.
- Bennett, Brandon; Galton, Antony P. (2001) „A Versatile Representation for Time and Events“, Fifth Symposium on Logical Formalizations of Commonsense Reasoning (Commonsense 2001), 2001, pp. 43-52.
- Bennett, Brandon; Galton, Antony P. (2004) „A Unifying Semantics for Time and Events“, in: Artificial Intelligence, Vol. 153, No. 1-2, 2004, pp. 13-48.
- Bennett, Brandon; Mallenby, David; Third, Allan (2008) „An Ontology for Grounding Vague Geographic Terms“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 280-293.
- Bennett, Charles H. (1982) „The Thermodynamics of Computation - A Review“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, No. 12, 1982, pp. 905-940.

Bibliographie

- Bennett, Charles H. (2003) „How to Define Complexity in Physics, and Why“, in: „From Complexity to Life. On the Emergence of Life and Meaning“, ed. by Gregersen, Niels Henrik, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2003, pp. 34-43.
- Bennett, John G. (1956) „The Dramatic Universe“, London: Hodder & Stoughton, 1956.
- Bennett, Jonathan F. (1988) „Events and Their Names“, Indianapolis et al.: Hackett, 1988.
- Bennett, Jonathan F. (1991) „Précis of Events and Their Names“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 51, No. 3, 1991, pp. 625-628.
- Bennett, Karen (2009) „Composition, Colocation, and Metaontology“, in: „Metametaphysics. New Essays on the Foundations of Ontology“, ed. by Chalmers, David J. et al., Oxford et al.: Clarendon Pr., 2009, pp. 38-76.
- Bennett, Michael G. (2010) „The EDM Council Semantics Repository - Considerations in Ontology Alignment“, ed. by Cudre-Mauroux, Philippe; Parsia, Bijan, *Proceedings of the ISWC 2010 Workshops*, Vol. I, Shanghai/China, November 7-8, 2010.
- Bennett, Michael G. (2013) „The Financial Industry Business Ontology: Best Practice for Big Data“, in: *Journal of Banking Regulation*, Vol. 14, No. 3-4, 2013, pp. 255-268.
- Bennett, Michael G. (2014a) „Adopting and Extending REA Terms in the Financial Industry Business Ontology: A Case Study“, 2014.
- Bennett, Michael G. (2014b) „Reuse of Semantics in Business Applications“, in: „ONTO-COM-ODISE 2014. Ontologies in Conceptual Modeling and Information Systems Engineering“, ed. by Guizzardi, Giancarlo et al., *Proceedings of the 1st Joint Workshop ONTO.COM / ODISE on Ontologies in Conceptual Modeling and Information Systems Engineering*, Rio de Janeiro, Brazil, September 21, 2014, pp. 1-10.
- Bera, Palash; Krasnoperova, Anna; Wand, Yair (2010) „Using Ontology Languages for Conceptual Modeling“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 21, No. 1, 2010, pp. 1-28.
- Bera, Palash; Wand, Yair (2004) „Analyzing OWL Using a Philosophy-Based Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, *Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004)*, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 353-362.
- Berenda, Carlton W. (1953) „On Emergence and Prediction“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 50, No. 9, 1953, pp. 269-274.
- Berg-Cross, Gary (2008) „Improving Situational Ontologies to Support Adaptive Crisis Management Knowledge Architecture“, ed. by Fiedrich, Frank; Van de Walle, Bartel, *Proceedings of the 5th Int. ISCRAM Conference - Washington/DC, USA, May, 2008*, pp. 537-545.
- Berger, Guy (1972) „Opinions and Facts“, in: „Interdisciplinarity. Problems of Teaching and Research in Universities“, ed. by Apostel, Léo et al., Report, based on the results of a Seminar on Interdisciplinarity in Universities which was organised by CERI (Centre for Educational Research and Innovation), Sept. 7th-12th, 1970, Paris: OECD, 1972, pp. 21-74.
- Berger, Peter L.; Luckmann, Thomas (1967) „The Social Construction of Reality. A Treatise in the Sociology of Knowledge“, London: Penguin, 1967.
- Bergholtz, Maria; Eriksson, Owen; Johannesson, Paul (2013) „Towards a Sociomaterial Ontology“, 2013.
- Bergholtz, Maria; Johannesson, Paul; Andersson, Birger (2011) „Towards a Model of Services Based on Co-creation, Abstraction and Restriction“, in: „Conceptual Modeling - ER 2011“, ed. by Jeusfeld, Manfred et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 476-485.
- Bergmann, Gustav (1944) „Holism, Historicism, and Emergence“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 11, No. 4, 1944, pp. 209-221.
- Bergmann, Gustav (1958) „Frege's Hidden Nominalism“, in: *Philosophical Review*, Vol. 67, No. 4, 1958, pp. 437-459.
- Bergmann, Gustav (1961) „Physics and Ontology“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 28, No. 1, 1961, pp. 1-14.
- Bergmann, Gustav (1964) „Logic and Reality“, Madison: The Univ. of Wisconsin Pr., 1964.
- Bergmann, Gustav (1967) „Realism. A Critique of Brentano and Meinong“, Madison/Wisc. et al.: Univ. of Wisconsin Pr., 1967.
- Bergmann, Gustav (1992) „New Foundations of Ontology“, ed. by Heald, William, Madison/WI: Univ. of Wisconsin Pr., 1992.
- Bergson, Henri (1911) „Creative Evolution“, Repr., New York: Random House, 1944.
- Bergson, Henri (1919) „L'Énergie Spirituelle“, 7. édition, Paris: Félix Alcan, 1922.
- Bergson, Henri (1948) „Denken und schöpferisches Werden“, Meisenheim/Glan: Hain, 1948.

Bibliographie

- Berkeley, Edmund C. (1954) „The Algebra of States and Events“, in: *Scientific Monthly*, Vol. 78, No. 4, 1954, pp. 232-242.
- Berkeley, George (1710) „A Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge“, Dublin: printed by Aaron Rhames, for Jeremy Pepyat, 1710.
- Berkovich, Simon (2001) „On the "Barcode" Functionality of the DNA, or the Phenomenon of Life in the Physical Universe“, Working Paper, 2001.
- Berkovich, Simon (2005) „Prediction of the Virgo Axis Anisotropy: CMB Radiation Illuminates the Nature of Things“, Working Paper, 2005.
- Berkovich, Simon (2011) „Physical World as an Internet of Things“, *Proceedings of the 2nd International Conference on Computing for Geospatial Research & Applications (COM.Geo '11)*, Article No. 66, 2011.
- Bermejo-Alonso, Julita; Sanz, Ricardo (2006) „A Survey on Ontologies for Agents. Integrating Cognition and Emotion for Autonomous Systems“, Working Paper, ICEA Consortium, ASLab-ICEA-R-2006-002 v 1.0 Draft, 2006.
- Bermejo-Alonso, Julita; Sanz, Ricardo; Rodríguez, Manuel; Hernández, Carlos (2010a) „An Ontological Framework for Autonomous Systems Modelling“, in: *International Journal of Advances in Intelligent Systems*, Vol. 3, No. 3-4, 2010, pp. 211-225.
- Bermejo-Alonso, Julita; Sanz, Ricardo; Rodríguez, Manuel; Hernández, Carlos (2010b) „An Ontology-Based Approach for Autonomous Systems' Description and Engineering. The OASys Framework“, in: „Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems“, ed. by Setchi, Rossitza et al., 14th International Conference, KES 2010, Cardiff, UK, September 8-10, 2010, *Proceedings, Part I*, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 522-531.
- Bermejo-Alonso, Julita; Sanz, Ricardo; Rodríguez, Manuel; Hernández, Carlos (2011) „Engineering an Ontology for Autonomous Systems - The OASys Ontology“, ed. by Filipe, Joaquim; Dietz, Jan L.G., *Proceedings of the International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development, KEOD2011*, SciTePress, 2011, pp. 47-58.
- Bermejo-Alonso, Julita; Sanz, Ricardo; Rodríguez, Manuel; Hernández, Carlos (2013) „Ontology Engineering for the Autonomous Systems Domain“, in: „Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management“, ed. by Fred, Ana et al., *Third International Joint Conference, IC3K 2011*, Paris, France, October 26-29, 2011, *Revised Selected Papers*, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 263-277.
- Bernard, Alain; Xu, Yang (2010) „Knowledge Assessing in Product Lifecycle Management“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., *Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath*, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 175-184.
- Bernays, Paul (1976) „Wissenschaft und Metaphysik“, in: „Science et Métaphysique“, ed. by Dockx, Stanislas I., Paris: Beauchesne, 1976, pp. 27-32.
- Berners-Lee, Tim (1989) „Information Management: A Proposal“, CERN, TBL March 1989, May 1990, TBL-900620, 1989.
- Berners-Lee, Tim (1999) „Weaving the Web: The Original Design and Ultimate Destiny of the World Wide Web by its Inventor“, New York/NY: HarperCollins, 1999.
- Berners-Lee, Tim (2003) „Re: New Issue-Meaning of URIs in RDF Documents“, Message to www-tag@w3.org Mailing List. <http://lists.w3.org/Archives/Public/www-tag/2003Jul/0158.html>, 2003.
- Berners-Lee, Tim (2008) „The Web of Things“, in: *ERCIM News*, No. 72, Jan., 2008, p. 3.
- Berners-Lee, Tim (2011) „Isn't it Semantic?“, in: „Leaders in Computing. Changing the Digital World“, ed. by BCS, The Chartered Institute for IT, Swindon/UK: British Informatics Society, 2011, pp. 43-52.
- Berners-Lee, Tim; Fielding, Roy; Masinter, Larry (2005) „IETF RFC 3986 - Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax“, <https://tools.ietf.org/html/rfc3986>, 2005.
- Berners-Lee, Tim; Hall, Wendy; Hendler, James A.; O'Hara, Kieron; Shadbolt, Nigel; Weitzner, Daniel J. (2006a) „A Framework for Web Science“, in: *Foundations and Trends in Web Science*, Vol. 1, No. 1, 2006, pp. 1-130.
- Berners-Lee, Tim; Hall, Wendy; Hendler, James; Shadbolt, Nigel; Weitzner, Daniel J. (2006b) „Creating a Science of the Web“, in: *Science (America)*, Vol. 313, No. 5788, 2006, pp. 769-771.
- Berners-Lee, Tim; Halpin, Harry (2012) „Defend the Web“, in: „Digital Enlightenment Yearbook 2012“, ed. by Bus, Jacques et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 3-7.
- Berners-Lee, Tim; Hendler, James A.; Lassila, Ora (2002) „The Semantic Web. A New Form of Web Content That is Meaningful to Computers Will Unleash a Revolution of New Possibilities“, in: *Scientific American*, Special Online Issue, April, 2002, pp. 24-30.
- Bernotaityte, Gintare et al. (2013) „Developing SBVR Vocabularies and Business Rules from OWL2 Ontologies“, in: „Information and Software Technologies“, ed. by Skersys, Tomas et al., 19th International

Bibliographie

- Conference, ICIST 2013 Kaunas, Lithuania, October 10-11, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 134-145.
- Bernus, Peter (2003) „Enterprise Models for Enterprise Architecture and ISO9000:2000“, in: Annual Reviews in Control, Vol. 27, 2003, pp. 211-220.
- Bernus, Peter; Nemes, Laszlo (1996a) „A Framework to Define a Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology“, in: Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 9, No. 3, 1996, pp. 179-191.
- Bernus, Peter; Nemes, Laszlo (1996b) „CERA Special Issue on Enterprise Modelling“, in: Concurrent Engineering, Vol. 4, No. 3, 1996, pp. 203-205.
- Bernus, Peter; Nemes, Laszlo (1996c) „Enterprise Integration - Engineering Tools for Designing Enterprises“, in: „Modelling and Methodologies for Enterprise Integration“, ed. by Bernus, Peter; Nemes, Laszlo, Proceedings of the IFIP TC5 Working Conference on Models and Methodologies for Enterprise Integration; Queensland, Australia, November 1995, London et al.: Chapman and Hall, 1996, pp. 3-11.
- Bernus, Peter; Nemes, Laszlo (1997) „Requirements of the Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology“, in: Annual Reviews in Control, Vol. 21, 1997, pp. 125-136.
- Bernus, Peter; Schmidt, Günter (2006) „Architectures of Information Systems“, in: „Handbook on Architectures of Information Systems“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 1-9.
- Berstel-Da Silva, Bruno (2014) „Verification of Business Rules Programs“, Berlin et al.: Springer, 2014.
- Bertalanffy, Ludwig von (1927a) „Über die neue Lebensauffassung“, in: Annalen der Philosophie und philosophischen Kritik, 6. Jg., 1927, S. 250-254.
- Bertalanffy, Ludwig von (1927b) „Scientia. Internationale Zeitschrift für wissenschaftliche Synthese (Book Review)“, in: Kant-Studien, 32. Jg., 1927, S. 348-349.
- Bertalanffy, Ludwig von (1928a) „Kritische Theorie der Formbildung“, Berlin: Borntraeger, 1928.
- Bertalanffy, Ludwig von (1928b) „Einleitung“, in: „Nikolaus von Kues“, hrsg. v. Bertalanffy, Ludwig von, München: Müller, 1928, S. 5-28.
- Bertalanffy, Ludwig von (1929) „Die Teleologie des Lebens“, in: Biologia Generalis, Bd. 5, Nr. 3, 1929, S. 379-394.
- Bertalanffy, Ludwig von (1930/31) „Tatsachen und Theorien der Formbildung als Weg zum Lebensproblem“, in: Erkenntnis, 1. Jg., 1930/31, S. 361-407.
- Bertalanffy, Ludwig von (1932) „Theoretische Biologie. Erster Band: Allgemeine Theorie, Physikochemie, Aufbau und Entwicklung des Organismus“, Berlin: Borntraeger, 1932.
- Bertalanffy, Ludwig von (1934) „Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeit des Wachstums. I. Teil: Allgemeine Grundlagen der Theorie; Mathematische und Physiologische Gesetzmäßigkeiten des Wachstums bei Wassertieren“, in: Wilhelm Roux' Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen, Bd. 131, Nr. 4, 1934, S. 613-652.
- Bertalanffy, Ludwig von (1935) „Woltereck, Grundzüge einer allgemeinen Biologie (Book Review)“, in: Erkenntnis, 5. Jg., 1935, S. 368-369.
- Bertalanffy, Ludwig von (1937) „Das Gefüge des Lebens“, Leipzig, Berlin: Teubner, 1937.
- Bertalanffy, Ludwig von (1938) „A Quantitative Theory of Organic Growth (Inquiries on Growth Laws. II.)“, in: Human Biology, Vol. 10, No. 2, May, 1938, pp. 181-213.
- Bertalanffy, Ludwig von (1940) „Der Organismus als physikalisches System betrachtet“, in: Naturwissenschaften, 28. Jg., Nr. 33, 1940, S. 521-531.
- Bertalanffy, Ludwig von (1943) „Jordan, Pascual, Die Physik und das Geheimnis des organischen Lebens. (Die Wissenschaft. Einzeldarstellungen aus der Naturwissenschaft und der Technik. Bd. 95. Hrsg. v. Wilhelm Westphal.) Braunschweig: Friedr. Vieweg u. Sohn 1941“, 1943.
- Bertalanffy, Ludwig von (1944) „Vom Molekül zur Organismenwelt. Grundfragen der modernen Biologie“, Potsdam: Athenaion, 1944.
- Bertalanffy, Ludwig von (1947) „Vom Sinn und der Einheit der Wissenschaften“, in: Der Student, Bd. 2, No. 7/8, engl. Übers. in Bertalanffy (1968: 257 ff.), Wien, 1947, S. 10-11.
- Bertalanffy, Ludwig von (1949a) „Das Biologische Weltbild. Erster Band: Die Stellung des Lebens in Natur und Wissenschaft“, Bern: A. Francke, 1949.
- Bertalanffy, Ludwig von (1949b) „Zu einer allgemeinen Systemlehre“, in: Biologia Generalis, Bd. 19, Nr. 1, 1949, S. 114-129.
- Bertalanffy, Ludwig von (1950a) „An Outline of General Systems Theory“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 1, No. 2, 1950, pp. 134-165.
- Bertalanffy, Ludwig von (1950b) „The Theory of Open Systems in Physics and Biology“, in: Science, Vol. 111, January 13, 1950, pp. 23-29.

Bibliographie

- Bertalanffy, Ludwig von (1951a) „Auf den Pfaden des Lebens. Ein biologisches Skizzenbuch“, Wien: Universum Verl.-Ges., 1951.
- Bertalanffy, Ludwig von (1951b) „General System Theory: A New Approach to Unity of Science. 1. Problems of General System Theory“, in: *Human Biology*, Vol. 23, No. 4, 1951, pp. 302-312.
- Bertalanffy, Ludwig von (1951c) „General System Theory: A New Approach to Unity of Science. 5. Conclusion“, in: *Human Biology*, Vol. 23, No. 4, 1951, pp. 336-345.
- Bertalanffy, Ludwig von (1951d) „General System Theory: A New Approach to Unity of Science. 6. Towards a Physical Theory of Organic Teleology“, in: *Human Biology*, Vol. 23, No. 4, Dec., 1951, pp. 346-361.
- Bertalanffy, Ludwig von (1953) „Biophysik des Fließgleichgewichts“, Braunschweig: Vieweg, 1953.
- Bertalanffy, Ludwig von (1955a) „Die Evolution der Organismen“, in: „Schöpfungsglaube und Evolutionstheorie“, hrsg. v. Bertalanffy, Ludwig von et al., Stuttgart: Kröner, 1955, S. 53-66.
- Bertalanffy, Ludwig von (1955b) „An Essay on the Relativity of Categories“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 22, No. 4, 1955, pp. 243-263.
- Bertalanffy, Ludwig von (1957) „Allgemeine Systemtheorie. Wege zu einer neuen Mathesis Universalis“, in: *Deutsche Universitätszeitung*, 12. Jg., Nr. 5/6, 1957, S. 8-12.
- Bertalanffy, Ludwig von (1962) „General System Theory - A Critical Review“, in: *General Systems. Yearbook of the Society for General Systems Research*, Vol. 7, 1962, pp. 1-20.
- Bertalanffy, Ludwig von (1965) „Zur Geschichte theoretischer Modelle in der Biologie“, in: *Studium Generale*, Bd. 18, Nr. 5, 1965, S. 290-298.
- Bertalanffy, Ludwig von (1968) „General System Theory. Foundations, Development, Applications“, 15th Pr., New York: Braziller, 2006.
- Bertalanffy, Ludwig von (1969) „Chance or Law“, in: „Beyond Reductionism. New Perspectives in the Life Sciences“, ed. by Koestler, Arthur; Smythies, John R., The Alpbach Symposium 1968, London: Hutchinson, 1969, pp. 56-84.
- Bertalanffy, Ludwig von (1970) „... aber vom Menschen wissen wir nichts“, dt. Übers. v.: 'Robots, men and minds', Düsseldorf, Wien: Econ, 1970.
- Bertalanffy, Ludwig von (1972a) „Vorläufer und Begründer der Systemtheorie“, in: „Systemtheorie“, hrsg. v. Kurzrock, Ruprecht, Berlin: Colloquium-Verl. Hess, 1972, S. 17-28.
- Bertalanffy, Ludwig von (1972b) „The History and Status of General Systems Theory“, in: *Academy of Management Journal*, Vol. 15, No. 4, General Systems Theory, 1972, pp. 407-426.
- Bertalanffy, Ludwig von (1975) „Perspectives on General System Theory. Scientific-Philosophical Studies“, ed. by Taschdjian, Edgar, New York: Braziller, 1975.
- Bertalanffy, Ludwig von; Beier, Walter; Laue, Reinhard (1977) „Biophysik des Fließgleichgewichts“, 2., bearb. u. erw. Aufl., Braunschweig: Vieweg, 1977.
- Bertino, Elisa; Catania, Barbara; Zarri, Gian Piero (2001) „Intelligent Database Systems“, Harlow et al.: Addison-Wesley, 2001.
- Berto, Francesco; Plebani, Matteo (2015) „Ontology and Metaontology. A Contemporary Guide“, London et al.: Bloomsbury, 2015.
- Bertolazzi, Paola; Krusich, Carlo; Missikoff, Michele (2001) „An Approach to the Definition of a Core Enterprise Ontology: CEO“, International Workshop on Open Enterprise Solutions: Systems, Experiences, and Organizations, Rome, September 14-15, 2001.
- Bertoni, Marco; Bordegoni, Monica; Cugini, Umberto; Regazzoni, Daniele; Rizzi, Caterina (2009) „PLM Paradigm: How to Lead BPR within the Product Development Field“, in: *Computers in Industry*, Vol. 60, No. 7, 2009, pp. 476-484.
- Beydoun, Ghassan; Tran, Quynh-Nhu Numi; Low, Graham; Henderson-Sellers, Brian (2005) „Preliminary Basis for an Ontology-Based Methodological Approach for Multi-agent Systems“, in: „Perspectives in Conceptual Modeling“, ed. by Akoka, Jacky et al., ER 2005 Workshop AOIS, BP-UML, CoMoGIS, eCOMO, and QoIS, Klagenfurt, Austria, October 24-28, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 131-140.
- Beydoun, Ghassan; Tran, Quynh-Nhu Numi; Low, Graham; Henderson-Sellers, Brian (2006) „Foundations of Ontology-Based MAS Methodologies“, in: „Agent-Oriented Information Systems III“, ed. by Kolp, Manuel et al., 7th International Bi-Conference Workshop, AOIS 2005, Utrecht, Netherlands, July 26, 2005, and Klagenfurt, Austria, October 27, 2005, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 111-123.

Bibliographie

- Bhandari, Shiddartha Raj; Bergmann, Neil W. (2013) „An Internet-of-Things System Architecture based on Services and Events“, IEEE Eighth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, Melbourne/VIC, Australia, 2-5 April, 2013, pp. 339-344.
- Bhargava, Subhash C.; Mukherjee, Amitabha (1994) „Evolution of Technological Growth in a Model Based on Stochastic Cellular Automata“, in: „Evolutionary Economics and Chaos Theory. New Directions in Technology Studies“, ed. by Leydesdorff, Loet; Van den Besselaar, Peter, London: Pinter, 1994, pp. 55-62.
- Bhargavi, Rentachintala (2016) „Complex Event Processing Framework for Big Data Applications“, in: „Data Science and Big Data Computing. Frameworks and Methodologies“, ed. by Mahmood, Zaigham, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 41-56.
- Bhargavi, Rentachintala; Pathak, Ravi; Vaidehi, Vijay (2013) „Dynamic Complex Event Processing - Adaptive Rule Engine“, International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), Chennai/India, 25-27 July, 2013, pp. 189-194.
- Bhargavi, Rentachintala; Vaidehi, Vijay (2011) „Complex Event Processing for Object Tracking and Intrusion Detection in Wireless Sensor Networks“, in: International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 3, No. 3, 2011, pp. 435-439.
- Bhargavi, Rentachintala; Vaidehi, Vijay (2013) „Semantic Intrusion Detection with Multisensor Data Fusion Using Complex Event Processing“, in: Sadhana, Vol. 38, No. 2, 2013, pp. 169-185.
- Bhaskar, Roy (2008) „A Realist Theory of Science“, 2nd ed., London, New York: Routledge, 2008.
- Bhatia, M.P.S.; Kumar, Akshi; Beniwal, Rohit (2016) „Ontologies for Software Engineering: Past, Present and Future“, in: Indian Journal of Science and Technology, Vol. 9, No. 9, 2016, pp. 1-16.
- Bhiri, Sami; Gaaloul, Walid; Rouached, Mohsen; Hauswirth, Manfred (2009) „Semantic Web Services for Satisfying SOA Requirements“, in: „Advances in Web Semantics I. Ontologies, Web Services and Applied Semantic Web“, ed. by Dillon, Tharam S. et al., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 374-395.
- Bibel, Wolfgang (2004) „AI and the Conquest of Complexity in Law“, in: Artificial Intelligence and Law, Vol. 12, 2004, pp. 159-180.
- Bibel, Wolfgang (2006) „Kreativität aus Sicht der Intellektik. Verständnis und künstliche Realisierung“, in: „Kreativität“, hrsg. v. Abel, Günter, Hamburg: Meiner, 2006, S. 885-909.
- Bibel, Wolfgang (2007) „Wissenssysteme und Komplexitätsbewältigung“, in: „Dynamisches Denken und Handeln. Philosophie und Wissenschaft in einer komplexen Welt“, hrsg. v. Leiber, Theodor, Festschrift für Klaus Mainzer zum 60. Geburtstag, Stuttgart: Hirzel, 2007, S. 91-109.
- Bickhard, Mark H. (2003) „Process and Emergence: Normative Function and Representation“, in: „Process Theories. Crossdisciplinary Studies in Dynamic Categories“, ed. by Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Kluwer, 2003, pp. 121-155.
- Bickhard, Mark H. (2010) „Interactive Knowing: The Metaphysics of Intentionality“, in: „Theory and Applications of Ontology: Philosophical Perspectives“, ed. by Poli, Roberto; Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 207-229.
- Bickhard, Mark H.; Campbell, Donald T. (2000) „Emergence“, in: „Downward Causation. Minds, Bodies and Matter“, ed. by Andersen, Peter Bøgh et al., Aarhus: Aarhus Univ. Pr., 2000, pp. 322-348.
- Bickhard, Mark H.; Terveen, Loren (1995) „Foundational Issues in Artificial Intelligence and Cognitive Science. Impasse and Solution“, Amsterdam et al.: Elsevier, 1995.
- Bider, Ilia; Bellinger, Gene; Perjons, Erik (2011) „Modeling an Agile Enterprise: Reconciling Systems and Process Thinking“, in: „The Practice of Enterprise Modeling“, ed. by Johannesson, Paul et al., 4th IFIP WG 8.1 Working Conference, PoEM 2011 Oslo, Norway, November 2-3, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 238-252.
- Bidney, David (1936) „The Problem of Substance in Spinoza and Whitehead“, in: Philosophical Review, Vol. 45, No. 6, 1936, pp. 574-592.
- Bieri, Peter (2007) „Was bleibt von der analytischen Philosophie?“, in: Deutsche Zeitschrift für Philosophie, Bd. 55, 2007, S. 333-344.
- Bigelow, John (1996) „Presentism and Properties“, in: „Philosophical Perspectives, 10, Metaphysics“, ed. by Tomberlin, James E., Cambridge/Mass.: Blackwell, 1996, pp. 35-52.
- Biletzki, Anat (2001) „Introduction: Bridging the Analytic-Continental Divide“, in: International Journal of Philosophical Studies, Vol. 9, No. 3, 2001, pp. 291-294.
- Bilgic, Taner; Rock, Dennis (1997) „Product Data Management Systems: State-of-the-art and the Future“, Proceedings of the 1997 ASME design engineering technical conferences, 1997.

Bibliographie

- Bimschas, Daniel; Hasemann, Henning; Hauswirth, Manfred; Karnstedt, Marcel; Kleine, Oliver; Kröller, Alexander et al. (2011) „Semantic-Service Provisioning for the Internet of Things“, in: *Electronic Communications of the EASST*, Vol. 37, 2011, pp. 1-12.
- Bindal, Ahmet (2017) „Electronics for Embedded Systems“, Cham et al.: Springer, 2017.
- Birch, Charles (1974) „Chance, Necessity and Purpose“, in: „*Studies in the Philosophy of Biology*“, ed. by Ayala, Francisco J.; Dobzhansky, Theodosius, London et al.: Macmillan, 1974, pp. 225-239.
- Birkhoff, Garrett; Neumann, John von (1936) „The Logic of Quantum Mechanics“, in: *The Annals of Mathematics*, 2nd Ser., Vol. 37, No. 4, 1936, pp. 823-843.
- Biron, Joe; Follett, Jonathan (2016) „Foundational Elements of an IoT Solution. The Edge, The Cloud, and Application Development“, Sebastopol/CA: O'Reilly, 2016.
- Bissay, Aurélie; Pernelle, Philippe; Lefebvre, Arnaud; Bouras, Abdelaziz (2008) „Business Processes Integration and Performance Indicators in a PLM“, APMS'08, Espoo, Finlande, 2008.
- Bitkom/VDMA/ZVEI (2016) „Implementation Strategy Industrie 4.0. Report on the Results of the Industrie 4.0 Platform“, January, 2016.
- Bittner, Thomas (2007) „From Top-Level to Domain Ontologies: Ecosystem Classifications as a Case Study“, in: „*Spatial Information Theory*“, ed. by Winter, Stephan et al., 8th International Conference, COSIT 2007, Melbourne, Australia, September 19-23, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 61-77.
- Bittner, Thomas; Donnelly, Maureen (2007) „Logical Properties of Foundational Relations in Bio-Ontologies“, in: *Artificial Intelligence in Medicine*, Vol. 39, No. 3, 2007, pp. 197-216.
- Bittner, Thomas; Donnelly, Maureen; Smith, Barry (2004) „Individuals, Universals, Collections: On the Foundational Relations of Ontology“, in: „*Formal Ontology in Information Systems*“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 37-48.
- Bitzer, Michael; Eigner, Martin; Gilz, Torsten (2010) „Crossing the Innovation Chasm with New Concepts of DMU in PLM“, in: „*Product Lifecycle Management*“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 517-526.
- Bizer, Christian; Heath, Tom; Berners-Lee, Tim (2009) „Linked Data - The Story So Far“, in: *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, Vol. 5, No. 3, 2009, pp. 1-22.
- Blackman, Deborah A.; Henderson, Steven (2007) „Being and Knowing - Ontological Perspectives on Knowledge Management Systems“, in: *Electronic Journal of Knowledge Management*, Vol. 5, No. 3, 2007, pp. 283-290.
- Blair, George A. (1992) „Energieia and Entelecheia: 'Act' in Aristotle“, Ottawa: Univ. of Ottawa Pr., 1992.
- Blake, M. Brian; Bartalos, Peter (2014) „Service-Oriented Software Engineering Lifecycles: Methodologies and Operations for Adaptability in Enterprise Settings“, in: „*Adaptive, Dynamic, and Resilient Systems*“, ed. by Suri, Niranjan; Cabri, Giacomo, Boca Raton et al.: CRC Pr., 2014, pp. 21-30.
- Blasch, Erik P.; Costa, Paulo C.G. et al. (2012) „Issues of Uncertainty Analysis in High-Level Information Fusion“, 2012.
- Blasch, Erik P.; Kessler, Otto et al. (2012) „Information Fusion Management and Enterprise Processing“, IEEE National Aerospace and Electronics Conf. (NAECON), 2012.
- Blasch, Erik P.; Lambert, Dale A. et al. (2012) „High Level Information Fusion (HLIF): Survey of Models, Issues, and Grand Challenges“, in: *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, Vol. 27, No. 9, 2012, pp. 4-20.
- Blasch, Erik P.; Valin, Pierre et al. (2012) „Top Ten Trends in High-Level Information Fusion“, 15th Int. Conference on Information Fusion (FUSION 2012), Singapore, 9-12 July, 2012, pp. 2323-2330.
- Blecker, Thorsten; Abdelkafi, Nizar; Kreuter, Gerold; Friedrich, Gerhard (2004) „Product Configuration Systems: State-of-the-Art, Conceptualization and Extensions“, 2004.
- Blitz, David (1990) „Emergent Evolution and the Level Structure of Reality“, in: „*Studies on Mario Bunge's Treatise*“, ed. by Weingartner, Paul; Dorn, Georg J.W., Amsterdam, Atlanta/GA: Rodopi, 1990, pp. 153-169.
- Blitz, David (1992) „Emergent Evolution. Qualitative Novelty and the Levels of Reality“, Dordrecht et al.: Kluwer, 1992.
- Block, Ned (1980) „Introduction: What Is Functionalism?“, in: „*Readings in Philosophy of Psychology*, Vol. 1“, ed. by Block, Ned, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1980, pp. 171-184.
- Block, Ned (1990) „Can the Mind Change the World?“, in: „*Meaning and Method. Essays in Honor of Hilary Putnam*“, ed. by Boolos, George, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1990, pp. 137-170.

Bibliographie

- Block, Ned (1991) „Troubles with Functionalism“, in: „The Nature of Mind“, ed. by Rosenthal, David M., New York, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1991, pp. 211-228.
- Block, Ned (1995) „Functionalism“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 188-194.
- Bloehdorn, Stephan; Cimiano, Philipp; Hotho, Andreas; Staab, Steffen (2005) „An Ontology-based Framework for Text Mining“, in: Journal for Language Technology and Computational Linguistics, LDV Forum, Vol. 20, No. 1, 2005, pp. 87-112.
- Bloor (2016) „Streaming Analytics 2016“, Market Report Paper, 2016.
- Blum, Paul R. (2010) „Michael Polanyi: Can The Mind Be Represented by a Machine? Documents of the Discussion in 1949“, in: Polanyiana, Vol. 19, No. 1-2, 2010, pp. 35-60.
- Blume, Thomas; Demmerling, Christoph (1998) „Grundprobleme der analytischen Sprachphilosophie: von Frege zu Dummett“, Paderborn et al.: Schöningh, 1998.
- BMW (2016a) „Aspects of the Research Roadmap in Application Scenarios“, Plattform Industrie 4.0, Working Paper, Berlin, April, 2016.
- BMW (2016b) „Interaction Model for Industrie 4.0 Components“, Plattform Industrie 4.0, Discussion Paper, Berlin, March, 2016.
- BMW (2016c) „Structure of the Administration Shell. Continuation of the Development of the Reference Model for the Industrie 4.0 Component“, Plattform Industrie 4.0, Working Paper, Berlin, April, 2016.
- Bo, Deng; Kun, Ding; Xiaoyi, Zhang (2008) „A High Performance Enterprise Service Bus Platform for Complex Event Processing“, Seventh International Conference on Grid and Cooperative Computing, Shenzhen, 24-26 Oct., 2008, pp. 577-582.
- Bobrow, Daniel G. (1964) „Natural Language Input for a Computer Problem Solving System“, Ph.D., Massachusetts Institute of Technology, 1964.
- Bochenski, Joseph M. (1974) „Logic and Ontology“, in: Philosophy East and West, Vol. 24, No. 3, 1974, pp. 275-292.
- Bock, Conrad; Grüninger, Michael (2005) „PSL: A Semantic Domain for Flow Models“, in: Software and System Modeling, Vol. 4, No. 2, 2005, pp. 209-231.
- Bodart, François; Patel, Arvind; Sim, Marc; Weber, Ron (2001) „Should Optional Properties Be Used in Conceptual Modelling? A Theory and Three Empirical Tests“, in: Information Systems Research, Vol. 12, No. 4, 2001, pp. 384-405.
- Boden, Margaret A. (1977) „Artificial Intelligence and Natural Man“, 2nd ed., expanded, New York: Basic Books, 1987.
- Boden, Margaret A. (1990a) „Introduction“, in: „The Philosophy of Artificial Intelligence“, ed. by Boden, Margaret A., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1990, pp. 1-21.
- Boden, Margaret A. (1990b) „Escaping from the Chinese Room“, in: „The Philosophy of Artificial Intelligence“, ed. by Boden, Margaret A., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1990, pp. 89-104.
- Boden, Margaret A. (1996a) „Introduction“, in: „The Philosophy of Artificial Life“, ed. by Boden, Margaret A., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 1-35.
- Boden, Margaret A. (1996b) „Autonomy and Artificiality“, in: „The Philosophy of Artificial Life“, ed. by Boden, Margaret A., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 95-108.
- Boden, Margaret A. (1998) „Computing and Creativity“, in: „The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy“, ed. by Bynum, Terrell W.; Moor, James H., Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 308-319.
- Boden, Margaret A. (2006) „Mind as Machine. A History of Cognitive Science“, 2 Vols., Oxford: Clarendon Pr., 2006.
- Bodenreider, Olivier; Burgun, Anita (2005) „Biomedical Ontologies“, in: „Medical Informatics. Knowledge Management and Data Mining in Biomedicine“, ed. by Chen, Hsinchun et al., Boston/Mass.: Springer, 2005, pp. 211-236.
- Bodenreider, Olivier; Smith Barry; Burgun, Anita (2004) „The Ontology-Epistemology Divide: A Case Study in Medical Terminology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 185-195.
- Boella, Guido; Lesmo, Leonardo; Damiano, Rossana (2004) „On the Ontological Status of Plans and Norms“, in: Artificial Intelligence and Law, Vol. 12, No. 4, 2004, pp. 317-357.

Bibliographie

- Boella, Guido; Van der Torre, Leendert (2004) „An Agent-Oriented Ontology of Social Reality“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 199-209.
- Boella, Guido; Van der Torre, Leendert (2006) „A Foundational Ontology of Organizations and Roles“, in: „Declarative Agent Languages and Technologies IV“, ed. by Baldoni, Matteo; Endriss, Ulle, 4th International Workshop, DALT 2006, Hakodate, Japan, May 8, 2006, Selected, Revised and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 78-88.
- Boella, Guido; Van der Torre, Leendert; Verhagen, Harko (2007) „Roles, an Interdisciplinary Perspective“, in: Applied Ontology, Vol. 2, No. 2, 2007, pp. 81-88.
- Bohlouli, Mahdi; Schulz, Frank; Angelis, Lefteris; Pahor, David; Brandic, Ivona; Atlan, David; Tate, Rosemary (2013) „Towards an Integrated Platform for Big Data Analysis“, in: „Integration of Practice-Oriented Knowledge Technology: Trends and Perspectives“, ed. by Fathi, Madjid, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 47-56.
- Bohm, David (1977) „The Implicate or Enfolded Order: A New Order for Physics“, in: „Mind in Nature: Essays on the Interface of Science and Philosophy“, ed. by Cobb, John B., Jr.; Griffin, David Ray, Washington: Univ. Pr. of America, 1977, pp. 37-42.
- Bohm, David (1980) „Wholeness and the Implicate Order“, London: Routledge & Kegan Paul, 1980.
- Bollen, Peter (2008) „SBVR: A Fact-Oriented OMG Standard“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2008 Workshops“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 718-727.
- Bollen, Peter (2009) „The Orchestration of Fact-Oriented and SBVR“, in: „Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling“, ed. by Halpin, Terry et al., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 302-312.
- Bollen, Peter (2013) „Towards a Hierarchy in Domain Ontologies“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2013 Workshop“, ed. by Demey, Yan Tang; Panetto, Hervé, Graz, Austria, September 9-13, 2013, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 424-431.
- Böloni, Ladislau; Marinescu, Dan C. (1999) „A Component Agent Model - from Theory to Implementation“, Second Intl. Symp. from Agent Theory to Agent Implementation, in Proc. Cybernetics and Systems, Austrian Society of Cybernetic Studies, 1999, pp. 633-639.
- Boltzmann, Ludwig (1897) „Zu Hr. Zermelo's Abhandlung 'Ueber die Mechanische Erklärung irreversibler Vorgänge““, in: Annalen der Physik und Chemie, N.F., Bd. 60, No. 2, 1897, S. 392-398.
- Boltzmann, Ludwig (1903) „Über die Prinzipien der Mechanik. Zwei akademische Antrittsreden“, Leipzig: Hirzel, 1903.
- Bolzano, Bernard (1837) „Wissenschaftslehre“, in 4 Bden. Mit e. Nachweis d. v. Bolzano zitierten Verf., Werke u. Stellen hrsg. v. Wolfgang Schultz. Neudr., 2., verb. Aufl., Leipzig: Meiner, 1929.
- Bonabeau, Eric W.; Theraulaz, Guy (1994) „Why Do We Need Artificial Life?“, in: Artificial Life, Vol. 1, No. 3, 1994, pp. 303-325.
- Bonfatti, Flavio; Pazzi, Luca (1995) „Ontological Foundations for State and Identity Within the Object-oriented Paradigm“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 891-906.
- Bonomi, Flavio; Milito, Rodolfo; Natarajan, Preethi; Zhu, Jiang (2014) „Fog Computing: A Platform for Internet of Things and Analytics“, in: „Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments“, ed. by Bessis, Nik; Dobre, Ciprian, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 169-186.
- Bonomi, Flavio; Milito, Rodolfo; Zhu, Jiang; Addepalli, Sateesh (2012) „Fog Computing and Its Role in the Internet of Things“, Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing (MCC '12), Helsinki/Finland, August 17, 2012, pp. 13-15.
- Boole, George (1847) „The Mathematical Analysis of Logic. Being an Essay Towards a Calculus of Deductive Reasoning“, Repr., New York: Barnes and Noble, 1965.
- Boole, George (1848) „The Calculus of Logic“, in: Cambridge and Dublin Mathematical Journal, Vol. 3, 1848, pp. 183-198.
- Boole, George (1854) „An Investigation of the Laws of Thought, on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities“, London: Macmillan, 1854.
- Boolos, George (1998) „Logic, Logic, and Logic“, Cambridge/Mass., London: Harvard Univ. Pr., 1998.
- Boolos, George; Jeffrey, Richard C. (1974) „Computability and Logic“, 2nd ed., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1980.
- Boos, Wolfgang von; Zancul, Eduardo (2006) „PPS-Systeme als Bestandteil des Product Lifecycle Management“, in: „Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte“, hrsg. v. Schuh, Günther, Berlin et al.: Springer, 2006, S. 781-808.

Bibliographie

- Borangiu, Theodor; Dragoicea, Monica; Oltean, Virginia Ecaterina; Iacob, Iulia (2014) „A Generic Service System Activity Model with Event-Driven Operation Reconfiguring Capability“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 159-175.
- Borangiu, Theodor; Raileanu, Silviu; Stocklosa, Octavian; Tahon, Christian; Berger, Thierry; Trentesaux, Damien (2012) „Service Oriented Control Framework for a Holonic System Characterized by a Guided Flow of Entities“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing Control“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 21-34.
- Borch, Signe Ellegård; Jespersen, Jacob W.; Linvald, Jesper; Østerby, Kasper (2003) „A Model Driven Architecture for REA based Systems“, Proceedings of the Workshop on Model Driven Architecture: Foundations and Applications, June 26-27, Enschede, Netherlands, 2003, pp. 103-107.
- Borch, Signe Ellegård; Stefansen, Christian (2004) „Evaluating the REA Enterprise Ontology from an Operational Perspective“, in: „EMOI - INTEROP 2004. Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability“, ed. by Missikoff, Michele, Proceedings of the Open InterOp Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability, co-located with CAiSE'04 Conference, Riga (Latvia), 7-8 June, 2004.
- Börger, Egon; Sörensen, Ove (2011) „BPMN Core Modeling Concepts: Inheritance-Based Execution Semantics“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 287-332.
- Borgia, Eleonora (2014) „The Internet of Things Vision: Key Features, Applications and Open Issues“, in: Computer Communications, Vol. 54, 2014, pp. 1-31.
- Borgida, Alexander; Brachman, Ronald J. (2010) „Conceptual Modeling with Description Logics“, in: „The Description Logic Handbook“, ed. by Baader, Franz et al., 2nd ed., Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2010, pp. 377-401.
- Borgida, Alexander; Greenspan, Sol; Mylopoulos, John (1985) „Knowledge Representation as the Basis for Requirements Specifications“, in: IEEE Computer, Vol. 18, No. 4, 1985, pp. 82-91.
- Borgo, Stefano (2010) „The Integration of Ontological Categories and Domain Concepts in Applied Ontology“, in: „VIII European Conference on Computing and Philosophy (ECAP10)“, ed. by Mainzer, Klaus, 4-6 October 2010, TU München, München: Verl. Dr. Hut, 2010, pp. 44-51.
- Borgo, Stefano; Carrara, Massimiliano; Vermaas, Pieter E.; Garbacz, Pawel (2006) „Behavior of a Technical Artifact: An Ontological Perspective in Engineering“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 214-225.
- Borgo, Stefano; Franssen, Maarten; Garbacz, Pawel; Kitamura, Yoshinobu; Mizoguchi, Riichiro; Vermaas, Pieter E. (2011) „Technical Artifact: An Integrated Perspective“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Vermaas, Pieter E.; Dignum, Virginia, Fifth International Workshop 'Formal Ontologies Meet Industry' (FOMI 2011), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2011, pp. 3-15.
- Borgo, Stefano; Gangemi, Aldo (2004) „At the Core of Core Ontologies. Preface to the Proceedings of the Workshop on 'Core Ontologies in Ontology Engineering'“, in: „Core Ontologies in Ontology Engineering 2004. (Un)Successful Cases and Best Practices for Ontology Engineering: Reusing Well-founded Ontologies for Domain Content Specification“, ed. by Gangemi, Aldo; Borgo, Stefano, Proceedings of the EKAW*04 Workshop on Core Ontologies in Ontology Engineering, Northamptonshire (UK), October 8, 2004.
- Borgo, Stefano; Gangemi, Aldo; Guarino, Nicola; Masolo, Claudio; Oltramari, Alessandro (2002) „WonderWeb Deliverable D15. Ontology RoadMap“, Vers. 1.0, Final, 2002.
- Borgo, Stefano; Guarino, Nicola; Masolo, Claudio (1996) „A Pointless Theory of Space Based on Strong Connection and Congruence“, Proceedings of Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR96), Morgan Kaufmann, 1996, pp. 220-229.
- Borgo, Stefano; Guarino, Nicola; Masolo, Claudio (1997) „An Ontological Theory of Physical Objects“, Proceedings of Qualitative Reasoning 11th International Workshop, 1997, pp. 223-231.
- Borgo, Stefano; Leitão, Paulo (2007) „Foundations for a Core Ontology of Manufacturing“, in: „Ontologies. A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems“, ed. by Sharman, Raj et al., Boston/Mass.: Springer, 2007, pp. 751-775.
- Borgo, Stefano; Lesmo, Leonardo (2008) „The Attractiveness of Foundational Ontologies in Industry“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Borgo, Stefano; Lesmo, Leonardo, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 1-9.
- Borgo, Stefano; Masolo, Claudio (2006) „Qualities in Possible Worlds“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 250-261.

Bibliographie

- Borgo, Stefano; Masolo, Claudio (2009) „Foundational Choices in DOLCE“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 361-381.
- Borgo, Stefano; Masolo, Claudio (2010) „Ontological Foundations of DOLCE“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 279-295.
- Borgo, Stefano; Mizoguchi, Riichiro; Smith, Barry (2011) „On the Ontology of Functions“, in: *Applied Ontology*, Vol. 6, No. 2, 2011, pp. 99-104.
- Borgo, Stefano; Pozza, Giandomenico (2009) „Disentangling Knowledge Objects“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Ferrario, Roberta; Oltramari, Alessandro, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2009, pp. 90-101.
- Borgo, Stefano; Spagnoletti, Noemi; Vieu, Laure; Visalberghi, Elisabetta (2013) „Artifact and Artifact Categorization: Comparing Humans and Capuchin Monkeys“, in: *Review of Philosophy and Psychology*, Vol. 4, No. 3, 2013, pp. 375-389.
- Borgo, Stefano; Vieu, Laure (2006) „From Physical Artefacts to Products“, *Proceedings of Second Workshop FOMI, Trento (Italy) 14-15 December, 2006*, pp. 85-99.
- Borgo, Stefano; Vieu, Laure (2009) „Artefacts in Formal Ontology“, in: „Handbook of Philosophy of Technology and Engineering Sciences“, ed. by Meijers, Anthonie, Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 273-307.
- Bormann, Carsten; Castellani, Angelo P.; Shelby, Zach (2012) „CoAP: An Application Protocol for Billions of Tiny Internet Nodes“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 16, No. 2, 2012, pp. 62-67.
- Born, Max (1956) „Physics in my Generation“, London, New York: Pergamon Pr., 1956.
- Boros, János (1990) „Probleme der Inkommensurabilität“, in: „Die Vergleichbarkeit wissenschaftlicher Theorien“, hrsg. v. Agazzi, Evandro, Freiburg: Universitätsverl., 1990, S. 125-132.
- Borst, Willem Nico (Pim) (1997) „Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Re-use“, Ph.D. Diss., Univ. Twente, 1997.
- Borst, Willem Nico (Pim); Akkermans, Hans (1997) „An Ontology Approach to Product Disassembly“, in: „Knowledge Acquisition, Modeling and Management“, ed. by Plaza, Enric; Benjamins, Richard, 10th European Workshop, EKAW '97 Sant Feliu de Guixols, Catalonia, Spain October 15-18, 1997 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1997, pp. 33-48.
- Borst, Willem Nico (Pim); Akkermans, Hans; Pos, Anita; Top, Jan (1995) „The PhysSys Ontology for Physical Systems“, *Proceedings Workshop Qualitative Reasoning '95, Amsterdam/NL, 1995*, pp. 11-21.
- Borst, Willem Nico (Pim); Akkermans, Hans; Top, Jan (1997) „Engineering Ontologies“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 46, No. 2-3, 1997, pp. 365-406.
- Borthick, A. Faye; Bowen, Paul L.; Gerard, Gregory J. (2008) „Modeling a Business Process and Querying the Resulting Database: Analyzing RFID Data to Develop Business Intelligence“, in: *Journal of Information Systems*, Vol. 22, No. 2, 2008, pp. 331-350.
- Bosch (2017) „Industry 4.0 at Bosch: Product Catalog“, Robert Bosch GmbH - Bosch Connected Industry, 2017.
- Bosch-Mauchand, Magali; Bricogne, Matthieu; Eynard, Benoît; Gitto, Jean-Philippe (2014) „Preliminary Requirements and Architecture Definition for Integration of PLM and Business Intelligence Systems“, in: „Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World“, ed. by Grabot, Bernard et al., IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2014, Ajaccio, France, September 20-24, 2014, Proceedings, Part I, Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 265-272.
- Boscovich, Roger Joseph (1763) „*Theoria Philosophiæ Naturalis*“, Venetia, 1763.
- Bosin, Andrea; Dessi, Nicoletta; Madusudhanan, Bairappan; Pes, Barbara (2013) „A SOA-Based Environment Supporting Collaborative Experiments in E-Science“, in: „Web Portal Design, Implementation, Integration, and Optimization“, ed. by Polgar, Jana; Adamson, Greg, Hershey/PA: IGI Global, 2013, pp. 122-136.
- Bosin, Andrea; Dessi, Nicoletta; Pes, Barbara (2011) „Extending the SOA Paradigm to E-Science Environments“, in: *Future Generation Computer Systems*, Vol. 27, No. 1, 2011, pp. 20-31.
- Bossé, Éloi; Roy, Jean; Wark, Steve (2007) „Concepts, Models, and Tools for Information Fusion“, Boston, London: Artech House, 2007.
- Bostrom, Nick (2006) „How Long Before Superintelligence?“, in: *Linguistic and Philosophical Investigations*, Vol. 5, No. 1, 2006, pp. 11-30.
- Bostrom, Nick (2014) „Superintelligence. Paths, Dangers, Strategies“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2014.

Bibliographie

- Bottazzi, Emanuele; Ferrario, Roberta; Masolo, Claudio (2012) „The Mysterious Appearance of Objects“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 59-72.
- Botti, Vicente; Giret, Adriana (2008) „ANEMONA. A Mult-agent Methodology for Holonic Manufacturing Systems“, London: Springer, 2008.
- Bou-Ghannam, Akram (2013) „Foundational Ontologies for Smarter Industries“, IBM Corp. Redpaper REDP-5081-00, 2013.
- Boubaker, Anis; Cherif, Dhouha; Leshob, Abderrahmane; Mili, Hafedh (2014) „Value-Chain Discovery from Business Process Models“, in: „The Practice of Enterprise Modeling“, ed. by Frank, Ulrich et al., 7th IFIP WG 8.1 Working Conference, PoEM 2014 Manchester, UK, November 12-13, 2014, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 26-41.
- Boubaker, Anis; Mili, Hafedh; Leshob, Abderrahmane; Charif, Yasmine (2015) „Towards Automating Business Process Compensation Scoping Logic“, in: „E-Technologies“, ed. by Benyoucef, Morad et al., Cham et al.: Springer, 2015, pp. 20-36.
- Boubeta-Puig, Juan; Ortiz, Guadalupe; Medina-Bulo, Inmaculada (2014) „Approaching the Internet of Things through Integrating SOA and Complex Event Processing“, in: „Handbook of Research on Demand-Driven Web Services: Theory, Technologies, and Applications“, ed. by Sun, Zhaohao; Yearwood, John, Hershey/PA: Information Science Reference, 2014, pp. 304-323.
- Boulaalam, Abdelhak; Nfaoui, El Habib; El Beqqali, Omar (2011) „Mobile Agent PLM Architecture for Extended Enterprise“, in: International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, No. 1, 2011, pp. 55-61.
- Boulaalam, Abdelhak; Nfaoui, El Habib; El Beqqali, Omar (2013) „Architecture Based on Mobile Agent and PEIDs Technologies to Improve Innovation in PLM“, 8th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA), 8-9 May 2013, Rabat, 2013, pp. 1-6.
- Bouquet, Paolo; Giunchiglia, Fausto; Van Harmelen, Frank; Serafini, Luciano; Stuckenschmidt, Heiner (2003) „C-OWL: Contextualizing Ontologies“, in: „The Semantic Web - ISWC 2003“, ed. by Fensel, Dieter et al., Proceedings Second International Semantic Web Conference, Sanibel Island/FL, USA, October 20-23, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 164-179.
- Bouras, Athanasios; Gouvas, Panagiotis; Mentzas, Gregoris (2007a) „A Semantic Service-Oriented Architecture for Business Process Fusion“, in: „Semantic Web Technologies and E-Business: Toward the Integrated Virtual Organization and Business Process Automation“, ed. by Salam, Al Farooq N.; Stevens, Jason, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2007, pp. 40-76.
- Bouras, Athanasios; Gouvas, Panagiotis; Mentzas, Gregoris (2007b) „ENIO: An Enterprise Application Integration Ontology“, 18th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA '07), Regensburg, 3-7 Sept., 2007, pp. 419-423.
- Bourbaki, Nicholas (1950) „The Architecture of Mathematics“, in: American Mathematical Monthly, Vol. 57, No. 4, 1950, pp. 221-232.
- Bourgeois, Julien; Goldstein, Seth C. (2011) „The Internet of (Micro)-Things“, Keynote Speech of International Conference on Internet of Things and 4th International Conference on Cyber, Physical and Social Computing (iThings/CPSCOM), Dalian/China, 19-22 Oct., 2011, p. li.
- Bourgeois, Julien; Goldstein, Seth C. (2012) „Distributed Intelligent MEMS: Progresses and Perspectives“, in: „ICT Innovations 2011“, ed. by Kocarev, Ljupco, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 15-25.
- Bourgeois, Julien; Goldstein, Seth C. (2015) „Distributed Intelligent MEMS: Progresses and Perspectives“, in: IEEE Systems Journal, Vol. 9, No. 3, 2015, pp. 1057-1068.
- Bourgeois, Julien; Piranda, Benoit; Naz, André; Boillot, Nicolas; Mabed, Hakim; Dhoutaut, Dominique et al. (2016) „Programmable Matter as a Cyber-Physical Conjugation“, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Budapest/Hungary, 9-12 Oct., 2016, pp. 2942-2947.
- Boury-Brisset, Anne-Claire (2003) „Ontology-based Approach for Information Fusion“, Proceedings of the 6th International Conference on Information Fusion, Cairns, 8-11 July, Australia, 2003, pp. 522-529.
- Boury-Brisset, Anne-Claire (2013) „Managing Semantic Big Data for Intelligence“, in: „STIDS 2013 - Semantic Technologies for Intelligence, Defense, and Security“, ed. by Blackmond Laskey, Kathryn et al., Proceedings of the Eighth Conference on Semantic Technologies for Intelligence, Defense, and Security, Fairfax VA, USA, November 12-15, 2013, pp. 41-47.
- Brachman, Ronald J. (1979) „On the Epistemological Status of Semantic Networks“, in: „Associative Networks: Representation and Use of Knowledge by Computers“, ed. by Findler, Nicholas V., New York: Academic Pr., 1979, pp. 3-50.

Bibliographie

- Brachman, Ronald J. (1983) „What IS-A Is and Isn't: An Analysis of Taxonomic Links in Semantic Networks“, in: IEEE Computer, Vol. 16, No. 10, 1983, pp. 30-36.
- Brachman, Ronald J. (1992a) „Reducing' CLASSIC to Practice: Knowledge Representation Theory Meets Reality“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Nebel, Bernhard et al., Proceedings of the Third Int. Conference (KR'92), Cambridge/Mass., October 25-29, San Mateo/CA: Morgan Kaufman, 1992, pp. 247-258.
- Brachman, Ronald J. (1992b) „What Is Knowledge Representation, and Where Is It Going?“, in: „Future Tendencies in Computer Science, Control and Applied Mathematics“, ed. by Bensoussan, Alain; Verjus, Jean-Pierre, International Conference on the Occasion of the 25th Anniversary of INRIA Paris, France, December 8-11, 1992 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1992, pp. 189-203.
- Brachman, Ronald J.; Levesque, Hector J. (1985) „Introduction“, in: „Readings in Knowledge Representation“, ed. by Brachman, Ronald J.; Levesque, Hector J., San Mateo/Cal.: Morgan Kaufmann, 1985, pp. xiii-xix.
- Brachman, Ronald J.; Levesque, Hector J. (2004) „Knowledge Representation and Reasoning“, Amsterdam et al.: Elsevier, 2004.
- Bradbury, Roger (2006) „Towards a New Ontology of Complexity Science“, in: „Complex Science for a Complex World. Exploring Human Ecosystems with Agents“, ed. by Perez, Pascal; Batten, David, Canberra: ANU E Press, 2006, pp. 21-26.
- Bradley, Francis H. (1883) „The Principles of Logic“, London: Kegan Paul, Trench, & Co., 1883.
- Bradley, Francis H. (1893) „Appearance and Reality. A Metaphysical Essay“, 9th Pr., Oxford: Clarendon Pr., 1930.
- Bradley, Francis H. (1914) „Essays on Truth and Reality“, Oxford: Clarendon Pr., 1914.
- Braeckman, Antoon (1990) „Morality, Aesthetics and Religion in Whitehead and in German Idealism: Some Preliminary Remarks“, in: „Whitehead und der deutsche Idealismus - Whitehead and German Idealism“, ed. by Lucas, George R., Jr.; Braeckman, Antoon, Bern et al.: Peter Lang, 1990, pp. 33-46.
- Bragaglia, Stefano et al. (2012) „A Rule-Based Calculus and Processing of Complex Events“, in: „Rules on the Web: Research and Applications“, ed. by Bikakis, Antonis; Giurca, Adrian, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 151-166.
- Brand, Myles (1976) „Particulars, Events, and Actions“, in: „Action Theory“, ed. by Brand, Myles; Walton, Douglas, Dordrecht, Boston: Reidel, 1976, pp. 133-157.
- Brand, Myles (1977) „Identity Conditions for Events“, in: American Philosophical Quarterly, Vol. 14, No. 4, 1977, pp. 329-337.
- Brand, Myles (1982) „Physical Objects and Events“, in: „Language and Ontology“, ed. by Leinfellner, Werner, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky, 1982, pp. 106-116.
- Brandão, Anarosa A.F.; Alencar, Paulo; De Lucena, Carlos J.P. (2005) „AgentZ: Extending Object-Z for Multi-agent Systems Specification“, in: „Agent-Oriented Information Systems II“, ed. by Bresciani, Paolo et al., 6th International Bi-Conference Workshop, AOIS 2004, Riga/Latvia, June 8, 2004, and New York/NY, July 20, 2004, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 125-139.
- Brandt, Paul; Basten, Twan; Stuijk, Sander (2014) „ContoExam: An Ontology on Context-Aware Examinations“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Garbacz, Pawel; Kutz, Oliver, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2014, pp. 303-316.
- Brandt, Sebastian C.; Morbach, Jan; Miatidis, Michalis; Theißen, Manfred; Jarke, Matthias; Marquardt, Wolfgang (2008) „An Ontology-based Approach to Knowledge Management in Design Processes“, in: Computers and Chemical Engineering, Vol. 32, No. 1-2, 2008, pp. 320-342.
- Bratman, Michael E. (1987) „Intentions, Plans, and Practical Reason“, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1987.
- Braubach, Lars; Pokahr, Alexander (2010) „Representing Long-Term and Interest BDI Goals“, in: „Programming Multi-Agent Systems“, ed. by Braubach, Lars et al., 7th International Workshop, ProMAS 2009, Budapest/Hungary, May 10-15, 2009, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 201-218.
- Brauer, Matthias; Lochmann, Henrik (2007) „Towards Semantic Integration of Multiple Domain-Specific Languages Using Ontological Foundations“, SAP Research, Paper for ATEM 2007, 4th International Workshop on Software Language Engineering, Nashville, 2007.
- Braun, Richard; Esswein, Werner (2014) „Classification of Domain-Specific BPMN Extensions“, in: „The Practice of Enterprise Modeling“, ed. by Frank, Ulrich et al., 7th IFIP WG 8.1 Working Conference, PoEM 2014 Manchester, UK, November 12-13, 2014, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 42-57.

Bibliographie

- Bredemeier, Harry C. (1955) „The Methodology of Functionalism“, in: *American Sociological Review*, Vol. 20, No. 2, 1955, pp. 173-180.
- Brennan, Robert W.; Norrie, Douglas H. (2003) „From FMS to HMS“, in: „Agent-Based Manufacturing. Advances in the Holonic Approach“, ed. by Deen, Sayyed Misbah, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 31-49.
- Brenner, Joseph E. (2008a) „Logic in Reality“, Dordrecht et al.: Springer, 2008.
- Brenner, Joseph E. (2008b) „The Logic of Transdisciplinarity“, in: „Transdisciplinarity - Theory and Practice“, ed. by Nicolescu, Basarab, Cresskill/N.J.: Hampton Pr., 2008, pp. 155-163.
- Brenner, Joseph E. (2010) „A Logic of Ethical Information“, in: *Knowledge, Technology & Policy*, Vol. 23, No. 1-2, 2010, pp. 109-133.
- Brenner, Joseph E. (2011a) „Information in Reality: Logic and Metaphysics“, in: *tripleC*, Vol. 9, No. 2, 2011, pp. 332-341.
- Brenner, Joseph E. (2011b) „Wu Kun and the Metaphilosophy of Information“, in: *International Journal "Information Theories and Applications"*, Vol. 18, No. 2, 2011, pp. 103-128.
- Brenner, Joseph E. (2012) „Levels of Abstraction; Levels of Reality“, in: „Luciano Floridi's Philosophy of Technology: Critical Reflections“, ed. by Demir, Hilmi, Dordrecht et al.: Springer, 2012, pp. 201-222.
- Brenner, Joseph E. (2017) „Philosophy of Information: Revolution in Philosophy“, in: *Proceedings*, Vol. 1, No. 3, Art. 101, 2017, pp. 1-8.
- Brentano, Franz (1862) „Von der mannigfachen Bedeutung des Seienden nach Aristoteles“, Freiburg im Breisgau: Herder, 1862.
- Brentano, Franz (1933) „Kategorienlehre“, hrsg. v. Kastil, Alfred, Leipzig: Meiner, 1933.
- Breslin, John G.; O'Sullivan, David; Passant, Alexandre; Vasiliu, Laurentiu (2010) „Semantic Web Computing in Industry“, in: *Computers in Industry*, Vol. 61, No. 8, 2010, pp. 729-741.
- Breuker, Joost; Hoekstra, Rinke (2004a) „Core Concepts of Law: Taking Common Sense Seriously“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 210-221.
- Breuker, Joost; Hoekstra, Rinke (2004b) „Epistemology and Ontology in Core Ontologies: FOLaw and LRI-Core, two Core Ontologies for Law“, in: „Core Ontologies in Ontology Engineering 2004. (Un)Successful Cases and Best Practices for Ontology Engineering: Reusing Well-founded Ontologies for Domain Content Specification“, ed. by Gangemi, Aldo; Borgo, Stefano, Proceedings of the EKAW*04 Workshop on Core Ontologies in Ontology Engineering, Northamptonshire (UK), October 8, 2004.
- Breuker, Joost; Van de Velde, Walter (eds.) (1994) „CommonKADS Library for Expertise Modelling. Reusable Problem Solving Components“, Amsterdam et al.: IOS Pr., 1994.
- Brewster, Christopher; O'Hara, Kieron (2004) „Knowledge Representation with Ontologies: The Present and Future“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 19, No. 1, 2004, pp. 72-73.
- Brewster, Christopher; O'Hara, Kieron (2007) „Knowledge Representation with Ontologies: Present Challenges-Future Possibilities“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 65, No. 7, 2007, pp. 563-568.
- Bridgman, Percy W. (1922) „Dimensional Analysis“, New Haven: Yale Univ. Pr., 1922.
- Brier, Søren (2008) „Cybersemiotics: Why Information Is Not Enough“, Toronto et al.: Univ. of Toronto Pr., 2008.
- Brier, Søren (2010) „Cybersemiotics: An Evolutionary World View Going Beyond Entropy and Information into the Question of Meaning“, in: *Entropy*, Vol. 12, No. 8, 2010, pp. 1902-1920.
- Briggs, Hugh C. (2006) „Knowledge Management in the Engineering Design Environment“, 47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, Newport, Rhode Island, May 1-4, 2006, Pasadena/CA: Jet Propulsion Laboratory, NASA, 2006.
- Bright, Laurence (1958) „Whitehead's Philosophy of Physics“, London, New York: Sheed and Ward, 1958.
- Brillouin, Leon (1950) „Thermodynamics and Information Theory“, in: „Modern Systems Research for the Behavioral Scientist“, ed. by Buckley, Walter, (Repr. from *American Scientist*, Vol. 38, Oct. 1950, pp. 594-599), Chicago/Ill.: Aldine, 1968, pp. 161-165.
- Bringsjord, Selmer; Govindarajulu, Naveen S. (2014) „Given the Web, What Is Intelligence, Really?“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 134-148.
- Bringsjord, Selmer; Govindarajulu, Naveen S. (2016) „Leibniz's Art of Infallibility, Watson, and the Philosophy, Theory, and Future of AI“, in: „Fundamental Issues of Artificial Intelligence“, ed. by Müller, Vincent C., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 183-200.

Bibliographie

- Brinkley, James F.; Suci, Dan; Detwiler, Landon T.; Gennari, John H.; Rosse, Cornelius (2006) „A Framework for Using Reference Ontologies as a Foundation for the Semantic Web“, AMIA 2006 Symposium Proceedings, 2006, pp. 96-100.
- Broad, Charlie D. (1923) „Scientific Thought“, London: Kegan Paul, Trench, Trubner et al., 1923.
- Broad, Charlie D. (1925) „The Mind and its Place in Nature“, London: Kegan Paul, Trench, Trubner, 1925.
- Broad, Charlie D. (1933) „Examination of McTaggart's Philosophy. Volume I“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1933.
- Broad, Charlie D. (1948) „Alfred North Whitehead (1861-1947)“, in: *Mind*, New Series, Vol. 57, No. 226, 1948, pp. 139-145.
- Brock, David L. (2001) „The Electronic Product Code (EPC). A Naming Scheme for Physical Objects“, MIT Auto-ID Center, Working Paper WH-002, 2001.
- Brockman, John (1995) „The Third Culture. Beyond the Scientific Revolution“, New York et al.: Simon and Schuster, 1995.
- Brodaric, Boyan; Reitsma, Femke; Qiang, Yi (2008) „SKling with DOLCE: Toward an e-Science Knowledge Infrastructure“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 208-219.
- Brodie, Michael L. (2009) „The Nature of Our Digital Universe“, in: „Future Internet - FIS 2008“, ed. by Domingue, John et al., First Future Internet Symposium, FIS 2008 Vienna, Austria, September 29-30, 2008, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 1-13.
- Brogaard, Berit (2000) „Presentist Four-Dimensionalism“, in: *The Monist*, Vol. 83, No. 3, 2000, pp. 341-356.
- Brookes, Bertram C. (1980a) „The Foundations of Information Science. Part I: Philosophical Aspects“, in: *Journal of Information Science*, Vol. 2, No. 3-4, 1980, pp. 125-133.
- Brookes, Bertram C. (1980b) „The Foundations of Information Science: Part II. Quantitative Aspects: Classes of Things and the Challenge of Human Individuality“, in: *Journal of Information Science*, Vol. 2, No. 5, 1980, pp. 209-221.
- Brookes, Bertram C. (1980c) „The Foundations of Information Science. Part III. Quantitative Aspects: Objective Maps and Subjective Landscapes“, in: *Journal of Information Science*, Vol. 2, No. 6, 1980, pp. 269-275.
- Brookes, Bertram C. (1981) „The Foundations of Information Science. Part IV. Information Science: The Changing Paradigm“, in: *Journal of Information Science*, Vol. 3, No. 1, 1981, pp. 3-12.
- Brooks, Rodney A. (1981) „Symbolic Reasoning Among 3-D Models and 2-D Images“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 17, No. 1-3, 1981, pp. 285-348.
- Brooks, Rodney A. (1986) „A Robust Layered Control System for a Mobile Robot“, in: *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. 2, No. 1, 1986, pp. 14-23.
- Brooks, Rodney A. (1989) „A Robot that Walks; Emergent Behaviors from a Carefully Evolved Network“, MIT Artificial Intelligence Laboratory, A.I. Memo 1091, February, 1989.
- Brooks, Rodney A. (1990) „Elephants Don't Play Chess“, in: *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 6, No. 1-2, 1990, pp. 3-15.
- Brooks, Rodney A. (1991a) „Challenges for Complete Creature Architecture“, in: „From Animals to Animats: Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour, Paris, 1990“, ed. by Meyer, Jean-Arcady; Wilson, Stewart W., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1991, pp. 434-443.
- Brooks, Rodney A. (1991b) „Intelligence Without Representation“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 47, No. 1-3, 1991, pp. 139-159.
- Brooks, Rodney A. (1991c) „Intelligence Without Reason“, Massachusetts Institute of Technology, Artificial Intelligence Laboratory, A.I. Memo No. 1293, 1991.
- Brooks, Rodney A. (1991d) „New Approaches to Robotics“, in: *Science (America)*, Vol. 253, No. 5025, 1991, pp. 1227-1232.
- Brooks, Rodney A. (1992) „Artificial Life and Real Robots“, in: „Toward a Practice of Autonomous Systems. Proceedings of the First European Conference on Artificial Life“, ed. by Varela, Francisco J.; Bourgine, Paul, 2nd Pr., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1994, pp. 3-10.
- Brooks, Rodney A.; Lozano-Pérez, Tomás (1985) „A Subdivision Algorithm in Configuration Space for Findpath with Rotation“, in: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-15, No. 2, 1985, pp. 224-233.
- Brown, Curtis (1988) „Internal Realism: Transcendental Idealism?“, in: *Midwest Studies in Philosophy*, Vol. 12, No. 1, 1988, pp. 145-155.

Bibliographie

- Brown, Harold I. (2001) „Incommensurability and Reality“, in: „Incommensurability and Related Matters“, ed. by Hoyningen-Huene, Paul; Sankey, Howard, Dordrecht et al.: Kluwer, 2001, pp. 123-142.
- Brown, Paul C. (2014) „Architecting Complex-Event Processing Solutions with TIBCO“, Upper Saddle River/NJ: Addison-Wesley, 2014.
- Browning, Douglas (1990) „Ontology and the Practical Arena“, University Park, London: Pennsylvania State Univ. Pr., 1990.
- Browning, Douglas; Myers, William T. (eds.) (1998) „Philosophers of Process“, 2nd ed., New York: Fordham Univ. Pr., 1998.
- Broy, Manfred (2010) „Cyber-Physical Systems - Wissenschaftliche Herausforderungen bei der Entwicklung“, in: „Cyber-Physical Systems. Innovation durch Software-intensive Eingebettete Systeme“, hrsg. v. Broy, Manfred, Berlin et al.: Springer, 2010, S. 17-31.
- Broy, Manfred (2013) „Modellbasiertes Software und Systems Engineering als Element eines durchgängigen Systems Lifecycle Managements (SysLM)“, in: „Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM“, hrsg. v. Sandler, Ulrich, Berlin et al.: Springer, 2013, S. 73-89.
- Bruaux, Sabine; Kassel, Gilles (2004) „OntoKADS: A Core Ontology for Developing Expertise Models for the CommonKADS Methodology“, in: „Core Ontologies in Ontology Engineering 2004. (Un)Successful Cases and Best Practices for Ontology Engineering: Reusing Well-founded Ontologies for Domain Content Specification“, ed. by Gangemi, Aldo; Borgo, Stefano, Proceedings of the EKAW*04 Workshop on Core Ontologies in Ontology Engineering, Northamptonshire (UK), October 8, 2004.
- Bruhn, Manfred; Hadwich, Karsten (2006) „Produkt- und Servicemanagement. Konzepte - Methoden - Prozesse“, München: Vahlen, 2006.
- Bruineberg, Jelle; Rietveld, Erik (2014) „Self-Organization, Free Energy Minimization, and Optimal Grip on a Field of Affordances“, in: *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 8, Art. 599, 2014, pp. 1-14.
- Bruno, Giorgio (2012) „Emphasizing Events and Rules in Business Processes“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Daniel, Florian et al., BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011, Revised Selected Papers, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 395-406.
- Bruno, Giulia; Antonelli, Dario; Villa, Agostino (2015) „A Reference Ontology to Support Product Lifecycle Management“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 33, 2015, pp. 41-46.
- Bruno, Giulia; Villa, Agostino (2013) „The Exploitation of an Ontology-based Model of PLM from a SME Point of View“, in: *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 46, No. 9, 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, International Federation of Automatic Control, June 19-21, 2013, Saint Petersburg/Russia, 2013, pp. 1447-1452.
- Bruns, Ralf; Dunkel, Jürgen; Masbruch, Henrik; Stipkovic, Sebastian (2015) „Intelligent M2M: Complex Event Processing for Machine-to-Machine Communication“, in: *Expert Systems with Applications*, Vol. 42, No. 3, 2015, pp. 1235-1246.
- Brüntrup, Godehard (2010) „3,5-Dimensionalismus und Überleben: ein prozess-ontologischer Ansatz“, in: „Auferstehung des Leibes - Unsterblichkeit der Seele“, hrsg. v. Brüntrup, Godehard, Stuttgart: Kohlhammer, 2010, S. 245-268.
- Brusey, James; McFarlane, Duncan C. (2009) „Effective RFID-based Object Tracking for Manufacturing“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 22, No. 7, 2009, pp. 638-647.
- Bruun, Hans Peter Lomholt; Mortensen, Niels Henrik; Harlou, Ulf; Wörösch, Michael; Proschowsky, Mikkel (2015) „PLM System Support for Modular Product Development“, in: *Computers in Industry*, Vol. 67, 2015, pp. 97-111.
- Bubenko, Janis A. (1980) „Information Modeling in the Context of System Development“, in: „Information Processing 80“, ed. by Lavington, Simon H., Proceedings of IFIP Congress 80, Tokyo, Japan - October 6-9, 1980; Melbourne, Australia - October 14-17, 1980, Amsterdam et al.: North-Holland, 1980, pp. 395-411.
- Bubenko, Janis A. (2007) „From Information Algebra to Enterprise Modelling and Ontologies - a Historical Perspective on Modelling for Information Systems“, in: „Conceptual Modelling in Information Systems Engineering“, ed. by Krogstie, John et al., Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 1-18.
- Buccini, Andrea (2011) „A Conceptual Framework to Develop Assessment Models for PLM Implementation Projects“, IFIP Working Group 5.1, PLM11- 8th International Conference on Product Lifecycle Management, 2011, pp. 502-511.
- Bucherer, Eva; Uckelmann, Dieter (2011) „Business Models for the Internet of Things“, in: „Architecting the Internet of Things“, ed. by Uckelmann, Dieter et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 253-277.

Bibliographie

- Buchmann, Alejandro; Appel, Stefan; Freudenreich, Tobias; Frischbier, Sebastian; Guerrero, Pablo E. (2012) „From Calls to Events: Architecting Future BPM Systems“, in: „Business Process Management“, ed. by Barros, Alistair et al., 10th International Conference, BPM 2012, Tallinn, Estonia, September 3-6, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 17-32.
- Buckley, Walter (1968) „Society as a Complex Adaptive System“, in: „Modern Systems Research for the Behavioral Scientist“, ed. by Buckley, Walter, Chicago/Ill.: Aldine, 1968, pp. 490-513.
- Bugaite, Diana; Vasilecas, Olegas (2009) „Events Propagation from the Business System Level“, in: „Information Systems Development. Challenges in Practice, Theory, and Education“, ed. by Barry, Chris et al., Vol. 2, New York/NY: Springer, 2009, pp. 1105-1116.
- Buhl, J.; Sumpter, D.J.T.; Couzin, I.D.; Hale, J.J.; Despland, E.; Miller, E.R.; Simpson, S.J. (2006) „From Disorder to Order in Marching Locusts“, in: *Science (America)*, Vol. 312, No. 1402, 2 June, 2006, pp. 1402-1406.
- Bühler, Axel (1987) „Drei Briten in Kakanien. Ein Gespräch mit dem Seminar for Austro-German Philosophy“, in: *Information Philosophie*, 15. Jg., Nr. 3, 1987, S. 22-33.
- Bui, Nicola; Castellani, Angelo P.; Casari, Paolo; Zorzi, Michele (2012) „The Internet of Energy: A Web-Enabled Smart Grid System“, in: *IEEE Network*, Vol. 26, No. 4, 2012, pp. 39-45.
- Bülow, Susanne; Backmann, Michael; Herzberg, Nico et al. (2014) „Monitoring of Business Processes with Complex Event Processing“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Lohmann, Niels et al., BPM 2013 International Workshops, Beijing, China, August 26, 2013, Revised Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 277-290.
- Bunge, Mario A. (1956a) „Do Computers Think? (I)“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 7, No. 26, 1956, pp. 139-148.
- Bunge, Mario A. (1956b) „Do Computers Think? (II)“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 7, No. 27, 1956, pp. 212-219.
- Bunge, Mario A. (1960) „Levels: A Semantical Preliminary“, in: *Review of Metaphysics*, Vol. 13, No. 3, 1960, pp. 396-406.
- Bunge, Mario A. (1962) „The Complexity of Simplicity“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 59, No. 5, 1962, pp. 113-135.
- Bunge, Mario A. (1963) „The Myth of Simplicity. Problems of Scientific Philosophy“, Englewood Cliffs/N.J.: Prentice-Hall, 1963.
- Bunge, Mario A. (1966a) „On Null Individuals“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 63, No. 24, 1966, pp. 776-778.
- Bunge, Mario A. (1966b) „Technology as Applied Science“, in: *Technology and Culture*, Vol. 7, No. 3, 1966, pp. 329-347.
- Bunge, Mario A. (1967a) „Scientific Research I. The Search for System“, Berlin et al.: Springer, 1967.
- Bunge, Mario A. (1967b) „Scientific Research II. The Search for Truth“, Berlin et al.: Springer, 1967.
- Bunge, Mario A. (1969) „The Metaphysics, Epistemology and Methodology of Levels“, in: „Hierarchical Structures“, ed. by Whyte, Lancelot L.; Wilson, Albert G.; Wilson, Donna, New York: Elsevier, 1969, pp. 17-28.
- Bunge, Mario A. (1971) „Is Scientific Metaphysics Possible?“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 68, No. 17, 1971, pp. 507-520.
- Bunge, Mario A. (1972) „A Program for the Semantics of Science“, in: *Journal of Philosophical Logic*, Vol. 1, No. 3/4, 1972, pp. 317-328.
- Bunge, Mario A. (1973) „Method, Model and Matter“, Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1973.
- Bunge, Mario A. (1974a) „Treatise on Basic Philosophy. Vol. 1 - Semantics I: Sense and Reference“, Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1974.
- Bunge, Mario A. (1974b) „Treatise on Basic Philosophy. Vol. 2 - Semantics II: Interpretation and Truth“, Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1974.
- Bunge, Mario A. (1974c) „The Relations of Logic and Semantics to Ontology“, in: *Journal of Philosophical Logic*, Vol. 3, No. 3, 1974, pp. 195-209.
- Bunge, Mario A. (1977a) „Treatise on Basic Philosophy. Vol. 3 - Ontology I: The Furniture of the World“, Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1977.
- Bunge, Mario A. (1977b) „Emergence and the Mind“, in: *Neuroscience*, Vol. 2, No. 4, 1977, pp. 501-509.
- Bunge, Mario A. (1979a) „Treatise on Basic Philosophy. Vol. 4 - Ontology II: A World of Systems“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1979.
- Bunge, Mario A. (1981) „Scientific Materialism“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1981.

Bibliographie

- Bunge, Mario A. (1983a) „Epistemologie. Aktuelle Fragen der Wissenschaftstheorie“, (dt. Übers. von: 'Epistemologia', Reihe 'Ciencia de la ciencia', Barcelona: Editorial Ariel), Mannheim et al.: Bibliograph. Inst., 1983.
- Bunge, Mario A. (1983b) „Treatise on Basic Philosophy. Vol. 5 - Epistemology & Methodology I: Exploring the World“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1983.
- Bunge, Mario A. (1983c) „Treatise on Basic Philosophy. Vol. 6 - Epistemology & Methodology II: Understanding the World“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1983.
- Bunge, Mario A. (1985a) „Treatise on Basic Philosophy. Vol. 7 - Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science and Technology. Part I: Formal and Physical Sciences“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1985.
- Bunge, Mario A. (1985b) „Treatise on Basic Philosophy. Vol. 7 - Epistemology & Methodology III: Philosophy of Science and Technology. Part II: Life Science, Social Science and Technology“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1985.
- Bunge, Mario A. (1990a) „Agassi on Substance, Existence, and Ontology“, in: „Studies on Mario Bunge's Treatise“, ed. by Weingartner, Paul; Dorn, Georg J.W., Amsterdam, Atlanta/GA: Rodopi, 1990, pp. 589-592.
- Bunge, Mario A. (1990b) „Wand and Weber on Information Systems“, in: „Studies on Mario Bunge's Treatise“, ed. by Weingartner, Paul; Dorn, Georg J.W., Amsterdam, Atlanta/GA: Rodopi, 1990, pp. 593-595.
- Bunge, Mario A. (1991) „The Power and Limits of Reduction“, in: „The Problem of Reductionism in Science“, ed. by Agazzi, Evandro, Dordrecht et al.: Kluwer, 1991, pp. 31-49.
- Bunge, Mario A. (1993) „Realism and Antirealism in Social Science“, in: *Theory and Decision*, Vol. 35, No. 3, 1993, pp. 207-235.
- Bunge, Mario A. (1996) „Finding Philosophy in Social Science“, New Haven, London: Yale Univ. Pr., 1996.
- Bunge, Mario A. (1998a) „Semiotic Systems“, in: „Systems. New Paradigms for the Human Sciences“, ed. by Altmann, Gabriel; Koch, Walter A., Berlin, New York: De Gruyter, 1998, pp. 337-349.
- Bunge, Mario A. (1998b) „Social Science under Debate: A Philosophical Perspective“, Repr., Toronto et al.: Univ. of Toronto Pr., 1999.
- Bunge, Mario A. (1999) „The Sociology-Philosophy Connection“, New Brunswick, London: Transaction Publ., 1999.
- Bunge, Mario A. (2001a) „Philosophy in Crisis. The Need for Reconstruction“, Amherst/N.Y.: Prometheus Books, 2001.
- Bunge, Mario A. (2001b) „Two Unification Strategies in Social Science: Reduction and Integration“, in: „The Problem of the Unity of Science“, ed. by Agazzi, Evandro; Faye, Jan, World Scientific: Singapore et al., 2001, pp. 141-152.
- Bunge, Mario A. (2001c) „The Nature of Applied Science and Technology“, in: „Scientific Realism. Selected Essays of Mario Bunge“, ed. by Mahner, Martin, Amherst/NY: Prometheus Books, 2001, pp. 345-351.
- Bunge, Mario A. (2003a) „Emergence and Convergence. Qualitative Novelty and the Unity of Knowledge“, Toronto et al.: Univ. of Toronto Pr., 2003.
- Bunge, Mario A. (2003b) „Philosophical Dictionary“, Amherst/N.Y.: Prometheus, 2003.
- Bunge, Mario A. (2006) „Chasing Reality: Strife over Realism“, Toronto et al.: Univ. of Toronto Pr., 2006.
- Bunge, Mario A. (2010) „Matter and Mind: A Philosophical Inquiry“, Dordrecht et al.: Springer, 2010.
- Bunge, Mario A. (2012) „Evaluating Philosophies“, Dordrecht et al.: Springer, 2012.
- Bunge, Mario A.; Ardila, Rubén (1990) „Philosophie der Psychologie“, Tübingen: Mohr, 1990.
- Bunge, Mario A.; Mahner, Martin (2004) „Über die Natur der Dinge. Materialismus und Wissenschaft“, Stuttgart, Leipzig: Hirzel, 2004.
- Bunnin, Nicholas; Yu, Jiyuan (2004) „Analytic Philosophy“, in: „The Blackwell Dictionary of Western Philosophy“, ed. by Bunnin, Nicholas; Yu, Jiyuan, Malden/MA et al.: Blackwell, 2004, pp. 27-28.
- Burek, Patryk (2003) „Conceptual Modeling based on Upper-Level Ontologies and Meta-Ontological Foundations“, in: „Content- und Wissensmanagement“, ed. by Fähnrich, Klaus-Peter; Herre, Heinrich, Beiträge auf den LIT '03, Leipzig, 2003, S. 117-122.
- Burek, Patryk; Hoehndorf, Robert; Loebe, Frank; Visagie, Johann; Herre, Heinrich; Kelso, Janet (2006) „A Top-level Ontology of Functions and its Application in the Open Biomedical Ontologies“, in: *Bioinformatics*, Vol. 22, No. 14, 2006, pp. e66-e73.
- Burgers, J.M. (1963) „The Measuring Process in Quantum Theory“, in: *Reviews of Modern Physics*, Vol. 35, No. 1, 1963, pp. 145-150.
- Burgun, Anita (2006) „Desiderata for Domain Reference Ontologies in Biomedicine“, in: *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 39, No. 3, 2006, pp. 307-313.

Bibliographie

- Burian, Richard M.; Trout, J.D. (1995) „Ontological Progress in Science“, in: *Canadian Journal of Philosophy*, Vol. 25, No. 2, 1995, pp. 177-201.
- Burke, Michael B. (1992) „Copper Statues and Pieces of Copper: A Challenge to the Standard Account“, in: *Analysis*, Vol. 52, No. 1, 1992, pp. 12-17.
- Burke, Michael B. (1994a) „Preserving the Principle of One Object to a Place: A Novel Account of the Relations Among Objects, Sorts, Sortals, and Persistence Conditions“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 54, No. 3, 1994, pp. 591-624.
- Burke, Michael B. (1994b) „Dion and Theon: An Essentialist Solution to an Ancient Puzzle“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 91, No. 3, 1994, pp. 129-139.
- Burks, Arthur W. (1988) „Teleology and Logical Mechanism“, in: *Synthese*, Vol. 76, No. 3, 1988, pp. 333-370.
- Burks, Arthur W. (1997) „Creative Uses of Logic in the Invention of the Electronic Computer“, in: „Artificial Life V. Proceedings of the Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Langton, Christopher G.; Shimohara, Katsunori, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1997, pp. 3-16.
- Burks, Arthur W.; Wang, Hao (1957) „The Logic of Automata-Part I“, in: *Journal of the ACM*, Vol. 4, No. 2, 1957, pp. 193-218.
- Burtsev, Mikhail S. (2004) „Tracking the Trajectories of Evolution“, in: *Artificial Life*, Vol. 10, No. 4, 2004, pp. 397-411.
- Burttt, Edwin A. (1925) „Metaphysical Foundations of Modern Physical Science: A Historical and Critical Essay“, rev. ed., New York: Humanities Pr., 1951.
- Burttt, Edwin A. (1963) „Descriptive Metaphysics“, in: *Mind*, N.S., Vol. 72, No. 285, 1963, pp. 18-39.
- Busse, Johannes; Humm, Bernhard et al. (2015) „Actually, What Does "Ontology" Mean? A Term Coined by Philosophy in the Light of Different Scientific Disciplines“, in: *Journal of Computing and Information Technology*, Vol. 23, No. 1, 2015, pp. 29-41.
- Butchvarov, Panayot (1995) „Categories“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 75-79.
- Buttazzo, Giorgio (2011) „Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications“, 3rd ed., Boston/Mass.: Springer, 2011.
- Butts, Robert E. (1991) „Metaphysics, Methodology and the Pragmatic Unity of the Sciences“, in: „Einheit der Wissenschaften“, ed. by Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Int. Kolloquium der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Bonn, 25.-27. Juni 1990, Forschungsbericht Nr. 4, Berlin, New York: De Gruyter, 1991, S. 23-38.
- Bynum, Terrell W. (2012) „On Rethinking the Foundations of Philosophy in the Information Age“, in: *APA Newsletters*, Vol. 11, No. 2, 2012, pp. 1-5.
- Bynum, Terrell W.; Moor, James H. (1998) „How Computers are Changing Philosophy“, in: „The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy“, ed. by Bynum, Terrell W.; Moor, James H., Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 1-14.
- Byrne, David (1998) „Complexity Theory and the Social Sciences. An Introduction“, London, New York: Routledge, 1998.
- Byrski, Aleksander; Kisiel-Dorohinicki, Marek (2017) „Evolutionary Multi-Agent Systems: From Inspirations to Applications“, Cham et al.: Springer, 2017.
- Cabot, Jordi; Pau, Raquel; Raventós, Ruth (2010) „From UML/OCL to SBVR Specifications: A Challenging Transformation“, in: *Information Systems*, Vol. 35, No. 4, 2010, pp. 417-440.
- Cabral, Liliana et al. (2014) „A Use Case in Semantic Modelling and Ranking for the Sensor Web“, in: „The Semantic Web - ISWC 2014“, ed. by Mika, Peter et al., 13th International Semantic Web Conference, Riva del Garda, Italy, October 19-23, 2014. Proceedings, Part II, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 276-291.
- Cabral, Liliana; Domingue, John (2009) „Translating Semantic Web Service Based Business Process Models“, *IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference (APSCC 2009)*, Singapore, 7-11 Dec., 2009, pp. 1-6.
- Cabral, Liliana; Norton, Barry; Domingue, John (2009) „The Business Process Modelling Ontology“, 4th International Workshop on Semantic Business Process Management (SBPM 2009), Workshop at ESWC 2009, 1 June 2009, Crete, Greece, 2009.
- Cadavid, Juan; Alférez, Mauricio; Gérard, Sébastien; Tessier, Patrick (2015) „Conceiving the Model-Driven Smart Factory“, *ICSSP 2015 Proceedings of the 2015 International Conference on Software and System Process*, 2015, pp. 72-76.

Bibliographie

- Caferra, Ricardo (2011) „Logic for Computer Science and Artificial Intelligence“, London; Hoboken/NJ: Iste; Wiley, 2011.
- Cahill, Reginald (2008) „Process Physics and Whitehead: The New Science of Space and Time“, in: „Researching with Whitehead: System and Adventure“, ed. by Riffert, Franz; Sander, Hans-Joachim, Freiburg, München: Alber, 2008, pp. 83-126.
- Cai, Hongming; Xu, Li Da; Xu, Boyi; Xie, Cheng; Qin, Shaojun; Jiang, Lihong (2014) „IoT-Based Configurable Information Service Platform for Product Lifecycle Management“, in: IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 10, No. 2, 2014, pp. 1558-1567.
- Caizzone, Stefano; Occhiuzzi, Cecilia; Marrocco, Gaetano (2011) „Multi-Chip RFID Antenna Integrating Shape-Memory Alloys for Temperature Sensing“, Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Rome/Italy, 11-15 April, 2011, pp. 2810-2813.
- Calabrese, Marco (2011) „Hierarchical-Granularity Holonic Modelling“, PhD Thesis, Univ. of Milan, March, 2011.
- Calbimonte, Jean-Paul (2014) „RDF Stream Processing: Let's React“, ed. by Celino, Irene et al., Proceedings of the 3rd Int. Workshop on Ordering and Reasoning, co-located with the 13th Int. Semantic Web Conference (ISWC 2014), Riva del Garda, Italy, October 20th, 2014, pp. 1-10.
- Calhau, Rodrigo Fernandes; Falbo, Ricardo De Almeida (2012) „A Configuration Management Task Ontology for Semantic Integration“, SAC '12 Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on Applied Computing, 2012, pp. 348-353.
- Caliusco, María Laura; Stegmayer, Georgina (2010) „Semantic Web Technologies and Artificial Neural Networks for Intelligent Web Knowledge Source Discovery“, in: „Emergent Web Intelligence: Advanced Semantic Technologies“, ed. by Badr, Youakim et al., London: Springer, 2010, pp. 17-36.
- Calvier, Francois-Élies; Kammoun, Abderrahmen; Zimmermann, Antoine; Singh, Kamal; Fayolle, Jacques (2016) „Ontology Driven Complex Event Pattern Definition“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2016“, ed. by Debruyne, Christophe et al., Proceedings Confederated International Conferences: CoopIS, C&TC, and ODBASE 2016, Rhodes/Greece, October 24-28, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 522-530.
- Cambashi (2010) „A Holistic Approach to Product Introduction and Change Processes: Reliable Medical Device Innovation in the Face of Regulatory Uncertainty for Dassault Systèmes“, 2010.
- Campbell, Donald T. (1960a) „Blind Variation and Selective Retention in Creative Thought as in Other Knowledge Processes“, in: Psychological Review, Vol. 67, No. 6, 1960, pp. 380-400.
- Campbell, Donald T. (1960b) „Blind Variation and Selective Survival as a General Strategy in Knowledge-Processes“, in: „Self-Organizing Systems“, ed. by Yovits, Marshall C.; Cameron, Scott, Proceedings of an Interdisciplinary Conference, 5 and 6 May, 1959, Oxford et al.: Pergamon Pr., 1960, pp. 205-231.
- Campbell, Donald T. (1965) „Variation and Selective Retention in Socio-Cultural Evolution“, in: „Social Change in Developing Areas“, ed. by Barringer, Herbert R.; Blanksten, George I; Mack, Raymond W., Cambridge/Mass.: Schenkman Publ., 1965, pp. 19-49.
- Campbell, Donald T. (1970) „Natural Selection as an Epistemological Model“, in: „A Handbook of Method in Cultural Anthropology“, ed. by Naroll, Raoul; Cohen, Ronald, Garden City/N.Y.: Natural History Pr., 1970, pp. 51-85.
- Campbell, Donald T. (1974a) „Evolutionary Epistemology“, in: „The Philosophy of Karl Popper“, ed. by Schilpp, Paul Arthur, Book I, La Salle/Ill.: Open Court, 1974, pp. 413-463.
- Campbell, Donald T. (1974b) „'Downward Causation' in Hierarchically Organised Biological Systems“, in: „Studies in the Philosophy of Biology“, ed. by Ayala, Francisco J.; Dobzhansky, Theodosius, London et al.: Macmillan, 1974, pp. 179-186.
- Campbell, Donald T. (1974c) „Unjustified Variation and Selective Retention in Scientific Discovery“, in: „Studies in the Philosophy of Biology“, ed. by Ayala, Francisco J.; Dobzhansky, Theodosius, London et al.: Macmillan, 1974, pp. 139-161.
- Campbell, Donald T. (1987) „Rationality and Utility from the Standpoint of Evolutionary Biology“, in: „Rational Choice. The Contrast between Economics and Psychology“, ed. by Hogarth, Robin M.; Reder, Melvin W., Chicago, London: Univ. of Chicago Pr., 1987, pp. 171-180.
- Campbell, Keith (1981) „The Metaphysic of Abstract Particulars“, in: Midwest Studies in Philosophy, Vol. 6, No. 1, 1981, pp. 477-488.
- Campbell, Keith (1990) „Abstract Particulars“, Oxford et al.: Basil Blackwell, 1990.
- Campbell, Keith (1995) „Trope“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, p. 500.

Bibliographie

- Campbell, Thomas A.; Tibbits, Skylar; Garrett, Banning (2014) „The Next Wave: 4D Printing Programming the Material World“, Washington/DC: Atlantic Council, 2014.
- Cancian, Francesca M. (1960) „Functional Analysis of Change“, in: *American Sociological Review*, Vol. 25, No. 6, 1960, pp. 818-827.
- Cancian, Francesca M. (1968) „Varieties of Functional Analysis“, in: „International Encyclopedia of the Social Sciences, Vol. 6“, ed. by Sills, David, New York: Macmillan; Free Press, 1968, pp. 29-42.
- Canino-Rodríguez, José M. et al. (2015) „Human Computer Interactions in Next-Generation of Aircraft Smart Navigation Management Systems: Task Analysis and Architecture under an Agent-Oriented Methodological Approach“, in: *Sensors*, Vol. 15, 2015, pp. 5228-5250.
- Cantamessa, Marco; Montagna, Francesca; Neirotti, Paolo (2012) „An Empirical Analysis of the PLM Implementation Effects in the Aerospace Industry“, in: *Computers in Industry*, Vol. 63, 2012, pp. 243-251.
- Cao, Hui; Folan, Paul; Mascolo, Julien E.; Browne, Jim J. (2009) „RFID in Product Lifecycle Management: A Case in the Automotive Industry“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 22, No. 7, 2009, pp. 616-637.
- Cao, Wei; Jiang, Pingyu; Jiang, Kaiyong (2017) „Demand-based Manufacturing Service Capability Estimation of a Manufacturing System in a Social Manufacturing Environment“, in: *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 231, No. 7, 2017, pp. 1275-1297.
- Capek, Milic (1972) „Natural Sciences and the Future of Metaphysics“, in: *Main Currents in Modern Thought*, Vol. 28, No. 5, 1972, pp. 167-171.
- Capek, Milic (1973) „Leibniz on Matter and Memory“, in: „The Philosophy of Leibniz and the Modern World“, ed. by Leclerc, Ivor, Nashville: Vanderbilt Univ. Pr., 1973, pp. 78-113.
- Capera, Davy; Georgé, Jean-Pierre; Gleizes, Marie-Pierre; Glize, Pierre (2003) „The AMAS Theory for Complex Problem Solving based on Self-Organizing Cooperative Agents“, Twelfth IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WET ICE), 9-11 June, 2003, pp. 383-388.
- Capgemini (2005) „Service-Oriented Enterprise: How To Make Your Business Fast, Flexible and Responsive“, A Briefing for CxO-Level Executives, 2005.
- Capgemini (2013) „Can Industry Do Without PLM?“, 2013.
- Caplinskas, Albertas; Lupeikiene, Audrone; Vasilecas, Olegas (2003) „The Role of Ontologies in Reusing Domain and Enterprise Engineering Assets“, in: *Informatica*, Vol. 14, No. 4, 2003, pp. 455-470.
- Capra, Fritjof (1996) „The Web of Life. A New Scientific Understanding of Living Systems“, New York: Anchor Books, 1996.
- Caputo, Andrea; Marzi, Giacomo; Pellegrini, Massimiliano M. (2016) „The Internet of Things in Manufacturing Innovation Processes: Development and Application of a Conceptual Framework“, in: *Business Process Management Journal*, Vol. 22, No. 2, 2016, pp. 383-402.
- Carbonell, Carlos; Braunschweig, Adam B. (2017) „Toward 4D Nanoprinting with Tip-Induced Organic Surface Reactions“, in: *Accounts of Chemical Research*, Vol. 50, No. 2, 2017, pp. 190-198.
- Carbonell, Jaime G.; Etzioni, Oren; Gil, Yolanda; Joseph, Robert; Knoblock, Craig A.; Minton, Steven; Veloso, Manuela (1991) „PRODIGY: An Integrated Architecture for Planning and Learning“, in: *ACM SIGART Bulletin*, Vol. 2, No. 4, 1991, pp. 51-55.
- Cardin, Olivier; Castagna, Pierre (2012) „Myopia of Service Oriented Manufacturing Systems: Benefits of Data Centralization with a Discrete-Event Observer“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing Control“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 197-210.
- Cardon, Alain; Itmi, Mhamed (2009) „A Multi Agent Modeling Approach for an Adaptive Regulation in Large Scale Complex Systems“, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), San Antonio/TX, 11-14 Oct., 2009, pp. 3663-3668.
- Cardoso, Jorge; Fromm, Hansjörg (2015) „Electronic Services“, in: „Fundamentals of Service Systems“, ed. by Cardoso, Jorge et al., Cham et al.: Springer, 2015, pp. 33-74.
- Cardoso, Jorge; Lopes, Ricardo; Poels, Geert (2014) „White-Box Service Systems“, in: „Service Systems. Concepts, Modeling, and Programming“, ed. by Cardoso, Jorge et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 1-14.
- Cardoso, Jorge; Winkler, Matthias; Voigt, Konrad; Berthold, Henrike (2011) „IoS-Based Services, Platform Services, SLA and Models for the Internet of Services“, in: „Software and Data Technologies“, ed. by Cordeiro, José et al., 4th International Conference, ICSoft 2009, Sofia, Bulgaria, July 26-29, 2009, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 3-17.

Bibliographie

- Cariani, Peter (1992) „Emergence and Artificial Life“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. 775-797.
- Carlisle, Ysanne; McMillan, Elizabeth (2006) „Innovation in Organizations from a Complex Adaptive Systems Perspective“, in: *Emergence*, Vol. 8, No. 1, Special Issue: Complexity and Innovation, 2006, pp. 2-9.
- Carlson, Lynn; Nirenburg, Sergei (1990) „World Modeling for NLP“, Technical Report CMU-CMT-90-121, Carnegie Mellon University, Center for Machine Translation, 1990.
- Carnap, Rudolf (1928a) „Der logische Aufbau der Welt“, Nachdr., Hamburg: Meiner, 1998.
- Carnap, Rudolf (1928b) „Scheinprobleme in der Philosophie. Das Fremdpsychische und der Realismusstreit“, Berlin: Weltkreis-Verl., 1928.
- Carnap, Rudolf (1929) „Abriss der Logistik. Mit besonderer Berücksichtigung der Relationstheorie und ihrer Anwendungen“, Wien: Springer, 1929.
- Carnap, Rudolf (1930) „Die alte und die neue Logik“, in: „Scheinprobleme in der Philosophie und andere metaphysikkritische Schriften“, hrsg. v. Mormann, Thomas, Hamburg: Meiner, 2004, S. 63-80.
- Carnap, Rudolf (1931a) „Die physikalische Sprache als Universalsprache der Wissenschaft“, in: *Erkenntnis*, Bd. 2 (zugl. *Annalen d. Philos.*, Bd. 10), 1931, S. 432-465.
- Carnap, Rudolf (1931b) „Überwindung der Metaphysik durch logische Analyse der Sprache“, in: *Erkenntnis*, Bd. 2 (zugl. *Annalen d. Philos.*, Bd. 10), 1931, S. 219-241.
- Carnap, Rudolf (1934a) „The Unity of Science“, Repr., London: Kegan Paul, 1934.
- Carnap, Rudolf (1934b) „Logische Syntax der Sprache“, Wien: Springer, 1934.
- Carnap, Rudolf (1934c) „Die Aufgabe der Wissenschaftslogik“, Wien: Gerold, 1934.
- Carnap, Rudolf (1937) „The Logical Syntax of Language“, London: Routledge, 1937.
- Carnap, Rudolf (1938) „Logical Foundations of the Unity of Science“, in: „International Encyclopedia of Unified Science, Vol. 1, No. 1“, ed. by Neurath, Otto et al., Repr., Chicago: Univ. or Chicago Pr., 1955, pp. 393-404.
- Carnap, Rudolf (1950) „Empiricism, Semantics, and Ontology“, in: *Revue Internationale de Philosophie*, Vol. 4, No. 2, 1950, pp. 20-40.
- Carnap, Rudolf (1956) „Meaning and Necessity. A Study in Semantics and Modal Logic“, Chicago et al.: Univ. of Chicago Pr., 1956.
- Carnap, Rudolf (1958) „Introduction to Symbolic Logic and Its Applications“, New York/NY: Dover Publ., 1958.
- Carnap, Rudolf (1966) „Philosophical Foundations of Physics. An Introduction to the Philosophy of Science“, ed. by Gardner, Martin, New York, London: Basic Books, 1966.
- Carnap, Rudolf; Bar-Hillel, Yehoshua (1952) „On the Outline of a Theory of Semantic Information“, MIT, Research Laboratory of Electronics, Technical Report No. 247, 1952.
- Carrara, Massimiliano; Giaretta, Pierdaniele; Morato, Vittorio; Soavi, Marzia; Spolaore, Giuseppe (2004) „Identity and Modality in OntoClean“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 128-139.
- Carrara, Massimiliano; Morato, Vittorio (2011) „Towards a Formal Account of Similarity and Family Resemblance for Technical Functions“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Vermaas, Pieter E.; Dignum, Virginia, Fifth International Workshop 'Formal Ontologies Meet Industry' (FOMI 2011), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2011, pp. 63-74.
- Carrara, Massimiliano; Vermaas, Pieter E. (2009) „The Fine-grained Metaphysics of Artifactual and Biological Functional Kinds“, in: *Synthese*, Vol. 169, 2009, pp. 125-143.
- Carrier, Martin (2001) „Changing Laws and Shifting Concepts“, in: „Incommensurability and Related Matters“, ed. by Hoyningen-Huene, Paul; Sankey, Howard, Dordrecht et al.: Kluwer, 2001, pp. 65-90.
- Carstairs, Andrew D. (1971) „Ryle, Hillman and Harrison on Categories“, in: *Mind*, Vol. 80, No. 319, 1971, pp. 403-408.
- Carter, Jessica (2008) „Structuralism as a Philosophy of Mathematical Practice“, in: *Synthese*, Vol. 163, 2008, pp. 119-131.
- Carter, William R.; Hestevold, H. Scott (1994) „On Passage and Persistence“, in: *American Philosophical Quarterly*, Vol. 31, No. 4, 1994, pp. 269-283.
- Cartwright, Nancy (1983) „How the Laws of Physics Lie“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1983.
- Cartwright, Nancy (2006) „From Metaphysics to Method: Comments on Manipulability and the Causal Markov Condition“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 57, No. 1, 2006, pp. 197-218.

- Cartwright, Richard (1975) „Scattered Objects“, in: „Analysis and Metaphysics“, ed. by Lehrer, Keith, Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1975, pp. 153-171.
- Casati, Roberto (2004) „Is the Object Concept Formal?“, in: *Dialectica*, Vol. 58, No. 3, 2004, pp. 383-394.
- Casati, Roberto; Smith, Barry; Varzi, Achille C. (1998) „Ontological Tools for Geographic Representation“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Guarino, Nicola, Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), Amsterdam et al.: IOS Pr., 1998, pp. 77-85.
- Casati, Roberto; Varzi, Achille C. (1999) „Parts and Places. The Structures of Spatial Representation“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1999.
- Casati, Roberto; Varzi, Achille C. (2008) „Event Concepts“, in: „Understanding Events. From Perception to Action“, ed. by Shipley, Thomas F.; Zacks, Jeffrey M., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2008, pp. 31-53.
- Casati, Roberto; Varzi, Achille C. (eds.) (1996) „Events“, Aldershot et al.: Dartmouth, 1996.
- Casellas, Nria; Blzquez, Mercedes; Kiryakov, Atanas; Casanovas, Pompeu; Poblet, Marta; Benjamins, Richard (2005) „OPJK into PROTON: Legal Domain Ontology Integration into an Upper-Level Ontology“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 846-855.
- Casini, Giovanni; Mosca, Alessandro (2013) „Non-monotonic Reasoning in Conceptual Modeling and Ontology Design: A Proposal“, 2013.
- Cassidy, Patrick (2003) „Dimensional Analysis to Clarify Relations among the Top-Level Concepts of an Upper Ontology: Process, Event, Substance, Object“, in: „Computational Linguistics and Intelligent Text Processing“, ed. by Gelbukh, Alexander, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 333-346.
- Cassidy, Patrick (2008) „Toward an Open-Source Foundation Ontology Representing the Longman's Defining Vocabulary: The COSMO Ontology OWL Version“, in: „Ontology for the Intelligence Community (OIC-2008): Towards Effective Exploitation and Integration of Intelligence Resources“, ed. by Blackmond Laskey, Kathryn; Wijesekera, Duminda, Proceedings of the Third International Ontology for the Intelligence Community Conference, Fairfax, VA, USA, December 3-4, 2008, 2008.
- Cassirer, Ernst (1902) „Leibniz' System in seinen wissenschaftlichen Grundlagen“, Marburg: Elwert, 1902.
- Castaneda, Vronica; Ballejos, Luciana; Caliusco, Ma. Laura; Galli, Ma. Rosa (2010) „The Use of Ontologies in Requirements Engineering“, in: *Global Journal of Researches in Engineering*, Vol. 10, No. 6, 2010, pp. 2-8.
- Castel, Felipe (2002) „Ontological Computing“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 45, No. 2, 2002, pp. 29-30.
- Castelfranchi, Cristiano (1998) „Modelling Social Action for AI Agents“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 103, 1998, pp. 157-182.
- Castellanos, Malu; Dayal, Umeshwar; Hsu, Meichun (2010) „Live Business Intelligence for the Real-Time Enterprise“, in: „From Active Data Management to Event-Based Systems and More“, ed. by Sachs, Kai et al., Papers in Honor of Alejandro Buchmann on the Occasion of His 60th Birthday, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 325-336.
- Casti, John L. (1992) „The Simply Complex: Trendy Buzzword or Emerging New Science?“, in: *Bulletin of the Santa Fe Institute*, Vol. 7, No. 1, 1992, pp. 10-13.
- Casti, John L. (1994) „Complexification. Explaining a Paradoxical World through the Science of Surprise“, New York: Harper Collins, 1994.
- Casti, John L. (1997) „Would be Worlds. How Simulation is Changing the Frontiers of Science“, New York et al.: Wiley, 1997.
- Castonguay, Charles (1973) „Mathematics and Ontology“, in: „The Methodological Unity of Science“, ed. by Bunge, Mario A., Dordrecht, Boston: Reidel, 1973, pp. 15-22.
- Cavaliere, Sergio; Pezzotta, Giuditta (2012) „Product-Service Systems Engineering: State of the Art and Research Challenges“, in: *Computers in Industry*, Vol. 63, No. 4, 2012, pp. 278-288.
- Caws, Peter (1963) „Science, Computers, and the Complexity of Nature“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 30, No. 2, 1963, pp. 158-164.
- Ceballos, Hector G.; Flores-Solorio, Victor; Garcia, Juan Pablo (2015) „A Probabilistic BPMN Normal Form to Model and Advise Human Activities“, in: „Engineering Multi-Agent Systems“, ed. by Baldoni, Matteo et al., Third International Workshop, EMAS 2015, Istanbul, Turkey, May 5, 2015, Revised, Selected, and Invited Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 51-69.
- Cecil, Joe (2013) „Information Centric Engineering (ICE) Frameworks for Advanced Manufacturing Enterprises“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2013 Workshops“, ed. by Demey, Yan

Bibliographie

- Tang; Panetto, Hervé, Graz, Austria, September 9-13, 2013, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 47-56.
- Cerri, Daniele; Terzi, Sergio (2016) „Improving Manufacturing System's Lifecycle: Proposal of a Closed Loop Framework“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 554-561.
- Ceusters, Werner (2006) „Towards A Realism-Based Metric for Quality Assurance in Ontology Matching“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 321-332.
- Ceusters, Werner; Capolnpo, Maria; De Moor, Georges; Devlies, Jos (2008) „Introducing Realist Ontology for the Representation of Adverse Events“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 237-250.
- Ceusters, Werner; Elkin, Peter; Smith, Barry (2007) „Negative Findings in Electronic Health Records and Biomedical Ontologies: A Realist Approach“, in: *International Journal of Medical Informatics*, Vol. 76, Supplement 3, 2007, pp. S326-S333.
- Ceusters, Werner; Manzoor, Shahid (2010) „How to Track Absolutely Everything“, in: „Ontologies and Semantic Technologies for Intelligence“, ed. by Obrst, Leo et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 13-36.
- Ceusters, Werner; Smith, Barry (2006a) „A Realism-Based Approach to the Evolution of Biomedical Ontologies“, *AMIA Annu Symp Proc.*, 2006, pp. 121-125.
- Ceusters, Werner; Smith, Barry (2006b) „Strategies for Referent Tracking in Electronic Health Records“, in: *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 39, No. 3, 2006, pp. 362-378.
- Ceusters, Werner; Smith, Barry (2007) „Referent Tracking for Corporate Memories“, in: „Handbook of Ontologies for Business Interaction“, ed. by Rittgen, Peter, Hershey/PA: Information Science Reference, 2007, pp. 34-46.
- Ceusters, Werner; Smith, Barry (2010a) „Malaria Diagnosis and the Plasmodium Life Cycle: The BFO Perspective“, *Interdisciplinary Ontology. Proceedings of the Third Interdisciplinary Ontology Meeting*, Keio Univ. Pr., 2010.
- Ceusters, Werner; Smith, Barry (2010b) „Foundations for a Realist Ontology of Mental Disease“, in: *Journal of Biomedical Semantics*, Vol. 1, No. 10, 2010, pp. 1-23.
- Chady, Marcin; Poli, Riccardo (1997) „Evolution of Cellular-automaton-based Associative Memories“, *Technical Report No. CSR-97-15*, 1997.
- Chakpitak, Nopasit; Loahavilai, Piang-Or; Dahal, Keshav P.; Bouras, Abdelaziz (2016) „Knowledge Management on Asset Management for End of Life Products“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 428-443.
- Chakravarthy, Sharma; Adaikkalavan, Raman (2008) „Events and Streams: Harnessing and Unleashing Their Synergy!“, *Proceedings of the Second International Conference on Distributed Event-Based Systems (DEBS '08)*, Rome/Italy, July 01-04, 2008, pp. 1-12.
- Chakravartty, Anjan (2003) „The Structuralist Conception of Objects“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 70, 2003, pp. 867-878.
- Chakravartty, Anjan (2011) „Scientific Realism and Ontological Relativity“, in: *The Monist*, Vol. 94, No. 2, 2011, pp. 157-180.
- Chalmers, David J. (2010) „The Singularity: A Philosophical Analysis“, in: *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 17, No. 9-10, 2010, pp. 7-65.
- Chalmers, David J. (2011) „The Nature of Epistemic Space“, in: „Epistemic Modality“, ed. by Egan, Andy; Weatherson, Brian, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2011, pp. 60-107.
- Chandra, Charu; Kamrani, Ali K. (2003) „Knowledge Management for Consumer-focused Product Design“, in: *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 14, No. 6, 2003, pp. 557-580.
- Chandrasekaran, Balakrishnan; Johnson, Todd R.; Smith, Jack W. (1992) „Task-Structure Analysis for Knowledge Modeling“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 35, No. 9, 1992, pp. 124-137.
- Chandrasekaran, Balakrishnan; Josephson, John R.; Benjamins, V. Richard (1998) „Ontology of Tasks and Methods“, *ECAI98 Workshop on Applications of Ontologies and Problem Solving Methods*, 1998.
- Chandrasekaran, Balakrishnan; Josephson, John R.; Benjamins, V. Richard (1999) „What Are Ontologies, and Why Do We Need Them?“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 14, No. 1, 1999, pp. 20-26.

Bibliographie

- Chandy, K. Mani (2010) „A Web That Senses and Responds“, in: „From Active Data Management to Event-Based Systems and More“, ed. by Sachs, Kai et al., Papers in Honor of Alejandro Buchmann on the Occasion of His 60th Birthday, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 78-84.
- Chandy, K. Mani; Aydemir, Brian E.; Karpilovsky, Elliott M.; Zimmerman, Daniel M. (2003) „Event-Driven Architectures for Distributed Crisis Management“, 2003.
- Chandy, K. Mani; Schulte, W. Roy (2010) „Event Processing: Designing IT Systems for Agile Companies“, New York et al.: McGraw-Hill, 2010.
- Chang, Tang-Hsien; Yang, Li-Kai; Hsieh, Bor-Chia (2016) „Building iCaution and Traffic Game in Smart Cities“, in: „Internet of Vehicles - Technologies and Services“, ed. by Hsu, Ching-Hsien et al., Third International Conference, IOV 2016, Nadi, Fiji, December 7-10, 2016, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 82-90.
- Chang, Xiaomeng; Terpenney, Janis (2009) „Ontology-based Data Integration and Decision Support for Product e-Design“, in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 25, 2009, pp. 863-870.
- Chao, Kuo-Ming; Griffiths, Nathan (2010) „Introduction“, in: „Agent-Based Service-Oriented Computing“, ed. by Griffiths, Nathan; Chao, Kuo-Ming, London: Springer, 2010, pp. 1-19.
- Chapman, C.B.; Pinfold, M. (1999) „Design Engineering - A Need to Rethink the Solution Using Knowledge Based Engineering“, in: Knowledge-Based Systems, Vol. 12, No. 5-6, 1999, pp. 257-267.
- Chapman, H. Wallis (1929) „The Case for Emergent Evolution“, in: Journal of Philosophical Studies, Vol. 4, No. 14, 1929, pp. 286-287.
- Chappell, David A. (2004) „Enterprise Service Bus“, Sebastopol/CA: O'Reilly, 2004.
- Chapurlat, Vincent; Roque, Matthieu (2010) „Interoperability Constraints and Requirements Formal Modeling and Checking Framework“, in: „Advances in Production Management Systems. New Challenges, New Approaches“, ed. by Vallespir, Bruno; Alix, Thècle, IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2009, Bordeaux, France, September 21-23, 2009, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 219-226.
- Chattopadhyaya, Debi P. (1999) „On the Ways of Knowing What Is There: Being and Knowing“, in: „The Proceedings of the Twentieth World Congress of Philosophy, Vol. 2: Metaphysics“, ed. by Rockmore, Tom, Bowling Green/OH: Bowling Green State Univ., 1999, pp. 187-194.
- Chaudhary, Vikas (2018) „Reconfigurable Computing for Smart Vehicles“, in: „Smart Cities: Applications, Technologies, Standards, and Driving Factors“, ed. by McClellan, Stan et al., Cham et al.: Springer, 2018, pp. 135-147.
- Chauhan, Alok; Vijayakumar, V.; Ragala, Ramesh (2015) „Towards a Multi-level Upper Ontology/Foundation Ontology Framework as Background Knowledge for Ontology Matching Problem“, in: Procedia Computer Science, Vol. 50, 2015, pp. 631-634.
- Chavula, Catherine; Keet, C. Maria (2015) „An Orchestration Framework for Linguistic Task Ontologies“, in: „Metadata and Semantics Research“, ed. by Garoufallou, Emmanouel et al., 9th Research Conference, MTSR 2015, Manchester/UK, September 9-11, 2015, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 3-14.
- Chen, Chen; Zhao, Honghui; Qiu, Tie; Hu, Mingcheng; Han, Hui; Ren, Zhiyuan (2017) „An Efficient Power Saving Polling Scheme in the Internet of Energy“, in: Journal of Network and Computer Applications, Vol. 89, 2017, pp. 48-61.
- Chen, Ching Yu; Fu, Jui Hsi; Sung, Today; Wang, Ping-Feng; Jou, Emery; Feng, Ming-Whei (2014) „Complex Event Processing for the Internet of Things and its Applications“, IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Taipei/Taiwan, 18-22 Aug., 2014, pp. 1144-1149.
- Chen, David (2010) „Framework for Enterprise Interoperability and Maturity Model (CEN/ISO 11354)“, in: „Interoperability for Enterprise Software and Applications“, ed. by Panetto, Hervé; Boudjlida, Nacer, London; Hoboken/NJ: ISTE; Wiley, 2010, pp. 15-21.
- Chen, David; Doumeingts, Guy; Vernadat, François (2008) „Architectures for Enterprise Integration and Interoperability: Past, Present and Future“, in: Computers in Industry, Vol. 59, 2008, pp. 647-659.
- Chen, David; Knothe, Thomas; Doumeingts, Guy (2009) „POP* Meta-Model For Enterprise Model Interoperability“, in: IFAC Proceedings Volumes, Vol. 42, No. 4, Proceedings of the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Moscow, Russia, June 3-5, 2009, pp. 175-180.
- Chen, David; Vallespir, Bruno; Doumeingts, Guy (1997) „GRAI Integrated Methodology and its Mapping onto Generic Enterprise Reference Architecture and Methodology“, in: Computers in Industry, Vol. 33, 1997, pp. 387-394.
- Chen, David; Youssef, Joseph R.; Zacharewicz, Gregory (2014) „Towards an Enterprise Operating System - Requirements for Standardisation“, in: „IWEI 2015 Workshops - New Requirements and Innovative Solutions to Enterprise Interoperability“, ed. by Zelm, Martin, Proceedings of the Workshops of the IWEI 2015

- Conference, co-located with the 6th International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability IWEI 2015, Nîmes, France, 2014.
- Chen, DeJiu; Asplund, Fredrik et al. (2015) „Towards an Ontology-Based Approach to Safety Management in Cooperative Intelligent Transportation Systems“, in: „Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability“, ed. by Zamojski, Wojciech et al., Proceedings of the Tenth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX, June 29 - July 3 2015, Brunów/Poland, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 107-115.
- Chen, Harry; Finin, Tim; Joshi, Anupam (2005) „The SOUPA Ontology for Pervasive Computing“, in: „Ontologies for Agents: Theory and Experiences“, ed. by Tamma, Valentina A.M. et al., Basel et al.: Birkhäuser, 2005, pp. 233-258.
- Chen, Harry; Perich, Filip; Finin, Tim; Joshi, Anupam (2004) „SOUPA: Standard Ontology for Ubiquitous and Pervasive Applications“, Proceedings of the First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services (MobiQuitous'04), 2004, pp. 258-267.
- Chen, Hsing Hung; Kang, He-Yau; Xing, Xiaoqiang; Lee, Amy H.I.; Tong, Yunhuan (2008) „Developing New Products with Knowledge Management Methods and Process Development Management in a Network“, in: Computers in Industry, Vol. 59, No. 2-3, 2008, pp. 242-253.
- Chen, Jianhui; Ma, Jianhua et al. (2016) „WaaS-Wisdom as a Service“, in: „Wisdom Web of Things“, ed. by Zhong, Ning et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 27-46.
- Chen, Peter P. (1976) „The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data“, in: ACM Transactions on Database Systems, Vol. 1, No. 1, 1976, pp. 9-36.
- Chen, Peter P.; Thalheim, Bernhard; Wong, Leah Y. (1999) „Future Directions of Conceptual Modeling“, in: „Conceptual Modeling. Current Issues and Future Directions“, ed. by Chen, Peter P. et al., Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 287-301.
- Chen, Ruey-Shun; Tu, Mengru (Arthur) (2009) „Development of an Agent-based System for Manufacturing Control and Coordination with Ontology and RFID Technology“, in: Expert Systems with Applications, Vol. 36, 2009, pp. 7581-7593.
- Chen, Tsung-Yi (2008) „Knowledge Sharing in Virtual Enterprises Via an Ontology-based Access Control Approach“, in: Computers in Industry, Vol. 59, No. 5, 2008, pp. 502-519.
- Chen, Willy; Stuckenschmidt, Heiner (2008) „Towards Industrial Strength Knowledge Bases for Product Lifecycle Management“, ECIS 2008 Proceedings, Paper 49, 2008.
- Chen, Willy; Stuckenschmidt, Heiner (2009) „A Model-driven Approach to Enable Access Control for Ontologies“, in: „Business Services: Konzepte, Technologien, Anwendungen“, hrsg. v. Hansen, Hans Robert et al., 9. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik, Wien, 25.-27. Februar 2009, Bd. 1, Wien: Österreichische Computer Ges., 2009, S. 663-672.
- Chen, Xian-Yi; Jin, Zhi-Gang (2012) „Research on Key Technology and Applications for Internet of Things“, in: Physics Procedia, Vol. 33, 2012, pp. 561-566.
- Chen, Yinong; Hu, Hualiang (2013) „Internet of Intelligent Things and Robot as a Service“, in: Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 34, 2013, pp. 159-171.
- Chen, Yuh-Jen; Chen, Yuh-Min; Chu, Hui-Chuan (2009) „Development of a Mechanism for Ontology-based Product Lifecycle Knowledge Integration“, in: Expert Systems with Applications, Vol. 36, 2009, pp. 2759-2779.
- Cherrier, Sylvain; Ghamri-Doudane, Yacine M. (2014) „The "Object-as-a-Service" Paradigm“, Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), Montreal/QC, 15-19 Sept., 2014, pp. 1-7.
- Cherry, E. Colin (1951) „A History of the Theory of Information“, in: Proceedings of the IEE, Vol. 98, No. 55, 1951, pp. 383-393.
- Cherry, E. Colin (1957) „On Human Communication: A Review, A Survey, and a Criticism“, New York: Wiley et al., 1957.
- Chesani, Federico; Mello, Paola; Montali, Marco; Torroni, Paolo (2010) „A Logic-Based, Reactive Calculus of Events“, in: Fundamenta Informaticae, Vol. 105, No. 1-2, 2010, pp. 1-27.
- Chesbrough, Henry W.; Spohrer, Jim (2006) „A Research Manifesto for Services Science“, in: Communications of the ACM, Vol. 49, No. 7, 2006, pp. 35-40.
- Cheung, Kenneth C.; Demaine, Erik D.; Bachrach, Jonathan R.; Griffith, Saul (2011) „Programmable Assembly With Universally Foldable Strings (Moteins)“, in: IEEE Transactions on Robotics, Vol. 27, No. 4, 2011, pp. 718-729.
- Chevalier, Edouard; Servant, François-Paul (2012) „Product Customization as Linked Data“, in: „The Semantic Web: Research and Applications“, ed. by Simperl, Elena et al., 9th Extended Semantic Web Con-

Bibliographie

- ference, ESWC 2012, Heraklion, Crete, Greece, May 27-31, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 603-617.
- Chin, Jonathan; Harvey, Matthew J.; Jha, Shantenu; Coveney, Peter V. (2005) „Scientific Grid Computing: The First Generation“, in: *Computing in Science and Engineering*, Vol. 7, No. 5, 2005, pp. 24-32.
- Chinosi, Michele; Trombetta, Alberto (2012) „BPMN: An Introduction to the Standard“, in: *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 34, 2012, pp. 124-134.
- Chirn, Jin-Lung; McFarlane, Duncan C. (2000) „A Holonic Component-Based Approach to Reconfigurable Manufacturing Control Architecture“, *Proceedings of the International Workshop on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*, 2000, pp. 219-223.
- Chisholm, Roderick M. (1944) „Russell on the Foundations of Empirical Knowledge“, in: „*The Philosophy of Bertrand Russell*“, ed. by Schilpp, Paul Arthur, 3rd ed., New York: Tudor Publ., 1951, pp. 419-444.
- Chisholm, Roderick M. (1957) „*Perceiving. A Philosophical Study*“, New York: Univ. Pr., 1957.
- Chisholm, Roderick M. (1963) „The Logic of Knowing“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 60, No. 25, 1963, pp. 773-795.
- Chisholm, Roderick M. (1967a) „'He Could have Done Otherwise'“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 64, No. 13, 1967, pp. 409-417.
- Chisholm, Roderick M. (1967b) „Comments on D. Davidson's 'The Logical Form of Action Sentences'“, in: „*The Logic of Decision and Action*“, ed. by Rescher, Nicholas, Pittsburgh/Pa.: Univ. of Pittsburgh Pr., 1967, pp. 113-114.
- Chisholm, Roderick M. (1970a) „Events and Propositions“, in: *Noûs*, Vol. 4, No. 1, 1970, pp. 15-24.
- Chisholm, Roderick M. (1970b) „On the Nature of Empirical Evidence“, in: „*Experience and Theory*“, ed. by Foster, Lawrence; Swanson, Joe W., Amherst/Mass.: Univ. of Massachusetts Pr., 1970, pp. 103-134.
- Chisholm, Roderick M. (1971) „States of Affairs Again“, in: *Noûs*, Vol. 5, No. 2, 1971, pp. 179-189.
- Chisholm, Roderick M. (1973a) „Beyond Being and Nonbeing“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 24, No. 4, 1973, pp. 245-257.
- Chisholm, Roderick M. (1973b) „Parts as Essential to Their Wholes“, in: *Review of Metaphysics*, Vol. 26, No. 4, 1973, pp. 581-603.
- Chisholm, Roderick M. (1976a) „*Person and Object. A Metaphysical Study*“, London: Allen and Unwin, 1976.
- Chisholm, Roderick M. (1976b) „The Agent as Cause“, in: „*Action Theory*“, ed. by Brand, Myles; Walton, Douglas, Dordrecht, Boston: Reidel, 1976, pp. 199-211.
- Chisholm, Roderick M. (1977) „*Theory of Knowledge*“, 2nd ed., Englewood Cliffs/N.J.: Prentice-Hall, 1977.
- Chisholm, Roderick M. (1979) „Identity through Possible Worlds“, in: „*The Possible and the Actual. Readings in the Metaphysics of Modality*“, ed. by Loux, Michael J., Ithaca et al.: Cornell Univ. Pr., 1979, pp. 80-87.
- Chisholm, Roderick M. (1982a) „*Brentano and Meinong Studies*“, Amsterdam: Rodopi, 1982.
- Chisholm, Roderick M. (1982b) „*The Foundations of Knowing*“, Minneapolis: Univ. of Minnesota Pr., 1982.
- Chisholm, Roderick M. (1985) „The Structure of States of Affairs“, in: „*Essays on Davidson: Actions and Events*“, ed. by Vermazen, Bruce; Hintikka, Merrill B., Oxford et al.: Clarendon Pr., 1985, pp. 107-114.
- Chisholm, Roderick M. (1989) „*On Metaphysics*“, Minneapolis: Univ. of Minnesota Pr., 1989.
- Chisholm, Roderick M. (1990) „Events Without Times. An Essay on Ontology“, in: *Noûs*, Vol. 24, No. 3, 1990, pp. 413-427.
- Chisholm, Roderick M. (1994) „Ontologically Dependent Entities“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 54, No. 3, 1994, pp. 499-507.
- Chisholm, Roderick M. (1996) „*A Realistic Theory of Categories. An Essay on Ontology*“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1996.
- Chisholm, Roderick M.; Haller, Rudolf (Hrsg.) (1978) „*Die Philosophie Franz Brentanos*“, Amsterdam: Rodopi, 1978.
- Choi, Hee-Chul; Kruk, Sebastian R.; Grzonkowski, Slawomir; Stankiewicz, Katarzyna; Davis, Brian; Breslin, John G. (2006) „Trust Models for Community-Aware Identity Management“, *Architecture and Philosophy of the Web: Identity, Reference, and the Web IRW2006, WWW2006 Workshop*, Edinburgh/Scotland May 23rd, 2006.
- Choi, Jin; Kwon, O-Chang; Jo, Wonjin; Lee, Heon Ju; Moon, Myoung-Woon (2015) „4D Printing Technology: A Review“, in: *3D Printing and Additive Manufacturing*, Vol. 2, No. 4, 2015, pp. 159-167.

Bibliographie

- Choi, Sang Su; Yoon, Tae Hyuck; Noh, Sang Do (2010) „XML-based Neutral File and PLM Integrator for PPR Information Exchange between Heterogeneous PLM Systems“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 23, No. 3, 2010, pp. 216-228.
- Choi, Thomas Y.; Dooley, Kevin J.; Rungtusanatham, Manus (2001) „Supply Networks and Complex Adaptive Systems: Control versus Emergence“, in: *Journal of Operations Management*, Vol. 19, No. 3, 2001, pp. 351-366.
- Chopra, Amit K.; Singh, Munindar P. (2008) „Constitutive Interoperability“, ed. by Padgham, Lin et al., *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS '08)*, Vol. 2, 2008, pp. 797-804.
- Chopra, Amit K.; Singh, Munindar P. (2010) „Elements of a Business-Level Architecture for Multiagent Systems“, in: „Programming Multi-Agent Systems“, ed. by Braubach, Lars et al., 7th International Workshop, ProMAS 2009, Budapest/Hungary, May 10-15, 2009, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 15-30.
- Choudhury, Nupur (2014) „World Wide Web and Its Journey from Web 1.0 to Web 4.0“, in: *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, Vol. 5, No. 6, 2014, pp. 8096-8100.
- Chourabi, Olfa; Pollet, Yann; Ben Ahmed, Mohamed (2010) „An Ontological Framework for Knowledge Management in Systems Engineering Processes“, in: „Knowledge Management“, ed. by Virtanen, Pasi; Helander, Nina, Rijeka: InTech, 2010, pp. 149-168.
- Chow, Sheldon J. (2013) „What's the Problem with the Frame Problem?“, in: *Review of Philosophy and Psychology*, Vol. 4, No. 2, 2013, pp. 309-331.
- Chrisley, Ron (2003) „Embodied Artificial Intelligence“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 149, No. 1, 2003, pp. 131-150.
- Christensen, Darrel E. (1981) „A Throb of Creation and the Making of Meaning. Toward a Neo-Hegelian/Whiteheadian Concept of Meaning“, in: *Dialectics and Humanism*, Vol. 8, No. 3, Summer, 1981, pp. 25-43.
- Christensen, Darrel E. (1989) „Hegelian/Whiteheadian Perspectives“, Lanham/MD et al.: Univ. Pr. of America, 1989.
- Christiaens, Wim (2001) „Introduction“, in: „The Metaphysics of Science“, ed. by Christiaens, Wim, *Philosophica*, Vol. 67, No. 1, 2001, pp. 5-9.
- Christiansen, Peder V. (2000) „Macro and Micro-levels in Physics“, in: „Downward Causation. Minds, Bodies and Matter“, ed. by Andersen, Peter Bøgh et al., Aarhus: Aarhus Univ. Pr., 2000, pp. 51-62.
- Christophe, Benoit; Boussard, Mathieu; Lu, Monique; Pastor, Alain; Toubiana, Vincent (2011a) „The Web of Things Vision: Things as a Service and Interaction Patterns“, in: *Bell Labs Technical Journal*, Vol. 16, No. 1, 2011, pp. 55-61.
- Christophe, Benoit; Verdot, Vincent; Toubiana, Vincent (2011b) „Searching the 'Web of Things'“, *Proc. 5th Int'l Conf. Semantic Computing (ICSC)*, 2011, pp. 308-315.
- Christopoulou, Eleni; Goumopoulos, Christos; Zaharakis, Ioannis; Kameas, Achilles (2004) „An Ontology-based Conceptual Model for Composing Context-Aware Applications“, *Proceedings of the Sixth International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp 2004), Workshop on 'Advanced Context Modelling, Reasoning and Management'*, Nottingham/England, 2004.
- Chua, Cecil Eng Huang; Storey, Veda C.; Chiang, Roger H.L. (2012) „Knowledge Representation: A Conceptual Modeling Approach“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 23, No. 1, 2012, pp. 1-30.
- Chua, Chee Kai; Teh, S.H.; Gay, Robert K.L. (1999) „Rapid Prototyping Versus Virtual Prototyping in Product Design and Manufacturing“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 15, No. 8, 1999, pp. 597-603.
- Chungoora, Nitishal (2010) „A Framework to Support Semantic Interoperability in Product Design and Manufacture“, Ph.D., Loughborough Univ., 2010.
- Chungoora, Nitishal; Canciglieri, Osiris, Jr.; Young, Robert I.M. (2010) „Towards Expressive Ontology-based Approaches to Manufacturing Knowledge Representation and Sharing“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 23, No. 12, 2010, pp. 1059-1070.
- Chungoora, Nitishal; Cutting-Decelle, Anne-Francoise; Young, Robert I.M.; Gunendran, A. George; Usman, Zahid et al. (2013b) „Towards the Ontology-based Consolidation of Production-Centric Standards“, in: *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 2, 2013, pp. 327-345.
- Chungoora, Nitishal; Gunendran, A. George; Young, Robert I.M.; Usman, Zahid; Anjum, Najam A.; Palmer, Claire et al. (2012) „Extending Product Lifecycle Management for Manufacturing Knowledge Sharing“, in: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B - Journal of Engineering Manufacture*, 226 (A12), 2012, pp. 2047-2063.

Bibliographie

- Chungoora, Nitishal; Young, Robert I.M. (2008a) „Ontology Mapping to Support Semantic Interoperability in Product Design and Manufacture“, in: Proceedings of the 1st International Workshop on Model Driven Interoperability for Sustainable Information Systems (MDISIS'08) in Conjunction with the CAiSE'08 Conference, Montpell, 2008, pp. 1-15.
- Chungoora, Nitishal; Young, Robert I.M. (2008b) „Semantic Interoperability Requirements for Manufacturing Knowledge Sharing“, in: „Enterprise Interoperability III“, ed. by Mertins, Kai et al., London et al.: Springer, 2008, pp. 411-422.
- Chungoora, Nitishal; Young, Robert I.M. (2011a) „A Framework to Support Semantic Interoperability in Product Design and Manufacture“, in: „Global Product Development“, ed. by Bernard, Alain, Proceedings of the 20th CIRP Design Conference, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, France, 19th-21st April 2010, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 435-443.
- Chungoora, Nitishal; Young, Robert I.M. (2011b) „The Configuration of Design and Manufacture Knowledge Models from a Heavyweight Ontological Foundation“, in: International Journal of Production Research, Vol. 49, No. 15, 2011, pp. 4701-4725.
- Chungoora, Nitishal; Young, Robert I.M.; Gunendran, A. George; Palmer, Claire; Usman, Zahid; Anjum, Najam A. et al. (2013a) „A Model-driven Ontology Approach for Manufacturing System Interoperability and Knowledge Sharing“, in: Computers in Industry, Vol. 64, No. 4, 2013, pp. 392-401.
- Church, Alonzo (1932) „A Set of Postulates for the Foundation of Logic“, in: The Annals of Mathematics, 2nd Ser., Vol. 33, No. 2, 1932, pp. 346-366.
- Church, Alonzo (1936a) „A Note on the Entscheidungsproblem“, in: Journal of Symbolic Logic, Vol. 1, No. 1, 1936, pp. 40-41.
- Church, Alonzo (1936b) „An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory“, in: American Journal of Mathematics, Vol. 58, No. 2, 1936, pp. 345-363.
- Church, Alonzo (1937a) „On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, by A.M. Turing (Review)“, in: Journal of Symbolic Logic, Vol. 2, No. 1, 1937, pp. 42-43.
- Church, Alonzo (1937b) „Finite Combinatory Processes - Formulation 1, by Emil L. Post (Review)“, in: Journal of Symbolic Logic, Vol. 2, No. 1, 1937, p. 43.
- Church, Alonzo (1941) „The Calculi of Lambda-Conversion“, Princeton et al.: Princeton Univ. Pr. et al., 1941.
- Church, Alonzo (1951) „A Formulation of the Logic of Sense and Denotation“, in: „Structure, Method and Meaning. Essays in Honor of Henry M. Sheffer“, ed. by Henle, Paul et al., New York: The Liberal Arts Pr., 1951, pp. 3-24.
- Church, Alonzo (1955) „Reviewed Work: The Algebra of States and Events by Edmund C. Berkeley“, in: Journal of Symbolic Logic, Vol. 20, No. 3, 1955, pp. 286-287.
- Church, Alonzo (1956) „Introduction to Mathematical Logic“, Princeton: Princeton Univ. Pr., 1956.
- Church, Alonzo (1958) „Ontological Commitment“, in: Journal of Philosophy, Vol. 55, No. 23, 1958, pp. 1008-1014.
- Church, Kim S.; Smith, Rod E. (2005) „An Ontology-Based Dynamic Enterprise Model: A Proposal with Application for Planning Sustained Compliance with the Sarbanes-Oxley Act“, Working Paper, 2005.
- Church, Kim S.; Smith, Rod E. (2007) „An Extension of the REA Framework to Support Balanced Scorecard Information Requirements“, in: Journal of Information Systems, Vol. 21, No. 1, 2007, pp. 1-25.
- Church, Kim S.; Smith, Rod E. (2008) „REA Ontology-Based Simulation Models for Enterprise Strategic Planning“, in: Journal of Information Systems, Vol. 22, No. 2, 2008, pp. 301-329.
- Churchman, C. West (1968) „The Systems Approach“, New York: Dell, 1968.
- Ciancarini, Paolo; Tolksdorf, Robert; Vitali, Fabio; Rossi, Davide; Knoche, Andreas (1998) „Coordinating Multiagent Applications on the WWW: A Reference Architecture“, in: IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 24, No. 5, 1998, pp. 362-375.
- Cilliers, Paul (1998) „Complexity and Postmodernism. Understanding Complex Systems“, London, New York: Routledge, 1998.
- Cilliers, Paul (2005) „Knowledge, Limits and Boundaries“, in: Futures, Vol. 37, No. 7, 2005, pp. 605-613.
- Cimatti, Alessandro; Pistore, Marco; Traverso, Paolo (2008) „Automated Planning“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 841-867.
- CIMdata (2002) „Product Lifecycle Management: 'Empowering the Future of Business'“, A CIMdata Report, 2002.

Bibliographie

- CIMdata (2005a) „The Value of Digital Manufacturing in a PLM Environment“, Case Study: Fiat Auto S.p.A, 2005.
- CIMdata (2005b) „PLM and ERP Integration: Business Efficiency and Value“, CIMdata Report, 2005.
- CIMdata (2006) „Service-Oriented Architecture for PLM. An Overview of UGS' SOA Approach“, CIMdata Program Review, 2006.
- CIMdata (2008) „The Value of Unified Architectures for PLM“, CIMdata Topic Review, 2008.
- CIMdata (2010) „Teamcenter 'unified'. 'Siemens PLM Software's Next Generation PLM Platform'“, White Paper, 2010.
- CIMdata (2011a) „Smarter Decisions - Differentiating Products. The Strategic Value of Business Intelligence in PLM“, 2011.
- CIMdata (2011b) „The Increasing Value of SOA-Based Unified Architectures for PLM“, White Paper, 2011.
- CIMdata (2014) „Next Generation Cloud-Based PLM Solutions“, CIMdata Commentary, 30 October, 2014.
- CIMdata (2016) „PLM for All: Unleashing Product Data to the Enterprise“, CIMdata Commentary, 2016.
- CIMdata (2017) „Product Innovation Platforms: Definition, Their Role in the Enterprise, and Their Long-Term Viability“, CIMdata Position Paper, 2017.
- Cimiano, Philipp; Eberhart, Andreas; Hitzler, Pascal; Oberle, Daniel; Staab, Steffen; Studer, Rudi (2004) „The SmartWeb Foundational Ontology“, in: SmartWeb Project Report, 2004, pp. 161-197.
- Cimiano, Philipp; Mädche, Alexander; Staab, Steffen; Völker, Johanna (2009) „Ontology Learning“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 245-267.
- Cimiano, Philipp; Reyle, Uwe (2006) „Towards Foundational Semantics - Ontological Semantics Revisited“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 51-62.
- Ciobanu, Radu-Ioan; Cristea, Valentin; Dobre, Ciprian; Pop, Florin (2014) „Big Data Platforms for the Internet of Things“, in: „Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments“, ed. by Bessis, Nik; Dobre, Ciprian, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 3-34.
- Cisco (2011) „The Internet of Things. How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything“, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), White Paper, 2011.
- Cisco (2012) „The Internet of Everything. How More Relevant and Valuable Connections Will Change the World“, 2012.
- Cisco (2013a) „Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of \$14.4 Trillion“, 2013.
- Cisco (2013b) „The Internet of Everything for Cities. Connecting People, Process, Data, and Things To Improve the 'Livability' of Cities and Communities“, Point of View, 2013.
- Cisco (2014) „The Internet of Everything: Fueling Educational Innovation“, White Paper, 2014.
- Cisco (2015) „Fog Computing and the Internet of Things: Extend the Cloud to Where the Things Are“, White Paper, 2015.
- Clancey, William J. (1993) „The Knowledge Level Reinterpreted: Modeling Socio-technical Systems“, in: International Journal of Intelligent Systems, Vol. 8, No. 1, 1993, pp. 33-49.
- Clancey, William J. (1997) „Situated Cognition: On Human Knowledge and Computer Representations“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1997.
- Clark, Kim B.; Wheelwright, Steven C. (1993) „Managing New Product and Process Development“, New York/N.Y.: Free Pr., 1993.
- Clarke, Bowman L. (1981) „A Calculus of Individuals based on 'Connection'“, in: Notre Dame Journal of Formal Logic, Vol. 22, No. 3, 1981, pp. 204-218.
- Clarke, Bowman L. (1985) „Individuals and Points“, in: Notre Dame Journal of Formal Logic, Vol. 26, No. 1, 1985, pp. 61-75.
- Clayton, Philip (2000) „The Problem of God in Modern Thought“, Grand Rapids/Mich. et al.: Eerdmans, 2000.
- Clayton, Philip (2006a) „Conceptual Foundations of Emergence Theory“, in: „The Re-Emergence of Emergence. The Emergentist Hypothesis from Science to Religion“, ed. by Clayton, Philip; Davies, Paul, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2006, pp. 1-31.
- Clayton, Philip (2006b) „Emergence from Quantum Physics to Religion: A Critical Appraisal“, in: „The Re-Emergence of Emergence. The Emergentist Hypothesis from Science to Religion“, ed. by Clayton, Philip; Davies, Paul, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2006, pp. 303-322.
- Clement, William C. (1953) „Russell's Structuralist Thesis“, in: Philosophical Review, Vol. 62, No. 2, 1953, pp. 266-275.

- Clippinger, John H. III (1999) „Order from the Bottom Up: Complex Adaptive Systems and Their Management“, in: „The Biology of Business. Decoding the Natural Laws of Enterprise“, ed. by Clippinger, John H. III, San Francisco: Jossey-Bass, 1999, pp. 1-30.
- Cobb, John B., Jr. (1984) „Whitehead and Natural Philosophy“, in: „Whitehead und der Prozessbegriff“, hrsg. v. Holz, Harald; Wolf-Gazo, Ernest, Beitr. zur Philosophie Alfred North Whiteheads auf d. 1. Int. Whitehead-Symposium 1981, Freiburg, München: Alber, 1984, S. 137-153.
- Cocchiarella, Nino B. (1991) „Formal Ontology“, in: „Handbook of Metaphysics and Ontology“, ed. by Burkhardt, Hans; Smith, Barry, Vol. 2, Munich: Philosophia, 1991, pp. 640-647.
- Cocchiarella, Nino B. (2001) „Logic and Ontology“, in: *Axiomathes*, Vol. 12, No. 1-2, 2001, pp. 117-150.
- Cocchiarella, Nino B. (2007) „Formal Ontology and Conceptual Realism“, Dordrecht: Springer, 2007.
- Cocchiarella, Nino B. (2010) „Actualism Versus Possibilism in Formal Ontology“, in: „Theory and Applications of Ontology: Philosophical Perspectives“, ed. by Poli, Roberto; Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 105-117.
- Codd, Edgar F. (1968) „Cellular Automata“, Orlando/FL et al.: Academic Pr., 1968.
- Codd, Edgar F. (1970) „A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 13, No. 6, 1970, pp. 377-387.
- Coffi, Jean-René; Museux, Nicolas; Marsala, Christophe (2012) „Interval Logic for Design and Maintenance of Complex Event Processing Systems“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Daniel, Florian et al., BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011, Revised Selected Papers, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 407-413.
- Cohen, David W. (1989) „An Introduction to Hilbert Space and Quantum Logic“, New York et al.: Springer, 1989.
- Cohen, I. Bernard (1980) „The Newtonian Revolution“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1980.
- Cohen, Philip R.; Levesque, Hector J. (1990) „Intention Is Choice with Commitment“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 42, No. 2-3, 1990, pp. 213-261.
- Colace, Francesco; De Santo, Massimo; Napoletano, Paolo (2009) „Product Configurator: An Ontological Approach“, Ninth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA '09), Nov.30-Dec.2 2009, Pisa, IEEE, 2009, pp. 908-912.
- Colantoni, Claude S.; Manes, Rene P.; Whinston, Andrew (1971) „A Unified Approach to the Theory of Accounting and Information Systems“, in: *The Accounting Review*, Vol. 46, No. 1, 1971, pp. 90-102.
- Colistra, Giuseppe; Piloni, Virginia; Atzori, Luigi (2014) „The Problem of Task Allocation in the Internet of Things and the Consensus-based Approach“, in: *Computer Networks*, Vol. 73, 2014, pp. 98-111.
- Colitti, Walter; Thanh Long, Nguyen; De Caro, Niccolò; Steenhaut, Kris (2014) „Embedded Web Technologies for the Internet of Things“, in: „Internet of Things. Challenges and Opportunities“, ed. by Mukhopadhyay, Subhas C., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 55-73.
- Collingwood, Robin G. (1940) „An Essay on Metaphysics“, Repr., Oxford: Clarendon Pr., 1962.
- Collingwood, Robin G. (1945) „The Idea of Nature“, Repr., Oxford: Clarendon Pr., 1945.
- Collins, Joseph B.; Clark, Doug (2004) „Towards an Ontology of Physics“, European Simulation Interoperability Workshop (EURO-SIW), Edinburgh/Scotland, 2004.
- Colomb, Robert M. (2002) „Formal versus Material Ontologies for Information Systems Interoperation in the Semantic Web“, Technical Report 16/02 ISIB-CNR, Padova, Italy, November, 2002.
- Colomb, Robert M. (2007) „Ontology and the Semantic Web“, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2007.
- Colomb, Robert M. (2013) „Representation of Action is a Primary Requirement in Ontologies for Interoperating Information Systems“, in: „Ontology-Based Applications for Enterprise Systems and Knowledge Management“, ed. by Nazir Ahmad, Mohammad et al., Hershey/PA: IGI Global, 2013, pp. 68-76.
- Colomb, Robert M.; Ahmad, Mohammad Nazir (2010) „A Perdurant Ontology for Interoperating Information Systems Based on Interlocking Institutional Worlds“, in: *Applied Ontology*, Vol. 5, No. 1, 2010, pp. 47-77.
- Colomb, Robert M.; Weber, Ron (1998) „Completeness and Quality of an Ontology for an Information System“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Guarino, Nicola, Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), Amsterdam et al.: IOS Pr., 1998, pp. 207-217.
- Colombo, Armando W.; Karnouskos, Stamatis; Bangemann, Thomas (2014) „Towards the Next Generation of Industrial Cyber-Physical Systems“, in: „Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems. The IMC-AESOP Approach“, ed. by Colombo, Armando W. et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 1-22.
- Colombo, Armando W.; Karnouskos, Stamatis; Mendes, João Marco (2010) „Factory of the Future: A Service-oriented System of Modular, Dynamic Reconfigurable and Collaborative Systems“, in: „Artificial

- Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management“, ed. by Benyoucef, Lyes; Grabot, Bernard, London: Springer, 2010, pp. 459-481.
- Colombo, Armando W.; Karnouskos, Stamatis; Mendes, João Marco; Leitão, Paulo (2015) „Industrial Agents in the Era of Service-Oriented Architectures and Cloud-Based Industrial Infrastructures“, in: „Industrial Agents. Emerging Applications of Software Agents in Industry“, ed. by Leitão, Paulo; Karnouskos, Stamatis, Amsterdam et al.: Elsevier, 2015, pp. 67-87.
- Colombo, Gianluca; Mosca, Alessandro; Palmonari, Matteo; Sartori, Fabio (2007) „An Upper-level Functional Ontology to Support Distributed Design“, in: „ONTOSE 2007“, ed. by Micucci, Daniela et al., 2nd International Workshop on Ontology, Conceptualization and Epistemology for Software and System Engineering, Milan, June 27-28, 2007, 2007.
- Colyvan, Mark (1998) „Can the Eleatic Principle Be Justified?“, in: Canadian Journal of Philosophy, Vol. 28, No. 3, 1998, pp. 313-335.
- Compton, Michael (2011) „What Now and Where Next for the W3C Semantic Sensor Networks Incubator Group Sensor Ontology“, in: „SSN11 - Semantic Sensor Networks 2011“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 4th International Workshop on Semantic Sensor Networks, A workshop of the 10th International Semantic Web Conference ISWC 2011, Bonn, Germany, October 23, 2011, pp. 1-8.
- Compton, Michael; Barnaghi, Payam; Bermudez, Luis; García-Castro, Raúl; Corcho, Oscar; Cox, Simon; Graybeal, John et al. (2012) „The SSN Ontology of the W3C Semantic Sensor Network Incubator Group“, in: Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Vol. 17, 2012, pp. 25-32.
- Compton, Michael; Henson, Cory A.; Lefort, Laurent; Neuhaus, Holger; Sheth, Amit (2009) „A Survey of the Semantic Specification of Sensors“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 2nd International Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN09), collocated with the 8th Int. Semantic Web Conference (ISWC-2009), Washington DC/USA, Oct. 26, 2009, pp. 17-32.
- Compton, Michael; Neuhaus, Holger; Taylor, Kerry; Tran, Khoi-Nguyen (2009) „Reasoning about Sensors and Compositions“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 2nd International Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN09), collocated with the 8th Int. Semantic Web Conference (ISWC-2009), Washington DC/USA, Oct. 26, 2009, pp. 33-48.
- Comte, Auguste (1844) „Rede über den Geist des Positivismus“, Hamburg: Meiner, 1994.
- Confessore, Giuseppe; Liotta, Giacomo; Stecca, Giuseppe (2010) „Product, Processes and Organisation Lifecycles“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahan, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 323-332.
- Conger, George P. (1925) „The Doctrine of Levels“, in: Journal of Philosophy, Vol. 22, No. 12, 1925, pp. 309-321.
- Conner, David E. (2009) „Whitehead the Naturalist“, in: American Journal of Theology and Philosophy, Vol. 30, No. 2, 2009, pp. 168-186.
- Contreras, Miguel; Sheremetov, Leonid (2008) „Industrial Application Integration Using the Unification Approach to Agent-enabled Semantic SOA“, in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 24, No. 5, 2008, pp. 680-695.
- Cook, Diane J.; Augusto, Juan C.; Jakkula, Vikramaditya R. (2009) „Ambient Intelligence: Technologies, Applications, and Opportunities“, in: Pervasive and Mobile Computing, Vol. 5, No. 4, 2009, pp. 277-298.
- Cook, Gary A. (1979) „Whitehead's Influence on the Thought of G.H. Mead“, in: Transactions of the Charles S. Peirce Society, Vol. 15, No. 2, 1979, pp. 107-131.
- Cooper, Necia G. (1983) „From Turing and von Neumann to the Present“, in: Los Alamos Science, Vol. 9, Fall, 1983, pp. 22-27.
- Cooper, Robin (1998) „Austinian Propositions, Davidsonian Events and Perception Complements“, in: „The Tbilisi Symposium on Logic, Language and Computation: Selected Papers“, ed. by Ginzburg, Jonathan et al., Stanford/CA: CSLI, 1998, pp. 19-34.
- Copi, Irving M. (1958) „Objects, Properties, and Relations in the Tractatus“, in: Mind, Vol. 67, No. 266, 1958, pp. 145-165.
- Copi, Irving M.; Elgot, Calvin C.; Wright, Jesse B. (1958) „Realization of Events by Logical Nets“, in: Journal of the ACM, Vol. 5, No. 2, 1958, pp. 181-196.
- Coppin, Ben (2004) „Artificial Intelligence Illuminated“, Sudbury/Mass. et al.: Jones and Bartlett, 2004.
- Corallo, Angelo; Lazoi, Mariangela; Margarito, Antonio (2016) „A Process Based Methodology to Evaluate the Use of PLM Tools in the Product Design“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 125-133.

Bibliographie

- Corcho, Oscar; Fernández-López, Mariano; Gómez-Pérez, Asunción (2003) „Methodologies, Tools and Languages for Building Ontologies. Where is Their Meeting Point?“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 46, No. 1, 2003, pp. 41-64.
- Corcoran, John (1972) „Conceptual Structure of Classical Logic“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 33, No. 1, 1972, pp. 25-47.
- Coreth, Emerich (1994) „Grundriß der Metaphysik“, Innsbruck, Wien: Tyrolia, 1994.
- Corning, Gregory P. (1997) „Japan's Intelligent Manufacturing Systems Initiative and the Politics of International Technology Collaboration“, Univ. of Texas at Austin, IC² Institute, IC² Institute Working Papers; WP-1997-04-01, 1997.
- Corning, Peter A. (2002a) „The Emergence of 'Emergence': Now What?“, in: *Emergence*, Vol. 4, No. 3, 2002, pp. 54-71.
- Corning, Peter A. (2002b) „The Re-emergence of 'Emergence': A Venerable Concept in Search of a Theory“, in: *Complexity*, Vol. 7, No. 6, 2002, pp. 18-30.
- Corredor, Iván; Bernardos Barbolla, Ana M. (2014) „Exploring Major Architectural Aspects of the Web of Things“, in: „Internet of Things. Challenges and Opportunities“, ed. by Mukhopadhyay, Subhas C., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 19-53.
- Corredor, Iván; Martínez, José F.; Familiar, Miguel S.; López, Lourdes (2012) „Knowledge-Aware and Service-Oriented Middleware for Deploying Pervasive Services“, in: *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 35, No. 2, 2012, pp. 562-576.
- Correia, Anacleto; Brito e Abreu, Fernando (2012) „Adding Preciseness to BPMN Models“, in: *Procedia Technology*, Vol. 5, 2012, pp. 407-417.
- COSO (2016) „Enterprise Risk Management. Aligning Risk with Strategy and Performance“, 2016.
- Costa, Carlos A.; Mendonça, João P. (2014) „Support of Manufacture Enterprises Collaboration Through the Development of a Reference Ontology: A Contribution in Metrological Domain“, in: „Enterprise Interoperability VI“, ed. by Mertins, Kai et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 513-522.
- Costa, Carlos A.; Salvador, Valeria L.; Meira, Lara M.; Rechden, Germana F.; Koliver, Cristian (2007) „Product Ontology Supporting Information Exchanging in Global Furniture Industry“, in: „Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches“, ed. by Gonçalves, Ricardo J. et al., London: Springer, 2007, pp. 277-280.
- Costantini, Stefania (2015) „ACE: A Flexible Environment for Complex Event Processing in Logical Agents“, in: „Engineering Multi-Agent Systems“, ed. by Baldoni, Matteo et al., Third International Workshop, EMAS 2015, Istanbul, Turkey, May 5, 2015, Revised, Selected, and Invited Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 70-91.
- Courtois, Pierre-Jacques (1985) „On Time and Space Decomposition of Complex Structures“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 28, No. 6, 1985, pp. 590-603.
- Coveney, Peter; Highfield, Roger (1995) „Frontiers of Complexity. The Search for Order in a Chaotic World“, London: Faber and Faber, 1995.
- Cowan, George A. (1995) „The Emergence of the Santa Fe Institute: A Complex, Adaptive System“, in: *Complexity*, Vol. 1, No. 3, 1995, pp. 9-14.
- Cowan, Jack D.; Feldman, Marcus W. (1986) „Preview of Workshop on Complex Adaptive Systems“, in: *Bulletin of the Santa Fe Institute*, Vol. 1, No. 1, 1986, pp. 11-12.
- Cox, Simon J.D. (2013) „An Explicit OWL Representation of ISO/OGC Observations and Measurements“, in: „SSN 2013 - Semantic Sensor Networks“, ed. by Corcho, Oscar et al., Proceedings of the 6th Int. Workshop on Semantic Sensor Networks, co-located with the 12th Int. Semantic Web Conference (ISWC 2013), Sydney, Australia, Oct. 22nd 2013, 2013, pp. 1-18.
- Craig, William (1979) „Boolean Logic and the Everyday Physical World“, in: *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, Vol. 52, No. 6, 1979, pp. 751-778.
- Crane, Tim (2001) „The Significance of Emergence“, in: „Physicalism and Its Discontents“, ed. by Gillett, Carl; Loewer, Barry, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2001, pp. 207-224.
- Crane, Tim (2012) „Existence and Quantification Reconsidered“, in: „Contemporary Aristotelian Metaphysics“, ed. by Tahko, Tuomas E., Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2012, pp. 44-65.
- Crepinsek, Matej; Liu, Shih-Hsi; Mernik, Marjan (2013) „Exploration and Exploitation in Evolutionary Algorithms: A Survey“, in: *ACM Computing Surveys*, Vol. 45, No.3, Art. 35, 2013, pp. 35:1-35:33.
- Cresswell, Maxwell J. (2010) „Predicate Wormism. A Quinean Account of De Re Modality“, in: *Logique et Analyse*, Vol. 53, No. 212, 2010, pp. 449-464.

Bibliographie

- Cretu, Liviu Gabriel (2012) „Ontology for Semantic Description of Enterprise Architectures“, in: „Business Information Systems Workshops“, ed. by Abramowicz, Witold et al., Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 208-219.
- Crilly, Nathan (2010) „The Roles that Artefacts Play: Technical, Social and Aesthetic Functions“, in: *Design Studies*, Vol. 31, No. 4, 2010, pp. 311-344.
- Cristea, Valentin; Dobre, Ciprian; Pop, Florin (2013) „Context-Aware Environments for the Internet of Things“, in: „Internet of Things and Inter-cooperative Computational Technologies for Collective Intelligence“, ed. by Bessis, Nik et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 25-49.
- Cristea, Valentin; Pop, Florin; Dobre, Ciprian; Costan, Alexandru (2011) „Distributed Architectures for Event-Based Systems“, in: „Reasoning in Event-Based Distributed Systems“, ed. by Helmer, Sven et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 11-45.
- Crockett, Larry J. (1994) „The Turing Test and the Frame Problem: AI's Mistaken Understanding of Intelligence“, Norwood/NJ: Ablex, 1994.
- Croft, William (2001) „Radical Construction Grammar: Syntactic Theory in Typological Perspective“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2001.
- Crofts, Nick; Doerr, Martin; Gill, Tony; Stead, Stephen; Stiff, Matthew (2006) „Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model“, CIDOC CRM Special Interest Group, Version 4.2.1, October, 2006.
- Cross, Robert C. (1958) „Category Differences“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society, N.S.*, Vol. 59, 1958, pp. 255-270.
- Crutchfield, James P. (1994) „Is Anything Ever New? Considering Emergence“, in: „Complexity. Metaphors, Models, and Reality“, ed. by Cowan, George A.; Pines, David; Meltzer, David, Santa Fe Institute, *Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Vol. 19*, Reading/Mass.: Perseus Books, 1994, pp. 515-537.
- Cruz, Sergio M.S.; Campos, Maria L.M.; Mattoso, Marta (2012) „A Foundational Ontology to Support Scientific Experiments“, ed. by Malucelli, Andreia; Bax, Marcello, *Proceedings of Joint V Seminar on Ontology Research in Brazil and VII International Workshop on Metamodels, Ontologies and Semantic Technologies*, Recife/Brazil, September 19-21, 2012, pp. 144-155.
- Cudré-Mauroux, Philippe; Enchev, Iliya; Fundatureanu, Sever; Groth, Paul; Haque, Albert; Harth, Andreas et al. (2013) „NoSQL Databases for RDF: An Empirical Evaluation“, in: „The Semantic Web - ISWC 2013“, ed. by Alani, Harith et al., 12th International Semantic Web Conference, Sydney, NSW, Australia, October 21-25, 2013, *Proceedings, Part II*, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 310-325.
- Cuenca Grau, Bernardo; Parsia, Bijan; Sirin, Evren (2004) „Working with Multiple Ontologies on the Semantic Web“, in: „The Semantic Web - ISWC 2004“, ed. by McIlraith, Sheila A. et al., Third International Semantic Web Conference, Hiroshima, Japan, November 7-11, 2004, *Proceedings*, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 620-634.
- Cugini, Umberto; Cascini, Gaetano; Muzzupappa, Maurizio; Nigrelli, Vincenzo (2009) „Integrated Computer-Aided Innovation: The PROSIT Approach“, in: *Computers in Industry*, Vol. 60, No. 8, 2009, pp. 629-641.
- Cugola, Gianpaolo; Margara, Alessandro (2010) „TESLA: A Formally Defined Event Specification Language“, *DEBS'10*, Cambridge/UK, July 12-15, 2010, pp. 50-61.
- Cugola, Gianpaolo; Margara, Alessandro (2012a) „Complex Event Processing with T-REX“, in: *Journal of Systems and Software*, Vol. 85, No. 8, 2012, pp. 1709-1728.
- Cugola, Gianpaolo; Margara, Alessandro (2012b) „Processing Flows of Information: From Data Stream to Complex Event Processing“, in: *ACM Computing Surveys*, Vol. 44, No. 3, 2012, pp. 15:1-15:62.
- Cugola, Gianpaolo; Margara, Alessandro; Matteucci, Matteo; Tamburrelli, Giordano (2015) „Introducing Uncertainty in Complex Event Processing: Model, Implementation, and Validation“, in: *Computing*, Vol. 97, No. 2, 2015, pp. 103-144.
- Cui, Mingyue; Zhang, Chunhong; Su, Yuewen; Ji, Yang (2015) „Feedback-Based Reduplicate Complex Event Processing in IoT“, in: „Big Data Computing and Communications“, ed. by Wang, Yu et al., First International Conference, BigCom 2015, Taiyuan, China, August 1-3, 2015, *Proceedings*, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 325-336.
- Cukovic, Sasa; Devedzic, Goran; Pankratz, Frieder; Baizid, Khalifa; Ghionea, Ionut; Kostic, Andreja (2016) „Augmented Reality Simulation of CAM Spatial Tool Paths in Prismatic Milling Sequences“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, *Revised Selected Papers*, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 516-525.

Bibliographie

- Cumpa, Javier (2011) „Categoriality: Three Disputes Over the Structure of the World“, in: „Ontological Categories“, ed. by Cumpa, Javier; Tegtmeier, Erwin, Frankfurt/Main: Ontos, 2011, pp. 15-66.
- Cumpa, Javier; Tegtmeier, Erwin (2011) „Introduction: An Old, but ever New, World. The Old, but ever New, Problems“, in: „Ontological Categories“, ed. by Cumpa, Javier; Tegtmeier, Erwin, Frankfurt/Main: Ontos, 2011, pp. 7-11.
- Cunningham, Bryon (2001) „The Reemergence of 'Emergence'“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 68, No. 3, Supplement: Proceedings of the 2000 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. Part I: Contributed Papers, 2001, pp. S62-S75.
- Cunningham, G. Watts (1929) „Emergence and Intelligibility“, in: *International Journal of Ethics*, Vol. 39, No. 2, 1929, pp. 148-166.
- Curran, Kevin; Curran, Niamh (2014) „Social Networking Analysis“, in: „Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments“, ed. by Bessis, Nik; Dobre, Ciprian, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 367-378.
- Cutkosky, Mark R.; Englemore, Robert S.; Fikes, Richard E.; Genesereth, Michael R.; Gruber, Thomas R. et al. (1993) „PACT: An Experiment in Integrating Concurrent Engineering Systems“, in: *IEEE Computer*, Vol. 26, No. 1, 1993, pp. 28-37.
- Cutting-Decelle, Anne-Francoise; Young, Robert I.M.; Michel, Jean-Jacques; Grangel, Reyes; Le Cardinal, J.; Bourey, J.P. (2007) „ISO 15531 MANDATE: A Product-Process-Resource based Approach for Managing Modularity in Production Management“, in: *Concurrent Engineering*, Vol. 15, No. 2, 2007, pp. 217-235.
- D'Ambrosio, Ubirata et al. (eds.) (1999) „Transdisciplinarity“, Lisboa: Hugin, 1999.
- D'Antonio, Gianluca; Sauza Bedolla, Joel; Genta, Gianfranco; Ruffa, Suela; Barbato, Giulio et al. (2016a) „PLM-MES Integration: A Case-Study in Automotive Manufacturing“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 780-789.
- D'Antonio, Gianluca; Segonds, Frédéric; Sauza Bedolla, Joel; Chiabert, Paolo; Anwer, Nabil (2016b) „A Proposal of Manufacturing Execution System Integration in Design for Additive Manufacturing“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 761-770.
- D'Aquin, Mathieu; Gangemi, Aldo (2011) „Is there Beauty in Ontologies?“, in: *Applied Ontology*, Vol. 6, No. 3, 2011, pp. 165-175.
- D'Aquin, Mathieu; Lieber, Jean; Napoli, Amedeo (2005) „Decentralized Case-Based Reasoning for the Semantic Web“, in: „The Semantic Web - ISWC 2005“, ed. by Gil, Yolanda et al., Proceedings 4th International Semantic Web Conference, ISWC 2005, Galway, Ireland, November 6-10, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 142-155.
- D'Auria, Massimo; D'Ippolito, Roberto (2013) „Process Integration and Design Optimization Ontologies for Next Generation Engineering“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2013 Workshops“, ed. by Demey, Yan Tang; Panetto, Hervé, Graz, Austria, September 9-13, 2013, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 228-237.
- D'Auria, Massimo; Sanseverino, Marialuisa; Cappadona, Filippo; D'Ippolito, Roberto (2013) „Integrated Management of Automotive Product Heterogeneous Data: Application Case Study“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2013 Workshops“, ed. by Demey, Yan Tang; Panetto, Hervé, Graz, Austria, September 9-13, 2013, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 62-69.
- D'Avis, Winfried (1989) „Einheit der Wissenschaften“, 2., unveränd. Aufl., Frankfurt/Main: IKO-Verl. für Interkulturelle Kommunikation, 1989.
- Da Silva Santos, Luiz O.B.; Guizzardi, Giancarlo; Guizzardi, Renata S.S.; Goncalves da Silva, Eduardo et al. (2009a) „GSO: Designing a Well-Founded Service Ontology to Support Dynamic Service Discovery and Composition“, 13th Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops, Auckland, 1-4 Sept., 2009, pp. 35-44.
- Da Silva Santos, Luiz O.B.; Guizzardi, Giancarlo; Pires, Luís F.; Van Sinderen, Marten (2009b) „From User Goals to Service Discovery and Composition“, in: „Advances in Conceptual Modeling - Challenging Perspectives“, ed. by Heuser, Carlos Alberto; Pernul, Günther, ER 2009 Workshops CoMoL, ETheCoM, FP-UML, MOST-ONISW, QoIS, RIGiM, SeCoGIS, Gramado, Brazil, November 9-12, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 265-274.

Bibliographie

- Da Silva, Armando Malheiro; Ribeiro, Fernanda (2012) „Information Science and Philosophy of Information: Approaches and Differences“, in: „Luciano Floridi's Philosophy of Technology: Critical Reflections“, ed. by Demir, Hilmi, Dordrecht et al.: Springer, 2012, pp. 169-187.
- DaCosta, Francis (2013) „Rethinking the Internet of Things: A Scalable Approach to Connecting Everything“, Berkeley/CA: Apress, 2013.
- Daga, Aseem; De Cesare, Sergio; Lycett, Mark; Partridge, Chris (2005) „An Ontological Approach for Recovering Legacy Business Content“, Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Science, 2005, pp. 224-232.
- Dahlgren, Kathleen (1988) „Naive Semantics for Natural Language Understanding“, Boston et al.: Kluwer, 1988.
- Dahlgren, Kathleen (1995) „A Linguistic Ontology“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 809-818.
- Dahlgren, Kathleen; Lord, Carol; Wada, Hajime; McDowell, Joyce; Stabler, Edward P. (1991) „ITP: Description of the Interpretex System as Used for MUC-3“, Proceedings of the 3rd Conference on Message Understanding (MUC3 '91), Stroudsburg/PA: Association for Computational Linguistics, 1991, pp. 163-170.
- Dahlgren, Kathleen; McDowell, Joyce P. (1986) „Kind Types in Knowledge Representation“, Proceedings of the 11th Conference on Computational Linguistics (COLING '86), 1986, pp. 216-221.
- Daidone, Enrico; Farruggia, Orazio; Morana, Marco (2014) „A Heterogeneous Sensor and Actuator Network Architecture for Ambient Intelligence“, in: „Advances onto the Internet of Things. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful“, ed. by Gaglio, Salvatore; Lo Re, Giuseppe, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 77-88.
- Daidone, Enrico; Milazzo, Fabrizio (2014) „Short-Term Sensory Data Prediction in Ambient Intelligence Scenarios“, in: „Advances onto the Internet of Things. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful“, ed. by Gaglio, Salvatore; Lo Re, Giuseppe, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 89-103.
- Daly, Chris (1994) „Tropes“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, Vol. 94, 1994, pp. 253-261.
- Damasio, Antonio R. (1994) „Descartes' Error. Emotion, Reason, and the Human Brain“, New York: Putnam, 1994.
- Dan, Asit; Johnson, Robert; Arsanjani, Ali (2007) „Information as a Service: Modeling and Realization“, International Workshop on Systems Development in SOA Environments (SDSOA '07), ICSE Workshops 2007, Minneapolis/MN, 20-26 May, 2007, pp. 1-6.
- Danesi, Frédéric; Gardan, Nicolas; Gardan, Yvon; Reimeringer, Michael (2008) „P4LM: A Methodology for Product Lifecycle Management“, in: Computers in Industry, Vol. 59, No. 2-3, 2008, pp. 304-317.
- Dapoigny, Richard; Barlatier, Patrick (2013) „Formal Foundations for Situation Awareness based on Dependent Type Theory“, in: Information Fusion, Vol. 14, No. 1, 2013, pp. 87-107.
- Darden, Lindley (1978) „Discoveries and the Emergence of New Fields in Science“, in: PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Vol. 1978, Volume One: Contributed Papers, 1978, pp. 149-160.
- Darley, Vince (1994) „Emergent Phenomena and Complexity“, in: „Artificial Life IV. Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Brooks, Rodney A.; Maes, Pattie, 3rd Pr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1996, pp. 411-416.
- Darwin, Charles (1859) „The Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life“, 6th ed., London: Murray, 1872.
- Das, Subrata (2008) „High-Level Data Fusion“, Norwood/MA: Artech House, 2008.
- Dasgupta, Aniruddha; Ghose, Aditya K. (2011) „BDI Agents with Objectives and Preferences“, in: „Declarative Agent Languages and Technologies VIII“, ed. by Omicini, Andrea et al., 8th International Workshop, DALT 2009, Toronto, Canada, May 10, 2010, Revised Selected and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 22-39.
- Dasgupta, Shamik (2009) „Individuals: An Essay in Revisionary Metaphysics“, in: Philosophical Studies, Vol. 145, No. 1, 2009, pp. 35-67.
- Dassault Systèmes (2000) „PPR Hub Principles Guide“, 2000.
- Dassault Systèmes (2006) „PLM for the Automotive Industry: Suppliers Transform Risk into Reward“, White Paper, 2006.
- Dassault Systèmes (2008) „ENOVIA V6. Bringing PLM 2.0 to Life“, 2008.
- Dassault Systèmes (2009) „ENOVIA Life Sciences Accelerator for Quality Issues“, 2009.
- Dassault Systèmes (2012a) „Manufacturing Work Instructions for Aerospace“, White Paper, 2012.

Bibliographie

- Dassault Systèmes (2012b) „ENOVIA V6 Product Portfolio“, 2012.
- Dassault Systèmes (2012c) „Beyond Compliance. How PLM Supports a Successful TPLC Deployment“, 2012.
- Dassault Systèmes (2012d) „Process & Resource Editor“, Datasheet, 2012.
- Dassisti, Michele; Panetto, Hervé; Tursi, Angela (2006) „Product-Driven Enterprise Interoperability for Manufacturing Systems Integration“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Eder, Johann; Dustdar, Schahram, BPM 2006 International Workshops, BPD, BPI, ENEI, GPWW, DPM, semantics4ws, Vienna, Austria, September 4-7, 2006, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 249-260.
- Dassisti, Michele; Panetto, Hervé; Tursi, Angela; De Nicolò, Michele (2008) „Ontology-Based Model for Production-Control Systems Interoperability“, 5th CIRP Digital Enterprise Technology Conference, Nantes/France, 2008, pp. 527-543.
- Dastjerdi, Amir V.; Gupta, Harshit; Calheiros, Rodrigo N.; Ghosh, Soumya K.; Buyya, Rajkumar (2016) „Fog Computing: Principles, Architectures, and Applications“, in: „Internet of Things: Principles and Paradigms“, ed. by Buyya, Rajkumar; Dastjerdi, Amir V., Amsterdam et al.: Morgan Kaufmann, 2016, pp. 61-75.
- Davenport, David (2016) „Explaining Everything“, in: „Fundamental Issues of Artificial Intelligence“, ed. by Müller, Vincent C., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 339-352.
- Davidge, Robert (1992) „Looking at Life“, in: „Toward a Practice of Autonomous Systems. Proceedings of the First European Conference on Artificial Life“, ed. by Varela, Francisco J.; Bourguine, Paul, 2nd Pr., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1994, pp. 448-455.
- Davidoff, Jules (2001) „Language and Perceptual Categorisation“, in: Trends in Cognitive Sciences, Vol. 5, No. 9, 2001, pp. 382-387.
- Davidoff, Jules; Davies, Ian; Roberson, Debi (1999) „Colour Categories in a Stone-age Tribe“, in: Nature, Vol. 398, 18 March, 1999, pp. 203-204.
- Davidovsky, Maxim; Ermolayev, Vadim; Tolok, Vyacheslav (2012) „A Survey on Agent-based Ontology Alignment“, Proceedings of 4th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2012), 2012, pp. 355-361.
- Davidson, Donald (1967) „The Logical Form of Action Sentences“, in: „The Logic of Decision and Action“, ed. by Rescher, Nicholas, Pittsburgh/Pa.: Univ. of Pittsburgh Pr., 1967, pp. 81-95.
- Davidson, Donald (1969) „The Individuation of Events“, in: „Essays in Honor of Carl Hempel“, ed. by Rescher, Nicholas, Dordrecht: D. Reidel, 1969, pp. 216-234.
- Davidson, Donald (1970a) „Events and Particulars“, in: Noûs, Vol. 4, No. 1, 1970, pp. 25-32.
- Davidson, Donald (1970b) „Mental Events“, in: „Experience and Theory“, ed. by Foster, Lawrence; Swanson, Joe W., Amherst/Mass.: Univ. of Massachusetts Pr., 1970, pp. 79-101.
- Davidson, Donald (1971) „Eternal vs. Ephemeral Events“, in: Noûs, Vol. 5, No. 4, 1971, pp. 335-349.
- Davidson, Donald (1977) „The Method of Truth in Metaphysics“, in: „Midwest Studies in Philosophy, Vol. 2: Studies in Metaphysics“, ed. by French, Peter A. et al., Minneapolis/MN: Univ. of Minnesota Pr., 1977, pp. 244-254.
- Davidson, Donald (1980) „Essays on Actions and Events“, Oxford et al.: Clarendon Pr., 1980.
- Davidson, Donald (1985) „Reply to Quine on Events“, in: „Actions and Events“, ed. by LePore, Ernest; McLaughlin, Brian P., Oxford et al.: B. Blackwell, 1985, pp. 172-176.
- Davidson, Donald (1990) „The Structure and Content of Truth“, in: Journal of Philosophy, Vol. 87, No. 6, 1990, pp. 279-328.
- Davidson, Donald (1997) „Seeing through Language“, in: „Thought and Language“, ed. by Preston, John M., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1997, pp. 15-27.
- Davidson, Donald (1999) „The Emergence of Thought“, in: Erkenntnis, Vol. 51, No. 1, 1999, pp. 511-521.
- Davidson, Donald (2004) „Problems of Rationality“, Oxford: Clarendon Pr., 2004.
- Davidson, Donald (2005) „Rationale Lebewesen“, in: „Der Geist der Tiere. Philosophische Texte zu einer aktuellen Diskussion“, hrsg. v. Perler, Dominik; Wild, Markus, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 2005, S. 117-131.
- Davies, Islay; Green, Peter; Milton, Simon; Rosemann, Michael (2003) „Using Meta Models for the Comparison of Ontologies“, Proceedings of the Eighth CAiSE/IFIP8.1 International Workshop on Evaluation of Modeling Methods in Systems Analysis and Design, 2003.
- Davies, Islay; Green, Peter; Rosemann, Michael (2002) „Facilitating an Ontological Foundation of Information Systems with Meta Models“, ACIS 2002 Proceedings, Paper 36, 2002.

Bibliographie

- Davies, Islay; Green, Peter; Rosemann, Michael; Indulska, Marta; Gallo, Stan (2006) „How Do Practitioners Use Conceptual Modeling in Practice?“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 58, 2006, pp. 358-380.
- Davies, Islay; Rosemann, Michael; Milton, Simon; Green, Peter (2005) „Analyzing and Comparing Ontologies with Meta-Models“, in: „*Information Modeling Methods and Methodologies*“, ed. by Krogstie, John et al., Hershey/PA: Idea Group, 2005, pp. 1-16.
- Davies, John (2010) „Lightweight Ontologies“, in: „*Theory and Applications of Ontology: Computer Applications*“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 197-229.
- Davies, Paul (1989b) „*The Cosmic Blueprint*“, London: Unwin Hyman, 1989.
- Davies, Paul (2003a) „Introduction: Toward an Emergentist Worldview“, in: „*From Complexity to Life. On the Emergence of Life and Meaning*“, ed. by Gregersen, Niels Henrik, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2003, pp. 3-16.
- Davies, Paul (2003b) „Complexity and the Arrow of Time“, in: „*From Complexity to Life. On the Emergence of Life and Meaning*“, ed. by Gregersen, Niels Henrik, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2003, pp. 72-92.
- Davies, Paul (2004a) „John Archibald Wheeler and the Clash of Ideas“, in: „*Science and Ultimate Reality. Quantum Theory, Cosmology, and Complexity*“, ed. by Barrow, John D.; Davies, Paul C.W.; Harper, Charles L., Jr., Repr., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2005, pp. 3-23.
- Davies, Paul (2004b) „Emergent Biological Principles and the Computational Properties of the Universe: Explaining It or Explaining It Away“, in: *Complexity*, Vol. 10, No. 2, 2004, pp. 11-15.
- Davies, Paul (2006) „The Physics of Downward Causation“, in: „*The Re-Emergence of Emergence. The Emergentist Hypothesis from Science to Religion*“, ed. by Clayton, Philip; Davies, Paul, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2006, pp. 35-52.
- Davies, Paul (ed.) (1989a) „*The New Physics*“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1989.
- Davies, Paul; Gribbin, John (1992) „*The Matter Myth. Beyond Chaos and Complexity*“, London et al.: Penguin, 1992.
- Davis, Ernest (1990) „*Representations of Commonsense Knowledge*“, San Mateo/CA: Morgan Kaufmann, 1990.
- Davis, Ernest (1992) „Axiomatizing Qualitative Process Theory“, in: „*Principles of Knowledge Representation and Reasoning*“, ed. by Nebel, Bernhard et al., Proceedings of the Third Int. Conference (KR'92), Cambridge/Mass., October 25-29, San Mateo/CA: Morgan Kaufman, 1992, pp. 177-188.
- Davis, Ernest (2008) „Physical Reasoning“, in: „*Handbook of Knowledge Representation*“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 597-620.
- Davis, Ernest (2010) „Ontologies and Representations of Matter“, Proceedings of the Twenty-Fourth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-10), AAAI Pr., 2010, pp. 291-296.
- Davis, Jim; Edgar, Thomas; Porter, James; Bernaden, John; Sarli, Michael (2012) „Smart Manufacturing, Manufacturing Intelligence and Demand-dynamic Performance“, in: *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 47, 2012, pp. 145-156.
- Davis, Martin (1958) „Computability and Unsolvability“, New York et al.: McGraw-Hill, 1958.
- Davis, Martin (1988) „Mathematical Logic and the Origin of Modern Computers“, in: „*The Universal Turing Machine - A Half-Century Survey*“, ed. by Herken, Rolf, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1988, pp. 149-174.
- Davis, Martin (2001) „*Engines of Logic. Mathematicians and the Origin of the Computer*“, New York et al.: Norton, 2001.
- Davis, Randall (1980) „Report on the Workshop on Distributed AI“, MIT Artificial Intelligence Laboratory, Working Paper 204, 1980.
- Davis, Randall; Shrobe, Howard; Szolovits, Peter (1993) „What Is a Knowledge Representation?“, in: *AI Magazine*, Vol. 14, No. 1, 1993, pp. 17-33.
- Dawson, Andrew S. (2011) „*Philosophical Foundations for Information Fusion: Towards a Social-Process Paradigm*“, 2011.
- De Blanc, Peter (2011) „*Ontological Crises in Artificial Agents' Value Systems*“, The Singularity Institute for Artificial Intelligence, San Francisco/CA, May 20, 2011.
- De Castro Alves, Alexandre (2010) „New Event-Processing Design Patterns Using CEP“, in: „*Business Process Management Workshops*“, ed. by Rinderle-Ma, Stefanie et al., BPM 2009 International Workshops, Ulm, Germany, September 7, 2009. Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 359-368.
- De Cesare, Sergio; Foy, George; Partridge, Chris (2013) „Re-engineering Data with 4D Ontologies and Graph Databases“, in: „*Advanced Information Systems Engineering Workshops*“, ed. by Franch, Xavier;

Bibliographie

- Soffer, Pnina, CAiSE 2013 International Workshops, Valencia, Spain, June 17-21, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 304-316.
- De Cesare, Sergio; Geerts, Guido L. (2012) „Toward a Perdurantist Ontology of Contracts“, in: „Advanced Information Systems Engineering Workshops“, ed. by Bajec, Marko; Eder, Johann, CAiSE 2012 International Workshops, Gdansk, Poland, June 25-26, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 85-96.
- De Cesare, Sergio; Henderson-Sellers, Brian; Partridge, Chris; Lycett, Mark (2015) „Improving Model Quality Through Foundational Ontologies: Two Contrasting Approaches to the Representation of Roles“, in: „Advances in Conceptual Modeling“, ed. by Jeusfeld, Manfred A.; Karlapalem, Kamalakar, ER 2015 Workshops AHA, CMS, EMoV, MoBID, MORE-BI, MReBA, QMMQ, and SCME, Stockholm, Sweden, October 19-22, 2015, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 304-314.
- De Cesare, Sergio; Juric, Damir; Lycett, Mark (2014) „Toward the Automation of Business Process Ontology Generation“, IEEE 16th Conference on Business Informatics (CBI), Geneva/Switzerland, 14-17 July, 2014, pp. 70-77.
- De Cesare, Sergio; Partridge, Chris (2016) „BORO as a Foundation to Enterprise Ontology“, in: *Journal of Information Systems*, Vol. 30, No. 2, 2016, pp. 83-112.
- De Chiffre, Leonardo; Carmignato, Simone; Kruth, Jean-Pierre; Schmitt, Robert; Weckenmann, Albert (2014) „Industrial Applications of Computed Tomography“, in: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 63, No. 2, 2014, pp. 655-677.
- De Deugd, Scott; Carroll, Randy; Kelly, Kevin E.; Millett, Bill; Ricker, Jeffrey (2006) „SODA: Service Oriented Device Architecture“, in: *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 5, No. 3, 2006, pp. 94-96.
- De Leenheer, Pieter; Christiaens, Stijn (2009) „Challenges and Opportunities for More Meaningful and Sustainable Internet Systems“, in: „Future Internet - FIS 2008“, ed. by Domingue, John et al., First Future Internet Symposium, FIS 2008 Vienna, Austria, September 29-30, 2008, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 170-183.
- De Luca, Stefano; Quattrocioni, Walter (2008) „Dynamic Contexts and Concepts as a Set of State Variations Under Emerging Functions: A Logical Model for Evolving Ontologies and Autopoietic Multi-Agent Systems“, in: „Applications of Complex Adaptive Systems“, ed. by Shan, Yin; Yang, Ang, Hershey/PA, New York: IGI Publ., 2008, pp. 34-56.
- De Matos, Everton; Amaral, Leonardo A.; Hessel, Fabiano (2017) „Context-Aware Systems: Technologies and Challenges in Internet of Everything Environments“, in: „Beyond the Internet of Things. Everything Interconnected“, ed. by Batalla, Jordi M. et al., Cham et al.: Springer, 2017, pp. 3-27.
- De Morgan, Augustus (1847) „Formal Logic: or, The Calculus of Inference, Necessary and Probable“, London: Taylor and Walton, 1847.
- De Nicola, Antonio; Lezoche, Mario; Missikoff, Michele (2007) „An Ontological Approach to Business Process Modeling“, The 3rd Indian International Conference on Artificial Intelligence (IICAI), 2007, pp. 1794-1813.
- De Paola, Alessandra (2014) „An Ontology-Based Autonomic System for Ambient Intelligence Scenarios“, in: „Advances onto the Internet of Things. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful“, ed. by Gaglio, Salvatore; Lo Re, Giuseppe, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 1-17.
- De Pryck, Koen (1993) „Knowledge, Evolution, and Paradox. The Ontology of Language“, Albany/NY: State Univ. of New York Pr., 1993.
- De Ridder, Jeroen (2006) „Mechanistic Artefact Explanation“, in: *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 81-96.
- De Roover, Willem; Caron, Filip; Vanthienen, Jan (2012) „A Prototype Tool for the Event-Driven Enforcement of SBVR Business Rules“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Daniel, Florian et al., BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011, Revised Selected Papers, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 446-457.
- De Roover, Willem; Vanthienen, Jan (2011a) „A Transformation from SBVR Business Rules into Event Coordinated Rules by Means of SBVR Patterns“, in: „Towards a Service-Based Internet. ServiceWave 2010 Workshops“, ed. by Cezon, Michel; Wolfsthal, Yaron, International Workshops, OCS, EMSOA, SMART, and EDBPM 2010, Ghent, Belgium, December 13-15, 2010, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 172-179.
- De Roover, Willem; Vanthienen, Jan (2011b) „Unified Patterns to Transform Business Rules into an Event Coordination Mechanism“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Zur Mühlen, Michael; Su, Jianwen, BPM 2010 International Workshops and Education Track, Hoboken, NJ, USA, September 13-15, 2010, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 730-742.

Bibliographie

- De Roure, David; Goble, Carole (2010) „Supporting e-Science Using Semantic Web Technologies - The Semantic Grid“, in: „Semantic e-Science“, ed. by Chen, Huajun et al., New York et al.: Springer, 2010, pp. 1-28.
- De Winter, Jan (2011) „A Pragmatic Account of Mechanistic Artifact Explanation“, in: *Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 42, No. 4, 2011*, pp. 602-609.
- De, Suparna; Barnaghi, Payam; Bauer, Martin; Meissner, Stefan (2011) „Service Modelling for the Internet of Things“, *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Szczecin, 18-21 Sept., 2011*, pp. 949-955.
- De, Suparna; Carrez, Francois; Reetz, Eike; Tönjes, Ralf; Wang, Wei (2013) „Test-Enabled Architecture for IoT Service Creation and Provisioning“, in: „The Future Internet“, ed. by Galis, Alex; Gavras, Anastasius, *Future Internet Assembly 2013: Validated Results and New Horizons, Berlin et al.: Springer, 2013*, pp. 233-245.
- De, Suparna; Elsaleh, Tarek; Barnaghi, Payam; Meissner, Stefan (2012) „An Internet of Things Platform for Real-World and Digital Objects“, in: *Scalable Computing: Practice and Experience, Vol. 13, No. 1, 2012*, pp. 45-58.
- Dear, Peter (1998) „A Mechanical Microcosm. Bodily Passions, Good Manners, and Cartesian Mechanism“, in: „Science Incarnate. Historical Embodiments of Natural Knowledge“, ed. by Lawrence, Christopher; Shapin, Steven, *Chicago et al.: Univ. of Chicago Pr., 1998*, pp. 51-82.
- Deb, Briti (2012) „An Ontological Analysis of some Biological Ontologies“, in: *Frontiers in Genetics, Vol. 3, No. 269, Nov., 2012*, pp. 1-3.
- Debrock, Guy (1996) „Information and the Metaphysical Status of the Sign“, in: „Peirce's Doctrine of Signs: Theory, Applications, and Connections“, ed. by Colapietro, Vincent M.; Olszewsky, Thomas M., *Berlin et al.: Mouton De Gruyter, 1996*, pp. 79-89.
- Decker, Gero; Grosskopf, Alexander; Barros, Alistair (2007) „A Graphical Notation for Modeling Complex Events in Business Processes“, *11th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC 2007), 15-19 October 2007, Annapolis/Maryland, USA, 2007*, pp. 27-36.
- Deen, S. Misbah (1993) „Co-Operation Issues in Holonic Manufacturing Systems“, in: „Information Infrastructure Systems for Manufacturing“, ed. by Yoshikawa, Hiroyuki; Goossenaerts, Jan, *Proceedings of the JSPE/IFIP TC5/WG5.3 Workshop on the Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing (DIISM '93), Tokyo/Japan, 8-10 November, Amsterdam et al.: North-Holland, 1993*, pp. 401-412.
- Deen, S. Misbah (2003) „Introduction“, in: „Agent-Based Manufacturing. Advances in the Holonic Approach“, ed. by Deen, Sayyed Misbah, *Berlin et al.: Springer, 2003*, pp. 3-10.
- Deese, James E. (1959) „Influence of Inter-Item Associative Strength Upon Immediate Free Recall“, in: *Psychological Reports, Vol. 5, No. 3, 1959*, pp. 305-312.
- Deese, James E. (1962) „Form Class and the Determinants of Association“, in: *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, Vol. 1, No. 2, 1962*, pp. 79-84.
- Deese, James E. (1966) „The Structure of Associations in Language and Thought“, *Baltimore: Johns Hopkins Pr., 1966*.
- Degen, Wolfgang; Heller, Barbara; Herre, Heinrich; Smith, Barry (2001) „GOL: A General Ontological Language“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, *Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01), New York: ACM Pr., 2001*, pp. 34-46.
- Dejnozka, Jan (1996) „The Ontology of the Analytic Tradition and its Origins: Realism and Identity in Frege, Russell, Wittgenstein, and Quine“, *Lanham/MD: Littlefield Adams, 1996*.
- Del Frate, Luca (2012) „Preliminaries to a Formal Ontology of Failure of Engineering Artifacts“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, *Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012*, pp. 117-130.
- Del Giudice, Manlio (2016) „Discovering the Internet of Things (IoT) within the Business Process Management: A Literature Review on Technological Revitalization“, in: *Business Process Management Journal, Vol. 22, No. 2, 2016*, pp. 263-270.
- Delgado, José C. (2013) „Service Interoperability in the Internet of Things“, in: „Internet of Things and Intercooperative Computational Technologies for Collective Intelligence“, ed. by Bessis, Nik et al., *Berlin et al.: Springer, 2013*, pp. 51-87.
- Delgado, José C. (2014) „Improving Data and Service Interoperability with Structure, Compliance, Conformance and Context Awareness“, in: „Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments“, ed. by Bessis, Nik; Dobre, Ciprian, *Cham et al.: Springer, 2014*, pp. 35-66.

Bibliographie

- Delgado, José Carlos M. (2016) „An Interoperability Framework and Distributed Platform for Fast Data Applications“, in: „Data Science and Big Data Computing. Frameworks and Methodologies“, ed. by Mahmood, Zaigham, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 3-39.
- Della Valle, Emanuele; Ceri, Stefano; Barbieri, Davide Francesco; Braga, Daniele; Campi, Alessandro (2009a) „A First Step Towards Stream Reasoning“, in: „Future Internet - FIS 2008“, ed. by Domingue, John et al., First Future Internet Symposium, FIS 2008 Vienna, Austria, September 29-30, 2008, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 72-81.
- Della Valle, Emanuele; Ceri, Stefano; Van Harmelen, Frank; Fensel, Dieter (2009b) „It's a Streaming World! Reasoning upon Rapidly Changing Information“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 24, No. 6, 2009, pp. 83-89.
- Delsing, Jerker; Eliasson, Jens; Kyusakov, Rumen; Colombo, Armando W.; Jammes, Francois; Nessaether, Johan et al. (2011) „A Migration Approach towards a SOA-based Next Generation Process Control and Monitoring“, IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Melbourne/Australia, 07.-10. Nov., 2011, pp. 4472-4477.
- Demoly, Frédéric; Matsokis, Aristeidis; Kiritsis, Dimitris; Gomes, Samuel (2012) „Mereotopological Description of Product-Process Information and Knowledge for PLM“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 70-84.
- Demuth, Birgit; Liebau, Hans-Bernhard (2007) „An Approach for Bridging the Gap Between Business Rules and the Semantic Web“, in: „Advances in Rule Interchange and Applications“, ed. by Paschke, Adrian; Biletskiy, Yevgen, International Symposium, RuleML 2007, Orlando, Florida, October 25-26, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 119-133.
- Denger, Andrea; Gerhard, Detlef; Kaiser, Christian (2013) „Implications of Open Innovation Approaches on Future PLM“, in: „Smart Product Engineering“, ed. by Abramovici, Michael; Stark, Rainer, Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference, Bochum, Germany, March 11th-13th, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 71-81.
- Denger, Andrea; Maletz, Michael; Helic, Denis (2010) „Social Computing: A Future Approach of Product Lifecycle Management“, Proceedings of I-KNOW 2010, Graz/Austria, 1-3 September, 2010, pp. 451-457.
- Denkel, Arda (1996) „Object and Property“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1996.
- Denkena, B.; Shpitalni, M.; Kowalski, P.; Molcho, G.; Zipori, Y. (2007) „Knowledge Management in Process Planning“, in: CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 56, No. 1, 2007, pp. 175-180.
- Dennett, Daniel C. (1982) „Recent Work in Philosophy of Interest to AI“, in: Artificial Intelligence, Vol. 19, No. 1, 1982, pp. 3-5.
- Dennett, Daniel C. (1984) „Cognitive Wheels: The Frame Problem of AI“, in: „Minds, Machines, and Evolution: Philosophical Studies“, ed. by Hookway, Christopher, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1984, pp. 129-151.
- Dennett, Daniel C. (1988) „When Philosophers Encounter Artificial Intelligence“, in: Daedalus, Vol. 117, No. 1, 1988, pp. 283-295.
- Dennett, Daniel C. (1994) „Artificial Life as Philosophy“, in: Artificial Life, Vol. 1, No. 3, 1994, pp. 291-292.
- Depew, David J.; Weber, Bruce H. (1995) „Darwinism Evolving. Systems Dynamics and the Genealogy of Natural Selection“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1995.
- Descartes, René (1637) „Discours de la Méthode“, (2., verb. Aufl. der Französisch-Deutschen Meiner Ausgabe von 1960), Hamburg: Meiner, 1997.
- Descartes, René (1644a) „Principia Philosophiae“, Hamburg: Meiner, 2005.
- Descartes, René (1644b) „Principles of Philosophy“, transl. by Blair Reynolds, Lewiston/N.Y. et al.: Mellen Pr., 1988.
- Desfray, Philippe; Raymond, Gilbert (2014) „Modeling Enterprise Architecture with TOGAF. A Practical Guide Using UML and BPMN“, Amsterdam et al.: Morgan Kaufmann, 2014.
- Deshayes, Laurent; Foufou, Sebti; Grüninger, Michael (2007) „An Ontology Architecture for Standards Integration and Conformance in Manufacturing“, in: „Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering II“, ed. by Tichkiewitch, Serge; Tollenaere, Michel; Ray, Pascal, Dordrecht: Springer, 2007, pp. 261-276.
- Dessy, Raymond E. (1995) „Metaphysics on the Internet“, in: Trends in Analytical Chemistry, Vol. 14, No. 8, 1995, pp. 379-382.

Bibliographie

- Detecon (2013) „Im Strom der Zeit. Product Lifecycle Management (PLM) als Instrument zur Beherrschung der steigenden Marktdynamik und Produktvielfalt in der Energiewirtschaft“, Detecon International GmbH, Opinion Paper, 2013/01, 2013.
- Deuter, Andreas; Rizzo, Stefano (2016) „A Critical View on PLM/ALM Convergence in Practice and Research“, in: *Procedia Technology*, Vol. 26, 2016, pp. 405-412.
- Deutsch, David (1985) „Quantum Theory as a Universal Physical Theory“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 24, No. 1, 1985, pp. 1-41.
- Deutsch, David (1997) „The Fabric of Reality“, London et al.: Penguin, 1997.
- Deutsch, David (2011) „The Beginning of Infinity: Explanations that Transform the World“, New York: Viking, 2011.
- Deutscher, Guy (2011) „Through the Language Glass. Why the World Looks Different in Other Languages“, London: Arrow, 2011.
- Devedzic, Vladan (2002) „Understanding Ontological Engineering“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 45, No. 4, 2002, pp. 136-144.
- Devitt, Michael (1991a) „Aberrations of the Realism Debate“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 61, No. 1-2, 1991, pp. 43-63.
- Devitt, Michael (1991b) „Realism and Truth“, 2nd ed., Oxford et al.: Blackwell, 1991.
- Devitt, Michael (2001) „Incommensurability and the Priority of Metaphysics“, in: „Incommensurability and Related Matters“, ed. by Hoyningen-Huene, Paul; Sankey, Howard, Dordrecht et al.: Kluwer, 2001, pp. 143-157.
- Devitt, Michael (2010) „The Metaphysics of Truth“, in: „Putting Metaphysics First. Essays on Metaphysics and Epistemology“, ed. by Devitt, Michael, Repr., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2010, pp. 155-181.
- Devlin, Keith (2006) „Situation Theory and Situation Semantics“, in: „Handbook of the History of Logic, Vol. 7“, ed. by Gabbay, Dov M.; Woods, John, Amsterdam: North Holland, 2006, pp. 601-664.
- Dewey, John (1888) „Leibniz's New Essays Concerning the Human Understanding. A Critical Exposition“, Chicago: S.C. Griggs and Co., 1888.
- Dewey, John (1906a) „Beliefs and Realities“, in: *Philosophical Review*, Vol. 15, No. 2, 1906, pp. 113-129.
- Dewey, John (1906b) „Reality as Experience“, in: *Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods*, Vol. 3, No. 10, 1906, pp. 253-257.
- Dewey, John (1915a) „The Existence of the World as a Problem“, in: *Philosophical Review*, Vol. 24, No. 4, 1915, pp. 357-370.
- Dewey, John (1915b) „The Subject-Matter of Metaphysical Inquiry“, in: *Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods*, Vol. 12, No. 13, 1915, pp. 337-345.
- Dewey, John (1928) „Meaning and Existence“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 25, No. 13, 1928, pp. 345-353.
- Dewey, John (1929) „Experience and Nature“, London: Allen & Unwin, 1929.
- Dewey, John (1930) „The Applicability of Logic to Existence“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 27, No. 7, 1930, pp. 174-179.
- DeWitt, Bryce S.; Graham, R. Neill (eds.) (1973) „The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics“, Princeton/NJ: Princeton Univ. Pr., 1973.
- Dey, Anind K. (2001) „Understanding and Using Context“, in: *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 5, No. 1, 2001, pp. 4-7.
- Dey, Nilanjan; Hassanién, Aboul Ella; Bhatt, Chintan; Ashour, Amira S.; Satapathy, Suresh Chandra (eds.) (2018) „Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence“, Cham et al.: Springer, 2018.
- Dey, Sounak; Jaiswal, Dibyanshu; Dasgupta, Ranjan; Misra, Abhishek (2014) „A Semantic Sensor Network (SSN) Ontology based Tool for Semantic Exploration of Sensor“, 2014.
- Dhuiéb, Mohamed Anis; Laroche, Florent; Bernard, Alain (2013) „Digital Factory Assistant: Conceptual Framework and Research Propositions“, in: „Product Lifecycle Management for Society“, ed. by Bernard, Alain et al., 10th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2013, Nantes, France, July 6-10, 2013, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 500-509.
- Dhuiéb, Mohamed Anis; Laroche, Florent; Bernard, Alain (2016) „Context-Awareness: A Key Enabler for Ubiquitous Access to Manufacturing Knowledge“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 41, 2016, pp. 484-489.
- Di Martino, Beniamino; Li, Kuan-Ching; Yang, Laurence T.; Esposito, Antonio (2018) „Trends and Strategic Researches in Internet of Everything“, in: „Internet of Everything: Algorithms, Methodologies, Technologies and Perspectives“, ed. by Di Martino, Beniamino et al., Singapore: Springer, 2018, pp. 1-12.

Bibliographie

- Di Modica, Giuseppe; Pantano, Francesco; Tomarchio, Orazio (2014) „Sensor Node Plug-in System: A Service-Oriented Middleware for Wireless Sensor Networks“, in: „Advances onto the Internet of Things. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful“, ed. by Gaglio, Salvatore; Lo Re, Giuseppe, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 191-208.
- Di Modica, Giuseppe; Petralia, Giuseppe; Tomarchio, Orazio (2013) „An SLA Ontology to Support Service Discovery in Future Cloud Markets“, 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), Barcelona/Spain, 25-28 March, 2013, pp. 1161-1166.
- Diamond, Cora (1991) „The Realistic Spirit. Wittgenstein, Philosophy, and the Mind“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1991.
- Diao, Yanlei; Altinel, Mehmet; Franklin, Michael J.; Zhang, Hao; Fischer, Peter (2003) „Path Sharing and Predicate Evaluation for High-performance XML Filtering“, in: ACM Transactions on Database Systems, Vol. 28, No. 4, 2003, pp. 467-516.
- Dias, José; Barbosa, José; Leitão, Paulo (2015) „Deployment of Industrial Agents in Heterogeneous Automation Environments“, IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Cambridge, 22-24 July, 2015, pp. 1330-1335.
- Díaz, Vicente Hernández; Martínez Ortega, José Fernán; Cuerva García, Alexandra; Rodríguez-Molina, Jesús et al. (2013) „Semantic as an Interoperability Enabler in Internet of Things“, in: „Internet of Things: Coverging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems“, ed. by Vermesan, Ovidiu; Friess, Peter, Aalborg: River Publ., 2013, pp. 315-342.
- Dibowski, Henrik; Ploennigs, J.; Kabitzsch, K. (2010) „Automated Design of Building Automation Systems“, in: IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 11, 2010, pp. 3606-3613.
- Dickinson, Ian; Wooldridge, Michael (2003) „Towards Practical Reasoning Agents for the Semantic Web“, The Second International Joint Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems, AAMAS 2003, July 14-18, 2003, Melbourne/Victoria, Australia, Proceedings, 2003, pp. 827-834.
- Diederich, Werner (1996) „Structuralism As Developed Within the Model-Theoretical Approach in the Philosophy of Science“, in: „Structuralist Theory of Science. Focal Issues, New Results“, ed. by Balzer, Wolfgang; Moulines, C. Ulises, Berlin, New York: De Gruyter, 1996, pp. 15-21.
- Diederich, Werner; Ibarra, Andoni; Mormann, Thomas (1989) „Bibliography of Structuralism“, in: Erkenntnis, Vol. 30, No. 3, 1989, pp. 387-407.
- Diederich, Werner; Ibarra, Andoni; Mormann, Thomas (1994) „Bibliography of Structuralism II“, in: Erkenntnis, Vol. 41, No. 3, 1994, pp. 403-418.
- Dietz, Jan L.G. (1999) „Understanding and Modeling Business Processes with DEMO“, in: „Conceptual Modeling - ER '99“, ed. by Akoka, Jacky et al., Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 188-202.
- Dietz, Jan L.G. (2001) „DEMO: Towards a Discipline of Organisation Engineering“, in: European Journal of Operational Research, Vol. 128, No. 2, 2001, pp. 351-363.
- Dietz, Jan L.G. (2006a) „Enterprise Ontology - Understanding the Essence of Organizational Operation“, in: „Enterprise Information Systems VII“, ed. by Chen, Chin-Sheng, Dordrecht: Springer, 2006, pp. 19-30.
- Dietz, Jan L.G. (2006b) „Enterprise Ontology. Theory and Methodology“, Berlin et al.: Springer, 2006.
- Dietz, Jan L.G. (2006c) „The Deep Structure of Business Processes“, in: Communications of the ACM, Vol. 49, No. 5, 2006, pp. 59-64.
- Dietz, Jan L.G. (2008) „On the Nature of Business Rules“, in: „Advances in Enterprise Engineering I“, ed. by Dietz, Jan L.G. et al., 4th Int. Workshop CIAO! and 4th Int. Workshop EOMAS, held at CAiSE 2008, Montpellier, France, June 16-17, 2008, Proceedings, Berlin et al. et al.: Springer, 2008, pp. 1-15.
- Dietz, Jan L.G.; Habing, Nathalie (2004) „A Meta Ontology for Organizations“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2004: OTM 2004 Workshops“, ed. by Meersman, Robert et al., OTM Confederated International Workshops and Posters, GADA, JTRES, MIOS, WORM, WOSE, PhDS, and INTEROP 2004, Agia Napa, Cyprus, October 25-29, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 533-543.
- Dietze, Stefan; Benn, Neil; Domingue, John; Conconi, Alex; Cattaneo, Fabio (2009) „Two-Fold Service Matchmaking - Applying Ontology Mapping for Semantic Web Service Discovery“, in: „The Semantic Web“, ed. by Gómez-Pérez, Asunción et al., Fourth Asian Conference, ASWC 2009, Shanghai, China, December 6-9, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 246-260.
- Dijkman, Remco M.; Dumas, Marlon; Ouyang, Chun (2008) „Semantics and Analysis of Business Process Models in BPMN“, in: Information and Software Technology, Vol. 50, 2008, pp. 1281-1294.
- DiLeo, Jonathan; Jacobs, Timothy; DeLoach, Scott (2002) „Integrating Ontologies into Multiagent Systems Engineering“, ed. by Giorgini, Paolo et al., Proceedings of the Fourth International Bi-Conference Workshop on Agent-Oriented Information Systems (AOIS-2002 at CAiSE*02), Toronto (Ontario, Canada), May 27-28, 2002.

Bibliographie

- Dilthey, Wilhelm (1927) „Der logische Zusammenhang in den Geisteswissenschaften“, in: „Der Aufbau der geschichtlichen Welt in den Geisteswissenschaften“, hrsg. v. Groethuysen, Bernhard, (Wilhelm Diltheys Gesammelte Schriften, Bd. 7), Leipzig, Berlin: Teubner, 1927, S. 323-331.
- Dilworth, Craig (2006) „The Metaphysics of Science. An Account of Modern Science in Terms of Principles, Laws and Theories“, 2nd ed., Dordrecht: Springer, 2006.
- Dimitrov, Marin; Kiryakov, Atanas K.; Simov, Kiril Iv. (2001) „OntoMap: Upper-Ontology Service Agent“, in: „OAS'01: Ontologies in Agent Systems“, ed. by Cranefield, Stephen et al., Proceedings of the Workshop on Ontologies in Agent Systems, 5th International Conference on Autonomous Agents, Montreal, Canada, May 29, 2001.
- Dimitrov, Marin; Simov, Alex; Stein, Sebastian; Konstantinov, Mihail (2007) „A BPMP Based Semantic Business Process Modelling Environment“, in: „SBPM 2007. Semantic Business Process and Product Lifecycle Management“, ed. by Hepp, Martin et al., Proceedings of the Workshop on Semantic Business Process and Product Lifecycle Management, held in conjunction with ESWC 2007, Innsbruck, Austria, June 7, 2007.
- Dinar, Mahmoud; Rosen, David W. (2017) „A Design for Additive Manufacturing Ontology“, in: Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol. 17, No. 2, 021013, 2017.
- Ding, Li; Kolari, Pranam; Ding, Zhongli; Avancha, Sasikanth (2007) „Using Ontologies in the Semantic Web: A Survey“, in: „Ontologies. A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems“, ed. by Sharman, Raj et al., Boston/Mass.: Springer, 2007, pp. 79-113.
- Ding, Ying (2001) „A Review of Ontologies with the Semantic Web in View“, in: Journal of Information Science, Vol. 27, No. 6, 2001, pp. 377-384.
- Ding, Ying; Fensel, Dieter (2001) „Ontology Library Systems: The Key to Successful Ontology Re-use“, in: Proceedings of the 1st International Semantic Web Working Symposium SWWS'01, 2001, pp. 93-112.
- Ding, Zhen; Yuan, Chao; Peng, Xirui; Wang, Tiejun; Qi, H. Jerry; Dunn, Martin L. (2017) „Direct 4D Printing via Active Composite Materials“, in: Science Advances, Vol. 3, No. 4, e1602890, 2017.
- Dingle, Herbert (1950) „Die neuen Anschauungen in der Physik“, in: Philosophia Naturalis, Bd. 1, Nr. 1, 1950, S. 76-83.
- Dittmann, Lars; Schütte, Reinhard; Zelewski, Stephan (2003) „Darstellende Untersuchung philosophischer Probleme mit Ontologien“, in: „Knowledge Management and Philosophy“, ed. by Freyberg, Klaus et al., Proceedings of the WM 2003 Workshop on Knowledge Management and Philosophy, Luzern, April 3rd and 4th, 2003.
- Dobrescu, Radu; Florea, Gheorghe (2013) „Unified Framework for Self-organizing Manufacturing Systems Design“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 85-100.
- Dobzhansky, Theodosius (1973) „Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution“, in: American Biology Teacher, Vol. 35, No. 3, 1973, pp. 125-129.
- Dobzhansky, Theodosius (1974) „Chance and Creativity in Evolution“, in: „Studies in the Philosophy of Biology“, ed. by Ayala, Francisco J.; Dobzhansky, Theodosius, London et al.: Macmillan, 1974, pp. 307-338.
- Dobzhansky, Theodosius; Ayala, Francisco J.; Stebbins, G. Ledyard; Valentine, James W. (1977) „Evolution“, San Francisco: Freeman, 1977.
- Doepke, Frederick C. (1982) „Spatially Coinciding Objects“, in: Ratio, Vol. 24, (Repr. in: Rea, Michael C. 'Material Constitution', Lanham et al.: Rowman & Littlefield, 1997, pp. 10-24), 1982, pp. 45-60.
- Doerr, Martin (2003) „The CIDOC Conceptual Reference Module: An Ontological Approach to Semantic Interoperability of Metadata“, in: AI Magazine, Vol. 24, No. 3, 2003, pp. 75-92.
- Doherty, Patrick; Kvarnström, Jonas (2008) „Temporal Action Logics“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 709-757.
- Döhring, Markus; Karg, Lars; Godehardt, Eicke; Zimmermann, Birgit (2010) „The Convergence of Workflows, Business Rules and Complex Events. Defining a Reference Architecture and Approaching Realization Challenges“, ed. by Filipe, Joaquim; Cordeiro, José, ICEIS 2010 - Proceedings of the 12th International Conference on Enterprise Information Systems, Volume 3, ISAS, Funchal/Madeira, Portugal, June 8-12, SciTePress, 2010, pp. 338-343.
- Dölling, Johannes (1993) „Commonsense Ontology and Semantics of Natural Language“, in: Sprachtypologie und Universalienforschung, Bd. 46, Nr. 2, 1993, S. 133-141.
- Domingo, Mari C. (2012) „An Overview of the Internet of Underwater Things“, in: Journal of Network and Computer Applications, Vol. 35, No. 6, 2012, pp. 1879-1890.

- Domingue, John; Cabral, Liliana; Galizia, Stefania; Tanasescu, Vlad; Gugliotta, Alessio et al. (2008) „IRS-III: A Broker-based Approach to Semantic Web Services“, in: *Journal of Web Semantics*, Vol. 6, No. 2, 2008, pp. 109-132.
- Dong, Ming; Yang, Dong; Su, Liyue (2011) „Ontology-based Service Product Configuration System Modeling and Development“, in: *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 9, 2011, pp. 11770-11786.
- Dong, Yue; Ren, Hui; Dong, Jianghui; Wang, Liping (2015) „Study on Wireless Network Communication in Stage Hydraulic Monitoring System Based on Internet of Things“, in: *Discrete Dynamics in Nature and Society*, Vol. 2015, Article ID 652183, 2015, pp. 1-9.
- Donohoe, Michael; Jennings, Brendan; Balasubramaniam, Sasitharan (2015) „Context-Awareness and the Smart Grid: Requirements and Challenges“, in: *Computer Networks*, Vol. 79, 2015, pp. 263-282.
- Dooley, Kevin J. (1997) „A Complex Adaptive Systems Model of Organization Change“, in: *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, Vol. 1, No. 1, 1997, pp. 69-97.
- Doolittle, W. Ford (1984) „Some Broader Evolutionary Issues Which Emerge from Contemporary Molecular Biological Data“, in: *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1984, Volume Two: Symposia and Invited Papers, 1984, pp. 129-144.
- Dopfer, Kurt (1986) „The Historiomic Approach to Economics: Beyond Pure Theory and Pure Experience“, in: *Journal of Economic Issues*, Vol. 20, No. 4, 1986, pp. 989-1010.
- Dopfer, Kurt; Potts, Jason (2004) „Evolutionary Realism: A New Ontology for Economics“, in: *Journal of Economic Methodology*, Vol. 11, No. 2, 2004, pp. 195-212.
- Dori, Dov (2002) „Object-Process Methodology. A Holistic Systems Paradigm“, Berlin et al.: Springer, 2002.
- Dori, Dov (2011) „Object-Process Methodology for Structure-Behavior Codesign“, in: „*Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges*“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 209-258.
- Dori, Dov; Shpitalni, M. (2005) „Mapping Knowledge about Product Lifecycle Engineering for Ontology Construction via Object-Process Methodology“, in: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 54, No. 1, 2005, pp. 117-122.
- Dorin, Alan (2000) „Creating a Physically-based, Virtual-Metabolism with Solid Cellular Automata“, in: „*Artificial Life VII*“, ed. by Bedau, Mark A. et al., Proceedings of the Seventh International Conference on Artificial Life, Portland/OR, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 2000, pp. 13-20.
- Dossou, Paul Eric; Pawlewski, Pawel; Mitchell, Philip (2012) „Comparison of Enterprise Integration Modeling Concepts Based on Intelligent Multi-Agent System“, in: „*Advances in Intelligent Modelling and Simulation*“, ed. by Kolodziej, Joanna et al., Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 351-380.
- Dou, Dejing; LePendu, Paea (2005) „Ontology-Based Integration for Relational Data“, in: „*On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE*“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 35-36.
- Doumeings, Guy; Vallespir, Bruno; Chen, David (2006) „GRAI GridDecisional Modelling“, in: „*Handbook on Architectures of Information Systems*“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 321-346.
- Dragoicea, Monica; Borangiu, Theodor (2013) „A Service Science Knowledge Environment in the Cloud“, in: „*Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics*“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 229-246.
- Drashansky, Tzvetan; Houstis, Elias N.; Ramakrishnan, Naren; Rice, John R. (1999) „Networked Agents for Scientific Computing“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 42, No. 3, 1999, pp. 48-54.
- Dressler, Falko; Fischer, Stefan (2015) „Connecting In-body Nano Communication With Body Area Networks: Challenges and Opportunities of the Internet of Nano Things“, in: *Nano Communication Networks*, Vol. 6, No. 2, 2015, pp. 29-38.
- Dretske, Fred I. (1981) „Knowledge and the Flow of Information“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1981.
- Dretske, Fred I. (1983a) „Précis of Knowledge and the Flow of Information“, in: *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 6, No. 1, 1983, pp. 55-63.
- Dretske, Fred I. (1983b) „Why Information?“, in: *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 6, No. 1, 1983, pp. 82-90.
- Dretske, Fred I. (2008a) „Epistemology and Information“, in: „*Philosophy of Information*“, ed. by Adriaans, Pieter; Van Benthem, Johan, Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 29-47.
- Dretske, Fred I. (2008b) „The Metaphysics of Information“, in: „*Wittgenstein and the Philosophy of Information*“, ed. by Pichler, Alois; Hrachovec, Herbert, Berlin: De Gruyter, 2008, pp. 273-284.

Bibliographie

- Dreyfus, Hubert L. (1965) „Alchemy and Artificial Intelligence“, Working Paper, RAND Corporation, Santa Monica/CA, 1965.
- Dreyfus, Hubert L. (1972) „What Computers Can't Do. A Critique of Artificial Reason“, New York et al.: Harper & Row, 1972.
- Dreyfus, Hubert L. (1979) „A Framework for Misrepresenting Knowledge“, in: „Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence“, ed. by Ringle, Martin, Brighton: The Harvester Pr., 1979, pp. 124-136.
- Dreyfus, Hubert L. (1991) „Being-in-the-World: A Commentary on Heidegger's 'Being and Time'“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1991.
- Dreyfus, Hubert L. (1992) „What Computers Still Can't Do. A Critique of Artificial Reason“, rev. ed., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1992.
- Dreyfus, Hubert L. (1997) „From Micro-Worlds to Knowledge Representation: AI at an Impasse“, in: „Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence“, ed. by Haugeland, John, Cambridge/Mass. et al.: MIT Pr., 1997, pp. 143-182.
- Dreyfus, Hubert L. (1998) „Response to My Critics“, in: „The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy“, ed. by Bynum, Terrell W.; Moor, James H., Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 193-212.
- Dreyfus, Hubert L. (2007) „Why Heideggerian AI Failed and How Fixing it Would Require Making it More Heideggerian“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 171, No. 18, 2007, pp. 1137-1160.
- Dreyfus, Hubert L. (2009) „How Representational Cognitivism Failed and is being replaced by Body/World Coupling“, in: „After Cognitivism. A Reassessment of Cognitive Science and Philosophy“, ed. by Leidlmair, Karl, Dordrecht et al.: Springer, 2009, pp. 39-73.
- Dreyfus, Hubert L. (ed.) (1982) „Husserl, Intentionality and Cognitive Science“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1982.
- Dreyfus, Hubert L.; Dreyfus, Stuart E. (1987) „How to Stop Worrying about the Frame Problem Even though It's Computational Insoluble“, in: „The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1987, pp. 95-111.
- Dreyfus, Hubert L.; Dreyfus, Stuart E. (1988) „Making a Mind versus Modeling the Brain: Artificial Intelligence Back at a Branchpoint“, in: *Daedalus*, Vol. 117, No. 1, 1988, pp. 15-43.
- Dreyfus, Hubert L.; Taylor, Charles (2015) „Retrieving Realism“, Cambridge/Mass. et al.: Harvard Univ. Pr., 2015.
- Driesch, Hans (1905) „Der Vitalismus als Geschichte und als Lehre“, Leipzig: Barth, 1905.
- Driesch, Hans (1928) „Philosophie des Organischen“, 4., gekürzte und teilw. umgearb. Aufl., Leipzig: Quelle und Meyer, 1928.
- Drieschner, Michael (2002) „Moderne Naturphilosophie“, Paderborn: Mentis, 2002.
- Du, Ding-Zhu; Ko, Ker-I (2000) „Theory of Computational Complexity“, New York et al.: Wiley, 2000.
- Duan, Yucong; Cao, Yuan; Sun, Xiaobing (2015a) „Various "aaS" of Everything as a Service“, 16th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD), Takamatsu/Japan, 1-3 June, 2015, pp. 1-6.
- Duan, Yucong; Fu, Guohua; Zhou, Nianjun; Sun, Xiaobing; Narendra, Nanjangud C.; Hu, Bo (2015b) „Everything as a Service (XaaS) on the Cloud: Origins, Current and Future Trends“, IEEE 8th International Conference on Cloud Computing (CLOUD), New York/NY, 27 June-2 July, 2015, pp. 621-628.
- Ducellier, Guillaume; Eynard, Benoit; Caillaud, Emmanuel (2006) „Integration of CAD Knowledge with PLM: Application to Product Development Process during Requirements Clarification and Detailed Design Phases“, International Conference on Product Lifecycle Management - PLM 2006, Bangalore, India, 10-12 July, 2006.
- Dummett, Michael A.E. (1959) „Studies in Logic and Probability, George Boole, edited by Rush Rhees, Watts and Co., London, 1952 (Review)“, in: *Journal of Symbolic Logic*, Vol. 24, No. 3, 1959, pp. 203-209.
- Dummett, Michael A.E. (1973) „Frege. Philosophy of Language“, London: Duckworth, 1973.
- Dummett, Michael A.E. (1978) „Truth and other Enigmas“, London: Duckworth, 1978.
- Dummett, Michael A.E. (1991) „The Logical Basis of Metaphysics“, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1991.
- Dumontier, Michel; Hoehndorf, Robert (2010) „Realism for Scientific Ontologies“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 387-399.

Bibliographie

- Dunkels, Adam; Vasseur, Jean-Philippe (2008) „IP for Smart Objects, Internet Protocol for Smart Objects (IPSO) Alliance“, White Paper #1, September, 2008.
- Dunn, Cheryl L.; McCarthy, William E. (1997) „The REA Accounting Model: Intellectual Heritage and Prospects for Progress“, in: *Journal of Information Systems*, Vol. 11, 1997, pp. 31-51.
- Dunn, J. Michael (2008) „Information in Computer Science“, in: „Philosophy of Information“, ed. by Adriaans, Pieter; Van Benthem, Johan, Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 581-608.
- Dupré, John (1993) „The Disorder of Things. Metaphysical Foundations of the Disunity of Science“, Cambridge/Mass., London: Harvard Univ. Pr., 1993.
- Duquenooy, Simon; Grimaud, Gilles; Vandewalle, Jean-Jacques (2009) „The Web of Things: Interconnecting Devices with High Usability and Performance“, International Conference on Embedded Software and Systems (ICCESS '09), Zhejiang, 25-27 May, 2009, pp. 323-330.
- Durfee, Edmund H.; Lesser, Victor R. (1989) „Negotiating Task Decomposition and Allocation Using Partial Global Planning“, in: „Distributed Artificial Intelligence“, ed. by Gasser, Les; Huhns, Michael N., Vol. 2, London: Pitman, 1989, pp. 229-243.
- Durfee, Edmund H.; Lesser, Victor R.; Corkill, Daniel D. (1989) „Trends in Cooperative Distributed Problem Solving“, in: *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 1, No. 1, 1989, pp. 63-83.
- Durrant, Michael (1970) „Feature Universals and Sortal Universals“, in: *Analysis*, Vol. 31, No. 2, 1970, pp. 49-52.
- Düsterhöft, Antje; Schewe, Klaus-Dieter (2011) „Conceptual Modelling of Application Stories“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 359-377.
- Dux, Günter (2000) „Historisch-genetische Theorie der Kultur. Instabile Welten - Zur prozessualen Logik im kulturellen Wandel“, Weilerswist: Velbrück, 2000.
- Dye, James Wayne (1974) „Heraclitus and the Future of Process Philosophy“, in: „Studies in Process Philosophy I“, ed. by Whitemore, Robert C., The Hague: Martinus Nijhoff, 1974, pp. 13-31.
- Dyke, Heather (2007) „Metaphysics and the Representational Fallacy“, London et al.: Routledge, 2007.
- Dyke, Heather; Maclaurin, James (2013) „What Shall We Do with Analytic Metaphysics? A Response to McLeod and Parsons“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 91, No. 1, 2013, pp. 179-182.
- Earley, Joseph E., Sr. (2006) „Ontologically Significant Aggregation: Process Structural Realism (PSR)“, 2006.
- Earley, Joseph E., Sr. (2008) „Process Structural Realism, Instance Ontology, and Societal Order“, in: „Researching with Whitehead: System and Adventure“, ed. by Riffert, Franz; Sander, Hans-Joachim, Freiburg, München: Alber, 2008, pp. 189-211.
- Eastman, Timothy E.; Keeton, Hank (eds.) (2004) „Physics and Whitehead. Quantum, Process, and Experience“, Albany: State Univ. of New York Pr., 2004.
- Eastman, Timothy E.; Riffert, Franz G. (2009) „Introduction: Process Thought, Science, and Philosophy“, in: *World Futures*, Vol. 65, No. 1, 2009, pp. 1-6.
- Ebeling, Werner; Engel, Andreas; Feistel, Rainer (1990) „Physik der Evolutionsprozesse“, Berlin: Akademie-Verl., 1990.
- Ebeling, Werner; Feistel, Rainer (1982) „Physik der Selbstorganisation und Evolution“, Berlin: Akademie-Verl., 1982.
- Ebeling, Werner; Feistel, Rainer (1994) „Chaos und Kosmos. Prinzipien der Evolution“, Heidelberg et al.: Spektrum Akad. Verl., 1994.
- Ebert, Christof; De Man, Jozef (2008) „Effectively Utilizing Project, Product and Process Knowledge“, in: *Information and Software Technology*, Vol. 50, 2008, pp. 579-594.
- Ebrahimi, Amir H.; Johansson, Pierre E.C.; Bengtsson, Kristofer; Åkesson, Knut (2014) „Managing Product and Production Variety - A Language Workbench Approach“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 17, 2014, pp. 338-344.
- Eco, Umberto (1977) „Zeichen. Einführung in einen Begriff und seine Geschichte“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1977.
- Eddington, Arthur S. (1928) „The Nature of the Physical World“, Repr., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1929.
- Eddington, Arthur S. (1939) „The Philosophy of Physical Science“, Repr., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1949.
- Edward, Terence R. (2012) „Descriptive Metaphysics, Revisionary Metaphysics, Anti-Metaphysics“, in: *Ethos: Dialogues in Philosophy and Social Sciences*, Vol. 5, No. 2, 2012, pp. 36-43.

Bibliographie

- Efremov, Sergey; Pilipenko, Nikolay; Voskov, Leonid (2015) „An Integrated Approach to Common Problems in the Internet of Things“, in: *Procedia Engineering*, Vol. 100, 2015, pp. 1215-1223.
- Eftimov, Evo (2007) „Complex Event Processing - An Emerging Paradigm in Business Intelligence, Security and Monitoring and Control“, Working Paper, 2007.
- Ehrenfels, Christian von (1890) „Über Gestaltqualitäten“, in: *Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie*, 14. Jg., 1890, S. 249-292.
- Eid, Mohamad; Liscano, Ramiro; El Saddik, Abdulmotaleb (2007) „A Universal Ontology for Sensor Networks Data“, *CIMSA 2007 - IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications Ostuni/Italy*, 27-29 June, 2007.
- Eigen, Manfred (1971) „Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules“, in: *Naturwissenschaften*, 58. Jg., Nr. 10, 1971, S. 465-523.
- Eigen, Manfred (1973) „The Origin of Biological Information“, in: „The Physicist's Conception of Nature“, ed. by Mehra, Jagdish, Dordrecht: Reidel, 1973, pp. 594-632.
- Eigen, Manfred (1987) „Stufen zum Leben. Die frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie“, 3., durchges. Aufl., München, Zürich: Piper, 1993.
- Eigen, Manfred (1997) „Was bleibt von der Biologie des 20. Jahrhunderts?“, in: „Was ist Leben? Die Zukunft der Biologie. Eine alte Frage in neuem Licht - 50 Jahre nach Erwin Schrödinger“, hrsg. v. Murphy, Michael P.; O'Neill, Luke A.J., Heidelberg et al.: Spektrum Akad. Verl., 1997, S. 15-34.
- Eigen, Manfred; Schuster, Peter (1977) „The Hypercycle. A Principle of Natural Self-Organization. Part A: Emergence of the Hypercycle“, in: *Naturwissenschaften*, 64. Jg., Nr. 11, 1977, pp. 541-565.
- Eigen, Manfred; Schuster, Peter (1978a) „The Hypercycle. A Principle of Natural Self-Organization. Part B“, in: *Naturwissenschaften*, 65. Jg., 1978, pp. 7-41.
- Eigen, Manfred; Schuster, Peter (1978b) „The Hypercycle. A Principle of Natural Self-Organization. Part C: The Realistic Hypercycle“, in: *Naturwissenschaften*, 65. Jg., 1978, pp. 341-369.
- Eigen, Manfred; Winkler, Ruthild (1975) „Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall“, 8. Aufl., München, Zürich: Piper, 1987.
- Eigner Martin; Mogo Nem, Fabrice (2009) „Conceptual Modeling and Generator Framework for Multidisciplinary and Collaborative Product Lifecycle Management“, in: *IEEE Proceedings of the 2009 13th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, Santiago/Chile*, 22.-24. April, 2009, pp. 590-595.
- Eigner, Martin (2012) „PLM versus PPS: Zukünftige Lösungen für ein durchgängiges Produkt- und Prozessmanagement“, in: *eDM Report; electronic Data Management*, Nr. 1, 2012, S. 20-23.
- Eigner, Martin; Stelzer, Ralph (2009) „Product Lifecycle Management“, 2., neu bearb. Aufl., Berlin et al.: Springer, 2009.
- Einstein, Albert (1917) „Über die Spezielle und Allgemeine Relativitätstheorie“, Braunschweig: Vieweg, 1917.
- Einstein, Albert (1931) „Cosmic Religion with other Opinions and Aphorisms“, New York: Covici-Friede, 1931.
- Einstein, Albert (1934) „Mein Weltbild“, erw. Neuaufl., Zürich et al.: Europa Verl., 1953.
- Einstein, Albert (1944) „Remarks on Bertrand Russell's Theory of Knowledge“, in: „The Philosophy of Bertrand Russell“, ed. by Schilpp, Paul Arthur, 3rd ed., New York: Tudor Publ., 1951, pp. 278-291.
- Einstein, Albert; Podolski, Boris; Rosen, Nathan (1935) „Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?“, in: *Physical Review*, Vol. 47, 1935, pp. 777-780.
- Eisenhauer, Markus; Rosengren, Peter; Antolin, Pablo (2009) „A Development Platform for Integrating Wireless Devices and Sensors into Ambient Intelligence Systems“, 6th IEEE Annual Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks Workshops, Rome, 22-26 June, 2009, pp. 1-3.
- Eisenhauer, Markus; Rosengren, Peter; Antolin, Pablo (2010) „HYDRA: A Development Platform for Integrating Wireless Devices and Sensors into Ambient Intelligence Systems“, in: „The Internet of Things“, ed. by Giusto, Daniel et al., 20th Tyrrhenian Workshop on Digital Communications, New York et al.: Springer, 2010, pp. 367-373.
- Eisler, Rudolf (1905) „Kritische Einführung in die Philosophie“, Berlin: Mittler, 1905.
- Eisler, Rudolf (1929) „Metaphysik“, in: „Wörterbuch der philosophischen Begriffe“, hrsg. v. Eisler, Rudolf, 4., völlig Neubearb. Aufl.; 2. Bd., Berlin: Mittler, 1929, S. 126-139.
- Eklund, Matti (2013) „Carnap's Metaontology“, in: *Noûs*, Vol. 47, No. 2, 2013, pp. 229-249.

Bibliographie

- El Baz, Didier (2014) „IoT and the Need for High Performance Computing“, International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things (IIKI), 2014, pp. 1-6.
- El Kadiri, Soumaya; Grabot, Bernard; Thoben, Klaus-Dieter; Hribernik, Karl; Emmanouilidis, Christos et al. (2016) „Current Trends on ICT Technologies for Enterprise Information Systems“, in: *Computers in Industry*, Vol. 79, 2016, pp. 14-33.
- El Kadiri, Soumaya; Kiritsis, Dimitris (2015) „Ontologies in the Context of Product Lifecycle Management: State of the Art Literature Review“, in: *International Journal of Production Research*, Vol. 53, No. 18, 2015, pp. 5657-5668.
- El Kadiri, Soumaya; Milicic, Ana; Kiritsis, Dimitris (2013) „Linked Data Exploration in Product Life-Cycle Management“, in: „Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains“, ed. by Prabhu, Vittal et al., IFIP WG 5.7 Int. Conference, APMS 2013, State College, PA, USA, September 9-12, 2013, Proceedings, Part II, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 460-467.
- El Kadiri, Soumaya; Terkaj, Walter; Urwin, Esmond Neil; Palmer, Claire; Kiritsis, Dimitris; Young, Robert (2015) „Ontology in Engineering Applications“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Cuel, Roberta; Young, Robert, 7th International Workshop, FOMI 2015, Berlin, Germany, August 5, 2015, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 126-137.
- El-Hani, Charbel N.; Emmeche, Claus (2000) „On Some Theoretical Grounds for an Organism-centered Biology: Property Emergence, Supervenience, and Downward Causation“, in: *Theory in Biosciences*, Vol. 119, No. 3/4, 2000, pp. 234-275.
- Elci, Atilla; Rahnama, Behnam (2009) „Semantic Robotics: Cooperative Labyrinth Discovery Robots for Intelligent Environments“, in: „Complex Systems in Knowledge-based Environments: Theory, Models and Applications“, ed. by Tolk, Andreas; Jain, Lakhmi C., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 163-198.
- Elder, Crawford L. (2003) „Alexander's Dictum and the Reality of Familiar Objects“, in: *Topoi*, Vol. 22, No. 2, 2003, pp. 163-171.
- Elgot-Drapkin, Jennifer; Miller, Michael; Perlis, Donald (1987) „The Two Frame Problems“, in: „The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Brown, Frank M., Proceedings of the 1987 Workshop, Los Altos/CA: Morgan Kaufmann, 1987, pp. 23-28.
- Ellis, George F.R. (2004) „True Complexity and its Associated Ontology“, in: „Science and Ultimate Reality. Quantum Theory, Cosmology, and Complexity“, ed. by Barrow, John D.; Davies, Paul C.W.; Harper, Charles L., Jr., Repr., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2005, pp. 607-636.
- Ellis, George F.R. (2005) „Physics, Complexity and Causality“, in: *Nature*, Vol. 453, 9 June, 2005, p. 743.
- Ellis, George F.R. (2006a) „Physics and the Real World“, in: *Foundations of Physics*, Vol. 36, No. 2, 2006, pp. 227-262.
- Ellis, George F.R. (2006b) „On the Nature of Emergent Reality“, in: „The Re-Emergence of Emergence. The Emergentist Hypothesis from Science to Religion“, ed. by Clayton, Philip; Davies, Paul, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2006, pp. 79-107.
- Ellis, George F.R. (2007) „Issues in the Philosophy of Cosmology“, in: „Philosophy of Physics (Handbook of the Philosophy of Science)“, ed. by Butterfield, Jeremy; Earman, John, (2 Vols.), Part B, North-Holland: Amsterdam, Oxford, 2007, pp. 1183-1286.
- Ellis, George F.R.; Murugan, Jeff; Tsagas, Christos G. (2004) „The Emergent Universe: An Explicit Construction“, in: *Classical and Quantum Gravity*, Vol. 21, No. 1, 2004, pp. 233-249.
- Ellis, Robert (1981) „From Hegel to Whitehead“, in: *Journal of Religion*, Vol. 61, No. 4, 1981, pp. 403-421.
- ElMaraghy, Hoda; Schuh, Günther; ElMaraghy, Waguih; Piller, Frank; Schönsleben, Paul; Tseng, Mitchell M.; Bernard, Alain (2013) „Product Variety Management“, in: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 62, No. 2, 2013, pp. 629-652.
- Elmasri, Ramez; Navathe, Shamkant B. (1994) „Fundamentals of Database Systems“, 2nd ed., Redwood City/Calif. et al.: The Benjamin/Cummings Publ., 1994.
- Elvesæter, Brian; Berre, Arne-Jørgen (2010) „OMG Specifications for Enterprise Interoperability“, in: „Interoperability for Enterprise Software and Applications“, ed. by Panetto, Hervé; Boudjlida, Nacer, London; Hoboken/NJ: ISTE; Wiley, 2010, pp. 31-39.
- Embley, David W.; Liddle, Stephen W.; Pastor, Óscar (2011) „Conceptual-Model Programming: A Manifesto“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 3-16.
- Embley, David W.; Liddle, Stephen W.; Tao, Cui (2011) „A Web of Knowledge: A Conceptual-Modeling Perspective“, in: „The Evolution of Conceptual Modeling“, ed. by Kaschek, Roland; Delcambre, Lois, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 137-160.

Bibliographie

- Embley, David W.; Thalheim, Bernhard (2011) „Preface“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. v-ix.
- EMC (2013) „EMC Accelerates Journey to Big Data with Business Analytics-as-a-Service“, EMC White Paper H11259, 2013.
- Emmeche, Claus (1991) „A Semiotical Reflection on Biology, Living Signs and Artificial Life“, in: *Biology and Philosophy*, Vol. 6, 1991, pp. 325-340.
- Emmeche, Claus (1992) „Life as an Abstract Phenomenon: Is Artificial Life Possible?“, in: „Toward a Practice of Autonomous Systems. Proceedings of the First European Conference on Artificial Life“, ed. by Varela, Francisco J.; Bourgine, Paul, 2nd Pr., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1994, pp. 466-474.
- Emmeche, Claus (1994a) „Is Life as a Multiverse Phenomenon?“, in: „Artificial Life III“, ed. by Langton, Christopher G., Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1994, pp. 553-568.
- Emmeche, Claus (1994b) „The Garden in the Machine. The Emerging Science of Artificial Life“, Princeton/NJ: Princeton Univ. Pr., 1994.
- Emmeche, Claus (2003) „Causal Processes, Semiosis, and Consciousness“, in: „Process Theories. Crossdisciplinary Studies in Dynamic Categories“, ed. by Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Kluwer, 2003, pp. 313-336.
- Emmeche, Claus (2004) „At Home in a Complex World: Lessons from the Frontiers of Natural Science“, in: „The Significance of Complexity“, ed. by Van Kooten Niekerk, Kees; Buhl, Hans, Aldershot/Hants: Ashgate, 2004, pp. 21-46.
- Emmeche, Claus; Køppe, Simo; Stjernfelt, Frederik (1997) „Explaining Emergence: Towards an Ontology of Levels“, in: *Journal for General Philosophy of Science*, Vol. 28, No. 1, 1997, pp. 83-119.
- Emmeche, Claus; Køppe, Simo; Stjernfelt, Frederik (2000) „Levels, Emergence, and three Versions of Downward Causation“, in: „Downward Causation. Minds, Bodies and Matter“, ed. by Andersen, Peter Bøgh et al., Aarhus: Aarhus Univ. Pr., 2000, pp. 13-34.
- Emmet, Dorothy (1932) „Whitehead's Philosophy of Organism“, 2nd ed., London et al.: Macmillan, 1966.
- Emmet, Dorothy (1958) „Function, Purpose and Powers. Some Concepts in the Study of Individuals and Societies“, London: Macmillan, 1958.
- Emmet, Dorothy (1986) „Creativity and the Passage of Nature“, in: „Whiteheads Metaphysik der Kreativität“, ed. by Rapp, Friedrich; Wiehl, Reiner, Int. Whitehead-Symposium Bad Homburg 1983, Freiburg, München: Alber, 1986, S. 71-80.
- Endert, Holger; Hirsch, Benjamin; Küster, Tobias; Albayrak, Sahin (2007) „Towards a Mapping from BPMN to Agents“, in: „Service-Oriented Computing: Agents, Semantics, and Engineering“, ed. by Huang, Jingshan et al., AAMAS 2007 International Workshop, SOCASE 2007, Honolulu/HI, USA, May 14, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 92-106.
- Engle, Mike; Sarkani, Shahram; Mazzuchi, Thomas (2013) „Developing a Model for Simplified Higher Level Sensor Fusion“, in: *Crosstalk*, Jan./Feb., 2013, pp. 20-24.
- Epperson, Michael (2005) „Quantum Mechanics and the Philosophy of Alfred North Whitehead“, Fordham Univ Pr., 2005.
- Epperson, Michael (2009) „Relational Realism: The Evolution of Ontology to Praxiology in the Philosophy of Nature“, in: *World Futures*, Vol. 65, No. 1, 2009, pp. 19-41.
- Epstein, Joshua M.; Axtell, Robert (1996) „Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1996.
- Erl, Thomas (2004) „Service-Oriented Architecture. A Field Guide to Integrating XML and Web Services“, Upper Saddle River/NJ: Prentice Hall, 2004.
- Erl, Thomas; Gee, Clive; Kress, Jürgen et al. (2015) „Next Generation SOA. A Concise Introduction to Service Technology & Service-Oriented“, Upper Saddle River/NJ et al.: Prentice Hall, 2015.
- Erl, Thomas; Mahmood, Zaigham; Puttini, Ricardo (2013) „Cloud Computing. Concepts, Technology & Architecture“, Upper Saddle River/NJ et al.: Prentice Hall, 2013.
- Ermolayev, Vadim; Jentsch, Eyck; Karsayev, Oleg; Keberle, Natalya; Matzke, Wolf-Ekkehard et al. (2006) „An Agent-Oriented Model of a Dynamic Engineering Design Process“, in: „Agent-Oriented Information Systems III“, ed. by Kolp, Manuel et al., 7th International Bi-Conference Workshop, AOIS 2005, Utrecht, Netherlands, July 26, 2005, and Klagenfurt, Austria, October 27, 2005, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 168-183.
- Ermolayev, Vadim; Jentsch, Eyck; Karsayev, Oleg; Keberle, Natalya; Matzke, Wolf-Ekkehard; Samoylov, Vladimir (2005) „Modeling Dynamic Engineering Design Processes in PSI“, in: „Perspectives in Conceptual Modeling“, ed. by Akoka, Jacky et al., ER 2005 Workshop AOIS, BP-UML, CoMoGIS, eCOMO,

Bibliographie

- and QoIS, Klagenfurt, Austria, October 24-28, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 119-130.
- Ermolayev, Vadim; Keberle, Natalya; Matzke, Wolf-Ekkehard (2008) „An Upper Level Ontological Model for Engineering Design Performance Domain“, in: „Conceptual Modeling - ER 2008“, ed. by Li, Qing et al., 27th International Conference on Conceptual Modeling, Barcelona, Spain, October 20-24, 2008, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 98-113.
- Ernest, Paul (2000) „Whitehead and the Implications of the Process Metaphor for Mathematics“, in: *Interchange - Ontario Institute for Studies in Education*, Vol. 31, No. 2/3, 2000, pp. 225-241.
- Eroglu, Abdullah (2014) „Performance Improvement of RFID Systems“, in: „Applied Cyber-Physical Systems“, ed. by Suh, Sang C. et al., New York et al.: Springer, 2014, pp. 229-239.
- Erwig, Martin; Güting, Ralf Hartmut; Schneider, Markus; Vazirgiannis, Michalis (1999) „Spatio-Temporal Data Types: An Approach to Modeling and Querying Moving Objects in Databases“, in: *GeoInformatica*, Vol. 3, No. 3, 1999, pp. 269-296.
- Eschenbach, Carola (1994) „A Mereotopological Definition of 'Point'“, in: „Topological Foundations of Cognitive Science“, ed. by Eschenbach, Carola; Habel, Christopher; Smith, Barry, Papers from the Workshop at the FISI-CS, Buffalo, NY, July 9-10, 1994, pp. 63-80.
- Eschenbach, Carola (2001) „Viewing Composition Tables as Axiomatic Systems“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01), New York: ACM Pr., 2001, pp. 93-104.
- Eschenbach, Carola; Heydrich, Wolfgang (1995) „Classical Mereology and Restricted Domains“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 723-740.
- Esfeld, Michael (2006a) „Introduction“, in: „John Heil. Symposium on his Ontological Point of View“, ed. by Esfeld, Michael, Frankfurt/Main: Ontos, 2006, pp. 11-13.
- Esfeld, Michael (2006b) „From Being Ontologically Serious to Serious Ontology“, in: „John Heil. Symposium on his Ontological Point of View“, ed. by Esfeld, Michael, Frankfurt/Main: Ontos, 2006, pp. 191-206.
- Esmaeilian, Behzad; Behdad, Sara; Wang, Ben (2016) „The Evolution and Future of Manufacturing: A Review“, in: *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 39, 2016, pp. 79-100.
- Espíndola, Danúbia; Duarte Filho, Nelson; Botelho, Silvia; Carvalho, Jônata; Pereira, Carlos Eduardo (2012) „Internet of Things to Provide Scalability in Product-Service Systems“, *UBICOMM 2012 : The Sixth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, 2012, pp. 214-221.
- Esteban, Jaime; Starr, Andrew; Willetts, Robert; Hannah, Paul; Bryanston-Cross, Peter (2005) „A Review of Data Fusion Models and Architectures: Towards Engineering Guidelines“, in: *Neural Computing and Applications*, Vol. 14, No. 4, 2005, pp. 273-281.
- Estrin, Deborah; Culler, David; Pister, Kris; Sukhatme, Gaurav (2002) „Connecting the Physical World with Pervasive Networks“, in: *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 1, No. 1, 2002, pp. 59-69.
- Estruch, Antonio; Heredia, José Antonio Álvaro (2012) „Event-Driven Manufacturing Process Management Approach“, in: „Business Process Management“, ed. by Barros, Alistair et al., 10th International Conference, BPM 2012, Tallinn, Estonia, September 3-6, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 120-133.
- Etzion, Opher (2010) „Event Processing - Past, Present and Future“, *Proceedings of the VLDB Endowment*, Vol. 3, No. 2, 2010, pp. 1651-1652.
- Etzion, Opher; Magid, Yonit; Rabinovich, Ella; Skarbovsky, Inna; Zolotorovsky, Nir (2011) „Context-Based Event Processing Systems“, in: „Reasoning in Event-Based Distributed Systems“, ed. by Helmer, Sven et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 257-278.
- Etzion, Opher; Niblett, Peter (2011) „Event Processing in Action“, Greenwich/CT: Manning, 2011.
- Etzion, Opher; Zolotorovsky, Nir (2010) „Spatial Perspectives in Event Processing“, in: „From Active Data Management to Event-Based Systems and More“, ed. by Sachs, Kai et al., Papers in Honor of Alejandro Buchmann on the Occasion of His 60th Birthday, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 85-107.
- Etzioni, Oren (1993) „Intelligence Without Robots: A Reply to Brooks“, in: *AI Magazine*, Vol. 14, No. 4, 1993, pp. 7-13.
- European Union (2012) „ICT and Factories of the Future“, Results of the First Two Calls for Proposals, Projects launched under the FP7 ICT Theme in 2010 and 2011, Commission of the European Union, Information Society & Media Directorate, Luxembourg, 2012.
- Euzenat, Jérôme; Shvaiko, Pavel (2013) „Ontology Matching“, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2013.

Bibliographie

- Evans, Ken (2005) „Requirements Engineering with ORM“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 646-655.
- Everest, Gordon C.; Weber, Ron (1977) „A Relational Approach to Accounting Models“, in: *The Accounting Review*, Vol. 52, No. 2, 1977, pp. 340-359.
- Everett, Hugh III (1957) „'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics“, in: *Reviews of Modern Physics*, Vol. 29, No. 3, 1957, pp. 454-462.
- Evermann, Jörg (2005a) „The Association Construct in Conceptual Modelling - An Analysis Using the Bunge Ontological Model“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Pastor, Oscar; Falcão e Cunha, João, 17th International Conference, CAiSE 2005, Porto, Portugal, June 13-17, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 33-47.
- Evermann, Jörg (2005b) „Thinking Ontologically: Conceptual vs. Design Models in UML“, in: „Business Systems Analysis with Ontologies“, ed. by Green, Peter; Rosemann, Michael, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2005, pp. 82-104.
- Evermann, Jörg (2005c) „Towards a Cognitive Foundation for Knowledge Representation“, in: *Information Systems Journal*, Vol. 15, No. 2, 2005, pp. 147-178.
- Evermann, Jörg (2009) „A UML and OWL Description of Bunge's Upper-level Ontology Model“, in: *Software and Systems Modeling*, Vol. 8, No. 2, 2009, pp. 235-249.
- Evermann, Jörg; Fang, Jennifer (2010) „Evaluating Ontologies: Towards a Cognitive Measure of Quality“, in: *Information Systems*, Vol. 35, No. 4, 2010, pp. 391-403.
- Evermann, Jörg; Wand, Yair (2001) „Towards Ontologically Based Semantics for UML Constructs“, in: „Conceptual Modeling - ER 2001“, ed. by Kunii, Hideko S. et al., 20th International Conference on Conceptual Modeling Yokohama, Japan, November 27-30, 2001, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2001, pp. 354-367.
- Evermann, Jörg; Wand, Yair (2005) „Toward Formalizing Domain Modeling Semantics in Language Syntax“, in: *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. 31, No. 1, 2005, pp. 21-37.
- Evermann, Jörg; Wand, Yair (2009) „Ontology Based Object-Oriented Domain Modeling: Representing Behavior“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 20, No. 1, 2009, pp. 48-77.
- Eversheim, Walter; Schuh, Günther (Hrsg.) (2005) „Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung“, Berlin et al.: Springer, 2005.
- Exner, Konrad; Schnürmacher, Christian; Adolphy, Sebastian; Stark, Rainer (2017) „Proactive Maintenance as Success Factor for Use-oriented Product-Service Systems“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 64, 2017, pp. 330-335.
- Exner, Konrad; Stark, Rainer (2015) „Validation of Product-Service Systems in Virtual Reality“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 30, 2015, pp. 96-101.
- Ezz El-Din, Hemdan; Manjaiah, D.H. (2017) „Internet of Nano Things and Industrial Internet of Things“, in: „Internet of Things: Novel Advances and Envisioned Applications“, ed. by Acharjya, D.P.; Geetha, M. Kalaiselvi, Cham et al.: Springer, 2017, pp. 109-123.
- Fabrizio, Mauro (1998) „Dissipation Properties of Complex Systems“, in: *Open Systems and Information Dynamics*, Vol. 5, 1998, pp. 149-168.
- Fadel, Fadi G.; Fox, Mark S.; Grüninger, Michael (1994a) „A Generic Enterprise Resource Ontology“, Proceedings of the third IEEE Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, April 1994, Morgantown, West Virginia (WET ICE '94), 1994.
- Fadel, Fadi G.; Fox, Mark S.; Grüninger, Michael (1994b) „A Resource Ontology for Enterprise Modelling“, 1994, pp. 455-460.
- Fahmy, Mostafa (2014) „Artificial Life and the Philosophy of Science“, ALIFE 14: Proceedings of the Fourteenth International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems, 2014.
- Fähndrich, Johannes; Masuch, Nils; Yildirim, Hilmi; Albayrak, Sahin (2014) „Towards Automated Service Matchmaking and Planning for Multi-Agent Systems with OWL-S - Approach and Challenges“, in: „Service-Oriented Computing - ICSOC 2013 Workshops“, ed. by Lomuscio, Alessio R. et al., CCSA, CSB, PASCEB, SWESE, WESOA, and PhD Symposium, Berlin, Germany, December 2-5, 2013, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 240-247.
- Faith, Joe (1998) „Why Gliders Don't Exist: Anti-Reductionism and Emergence“, in: „Artificial Life VI. Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Life“, ed. by Adami, Christoph et al., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1998, pp. 389-392.
- Falbo, Ricardo De Almeida; Nardi, Julio Cesar (2008) „Evolving a Software Requirements Ontology“, XXXIV Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI 2008), 2008, pp. 300-309.

Bibliographie

- Fallon, Richard; Polovina, Simon (2013) „REA Analysis of SAP HCM; Some Initial Findings“, ed. by Andrews, Simon; Dau, Frithjof, Proceedings of the 3rd CUBIST (Combining and Uniting Business Intelligence with Semantic Technologies) Workshop, co-located with ICFCA 2013, Dresden, Germany, May 22, 2013, pp. 31-43.
- Fallon, Richard; Polovina, Simon (2016) „Automated REA (AREA): A Software Toolset for a Machine-readable Resource-Event-Agent (REA) Ontology Specification“, ed. by Andrews, Simon; Polovina, Simon, Proceedings of the Fifth Conceptual Structures Tools & Interoperability Workshop (CSTIW 2016), July 5-7, 2016, Annecy/France, 2016, pp. 10-18.
- Familiar, Miguel S.; Martínez, José F.; Corredor, Iván; García-Rubio, Carlos (2012) „Building Service-Oriented Smart Infrastructures over Wireless Ad Hoc Sensor Networks: A Middleware Perspective“, in: Computer Networks, Vol. 56, No. 4, 2012, pp. 1303-1328.
- Fantana, Nicolaie L.; Riedel, Till; Schlick, Jochen; Ferber, Stefan; Hupp, Jürgen; Miles, Stephen et al. (2013) „IoT Applications - Value Creation for Industry“, in: „Internet of Things: Coverging Technologies for Smart Envorinments and Integrated Ecosystems“, ed. by Vermesan, Ovidiu; Friess, Peter, Aalborg: River Publ., 2013, pp. 153-206.
- Farah, Christopher; Schwaner, Frederick; Abedi, Ali; Worboys, Michael (2011) „Distributed Homology Algorithm to Detect Topological Events via Wireless Sensor Networks“, in: IET Wireless Sensor Systems, Vol. 1, No. 3, 2011, pp. 151-160.
- Farley, Belmont G. (1960) „Self-Organizing Models for Learned Perception“, in: „Self-Organizing Systems“, ed. by Yovits, Marshall C.; Cameron, Scott, Proceedings of an Interdisciplinary Conference, 5 and 6 May, 1959, Oxford et al.: Pergamon Pr., 1960, pp. 7-30.
- Farmer, J. Doyne; Belin, Alletta d'A. (1992) „Artificial Life: The Coming Evolution“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. 815-840.
- Farquhar, Adam; Fikes, Richard E.; Rice, James (1997) „The Ontolingua Server: A Tool for Collaborative Ontology Construction“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 46, No. 6, 1997, pp. 707-727.
- Farr, James (1983) „Popper's Hermeneutics“, in: Philosophy of the Social Sciences, Vol. 13, No. 2, 1983, pp. 157-176.
- Farrar, Scott (2003) „An Ontological Account of Linguistics: Extending SUMO with GOLD“, 2003 International Conference on Natural Language Processing and Knowledge Engineering, Beijing, China, Proceedings, 2003, pp. 797-806.
- Farrar, Scott; Bateman, John (2005) „General Ontology Baseline“, Deliverable D1, I1-(OntoSpace); Workpackage 1, Vers. 2.0, OntoSpace Project Report, University of Bremen, Germany, 2005.
- Farrar, Scott; Langendoen, Terry (2003) „A Linguistic Ontology for the Semantic Web“, in: Glot International, Vol. 7, No. 3, 2003, pp. 97-100.
- Farre, George L. (1994) „On the Mathematical Representation of Phenomena of Emergence“, in: World Futures, Vol. 42, Nos. 3/4, 1994, pp. 215-218.
- Fathallah, Abir; Stal-Le Cardinal, Julie; Ermine, Jean Louis; Bocquet, Jean-Claude (2010) „Enterprise Modelling: Building a Product Lifecycle Management Model as a Component of the Integrated Vision of the Enterprise“, in: International Journal on Interactive Design and Manufacturing, Vol. 4, No. 3, 2010, pp. 201-209.
- Fawcett, Douglas (1926) „The Concept of 'Emergence'“, in: Mind, N.S., Vol. 35, No. 139, 1926, p. 408.
- Faye, Jan (1986) „Events“, in: Danish Yearbook of Philosophy, Vol. 23, 1986, pp. 7-16.
- Faye, Jan (2000) „Facts as Truth Makers“, in: „Things, Facts and Events“, ed. by Faye, Jan et al., Amsterdam: Rodopi, 2000, pp. 65-85.
- Faye, Jan (2008) „Identity, Spacetime, and Cosmology“, in: „Philosophy and Foundations of Physics. Vol. 4: The Ontology of Spacetime II“, ed. by Dieks, Dennis, Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 39-57.
- Fayoumi, Amjad; Yang, Lili (2012) „SBVR: Knowledge Definition, Vocabulary Management, and Rules Integrations“, in: International Journal of E-Business Development, Vol. 2, No. 2, 2012, pp. 70-76.
- FDA (1997) „Design Control Guidance for Medical Device Manufacturers“, (this Guidance relates to FDA 21 CFR 820.30 and Sub-clause 4.4 of ISO 9001), 1997.
- Fechner, Gustav Theodor (1848) „Nanna oder über das Seelenleben der Pflanzen“, Leipzig: Leopold Voß, 1848.
- Fechner, Gustav Theodor (1851) „Zend-Avesta oder über die Dinge des Himmels und des Jenseits vom Standpunkt der Naturbetrachtung“, (3 Bde.), Leipzig: Leopold Voß, 1851.

Bibliographie

- Feibleman, James K. (1949) „A Defense of Ontology“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 46, No. 2, 1949, pp. 41-51.
- Feibleman, James K. (1951) „Ontology“, Baltimore: Johns Hopkins Pr., 1951.
- Feibleman, James K. (1954a) „The Range of Dyadic Ontology“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 51, No. 4, 1954, pp. 117-124.
- Feibleman, James K. (1954b) „Theory of Integrative Levels“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 5, No. 17, 1954, pp. 59-66.
- Feigenbaum, Edward A.; Feldman, Julian (1963) „Artificial Intelligence“, in: „Computers and Thought“, ed. by Feigenbaum, Edward A.; Feldman, Julian, New York et al.: McGraw-Hill, 1963, pp. 1-8.
- Feistel, Rainer; Ebeling, Werner (1982) „Models of Darwin Processes and Evolution Principles“, in: *Biosystems*, Vol. 15, 1982, pp. 291-299.
- Feistel, Rainer; Ebeling, Werner (1985) „Stochastic Models of Evolutionary Processes“, in: „Thermodynamics and Regulation of Biological Processes“, ed. by Lamprecht, Ingolf; Zotin, Aleksandr I., Berlin, New York: De Gruyter, 1985, pp. 437-450.
- Feistel, Rainer; Ebeling, Werner (1989) „Evolution of Complex Systems. Self-Organization, Entropy and Development“, Dordrecht et al.: Kluwer Acad. Publ., 1989.
- Feld, Michael; Müller, Christian (2011) „The Automotive Ontology: Managing Knowledge Inside the Vehicle and Sharing it Between Cars“, *Proceedings of the 3rd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, Salzburg/Austria, Nov. 30-Dec. 2, ACM, 2011, pp. 79-86.
- Feldhusen, Jörg; Gebhardt, Boris (2008) „Product Lifecycle Management für die Praxis“, Berlin et al.: Springer, 2008.
- Feldman, Richard (1974) „An Alleged Defect in Gettier Counter-Examples“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 52, No. 1, 1974, pp. 68-69.
- Feldmann, Stefan et al. (2013) „Increasing Agility in Engineering and Runtime of Automated Manufacturing Systems“, *IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2013, pp. 1303-1308.
- Feldmann, Stefan; Kernschmidt, Konstantin; Vogel-Heuser, Birgit (2014) „Combining a SysML-based Modeling Approach and Semantic Technologies for Analyzing Change Influences in Manufacturing Plant Models“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 17, 2014, pp. 451-456.
- Felfernig, Alexander; Friedrich, Gerhard; Jannach, Dietmar (2001) „Conceptual Modeling for Configuration of Mass-customizable Products“, in: *Artificial Intelligence in Engineering*, Vol. 15, No. 2, 2001, pp. 165-176.
- Felic, Artur; König-Ries, Birgitta; Klein, Michael (2014) „Process-oriented Semantic Knowledge Management in Product Lifecycle Management“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 25, 2014, pp. 361-368.
- Fellbaum, Christiane (2010) „WordNet“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 231-243.
- Felt, James W. (1983) „Impossible Worlds“, in: *International Philosophical Quarterly*, Vol. 23, No. 3, 1983, pp. 251-265.
- Feng, Guoqi; Chen, Huifeng; Liu, Meiyu (2014) „An Ontology Service Model for Flexible Service Customization“, *11th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, Beijing, 25-27 June, 2014, pp. 1-4.
- Fensel, Dieter (2000) „Problem-Solving Methods. Understanding, Description, Development, and Reuse“, Berlin et al.: Springer, 2000.
- Fensel, Dieter (2004) „Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce“, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2004.
- Fensel, Dieter; Facca, Federico Michele; Simperl, Elena; Toma, Ioan (2011) „Semantic Web Services“, Berlin et al.: Springer, 2011.
- Fensel, Dieter; Lausen, Holger; De Bruijn, Jos; Stollberg, Michael; Roman, Dumitru; Polleres, Axel; Domingue, John (2007) „Enabling Semantic Web Services. The Web Service Modeling Ontology“, Berlin et al.: Springer, 2007.
- Fensel, Dieter; Straatman, Remco (1996) „Problem-Solving Methods: Making Assumptions for Efficiency Reasons“, in: „Advances in Knowledge Acquisition“, ed. by Shadbolt, Nigel et al., 9th European Knowledge Acquisition Workshop, EKAW '96 Nottingham, United Kingdom, May 14-17, 1996 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1996, pp. 17-32.

Bibliographie

- Fensel, Dieter; Straatman, Remco (1998) „The Essence of Problem-Solving Methods: Making Assumptions to Gain Efficiency“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 48, No. 2, 1998, pp. 181-215.
- Fenton, Norman E. (1991) „Software Metrics: A Rigorous Approach“, 1991.
- Fernández-López, Mariano; Gómez-Pérez, Asunción (2004) „Searching for a Time Ontology for Semantic Web Applications“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 331-341.
- Fernández-López, Mariano; Gómez-Pérez, Asunción; Sierra, Juan Pazos; Sierra, Alejandro Pazos (1999) „Building a Chemical Ontology Using Methontology and the Ontology Design Environment“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 14, No. 1, 1999, pp. 37-46.
- Fernández-López, Mariano; Gómez-Pérez, Asunción; Suárez-Figueroa (2008) „Selecting and Customizing a Mereology Ontology for Its Reuse in a Pharmaceutical Product Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 181-194.
- Fernandez, Susel; Hadfi, Rafik; Ito, Takayuki; Marsa-Maestre, Ivan; Velasco, Juan R. (2016) „Ontology-Based Architecture for Intelligent Transportation Systems Using a Traffic Sensor Network“, in: *Sensors*, Vol. 16, No. 8, Art. 1287, 2016, pp. 1-17.
- Ferrández-Colmeiro, Antonio; Gilart-Iglesias, Virgilio; Maciá-Pérez, Francisco (2010) „Semantic Processes Modelling Independent of Manufacturing Infrastructures“, Proceedings of Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'10), Bilbao/Spain, 13-16 September, 2010, pp. 1-8.
- Ferrario, Roberta (2006) „Who Cares about Axiomatization? Representation, Invariance, and Formal Ontologies“, in: *Epistemologia*, Special Issue on the Philosophy of Patrick Suppes, 2006.
- Ferrario, Roberta; Guarino, Nicola (2008) „A New Ontological Perspective for Social Services“, ed. by Corradini, F.; Polzonetti, A., Proceedings of the 2nd International Conference on Methodologies, Technologies and Tools Enabling e-Government, 2008, pp. 41-51.
- Ferrario, Roberta; Guarino, Nicola (2009) „Towards an Ontological Foundation for Services Science“, in: „Future Internet - FIS 2008“, ed. by Domingue, John et al., First Future Internet Symposium, FIS 2008 Vienna, Austria, September 29-30, 2008, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 152-169.
- Ferrario, Roberta; Guarino, Nicola (2012) „Commitment-Based Modeling of Service Systems“, in: „Exploring Services Science“, ed. by Snene, Mehdi, Third International Conference, IESS 2012, Geneva, Switzerland, February 15-17, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 170-185.
- Ferrario, Roberta; Guarino, Nicola; Fernández-Barrera, Meritxell (2011) „Towards an Ontological Foundation for Services Science: The Legal Perspective“, in: „Approaches to Legal Ontologies. Theories, Domains, Methodologies“, ed. by Sartor, Giovanni et al., Dordrecht et al.: Springer, 2011, pp. 235-258.
- Ferrario, Roberta; Guarino, Nicola; Janiesch, Christian; Kiemes, Tom; Oberle, Daniel; Probst, Florian (2011) „Towards an Ontological Foundation of Services Science: The General Service Model“, 10th International Conference on Wirtschaftsinformatik, 16th-18th February 2011, Zurich/Switzerland, 2011, pp. 675-684.
- Ferrario, Roberta; Oltramari, Alessandro (2005) „Towards a Computational Ontology of Mind“, IEEE Aerospace Conference, 5-12 March 2005, Big Sky/MT, 2005, pp. 1-9.
- Ferrario, Roberta; Prévot, Laurent (2007) „Formal Ontologies for Communicating Agents“, in: *Applied Ontology*, Vol. 2, No. 3-4, 2007, pp. 209-216.
- Ferré, Frederick (2008) „Testing Technology with Whitehead“, in: „Researching with Whitehead: System and Adventure“, ed. by Riffert, Franz; Sander, Hans-Joachim, Freiburg, München: Alber, 2008, pp. 419-446.
- Ferreira Rosa da Silva, Alda Maria; Cavalcanti, Maria Cláudia (2012) „Towards Making Explicit the Ontological Commitment of a Database Schema on the Geological Domain“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 73-86.
- Ferreira, Luís et al. (2013) „Cloudlet Architecture for Dashboard in Cloud and Ubiquitous Manufacturing“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 12, 2013, pp. 366-371.
- Ferro, Duco N.; Hoogendoorn, Mark; Jonker, Catholijn M. (2008) „Ontology-Based Business Activity Monitoring Agent“, IEEE/WIC/ACM International Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT '08), Vol. 2, Sydney/NSW, 9-12 Dec., 2008, pp. 491-495.

Bibliographie

- Ferrucci, David; Brown, Eric; Chu-Carroll, Jennifer; Fan, James; Gondek, David; Kalyanpur, Aditya A.; Lally, Adam et al. (2010) „Building Watson: An Overview of the DeepQA Project“, in: *AI Magazine*, Vol. 31, No. 3, 2010, pp. 59-79.
- Ferrucci, David; Lally, Adam (2004) „UIMA: An Architectural Approach to Unstructured Information Processing in the Corporate Research Environment“, in: *Natural Language Engineering*, Vol. 10, No. 3-4, 2004, pp. 327-348.
- Ferstl, Otto K.; Sinz, Elmar J. (1991) „Ein Vorgehensmodell zur Objektmodellierung betrieblicher Informationssysteme im Semantischen Objektmodell (SOM)“, in: *Wirtschaftsinformatik*, 33. Jg., Nr. 6, 1991, S. 477-491.
- Ferstl, Otto K.; Sinz, Elmar J. (1995) „Der Ansatz des Semantischen Objektmodells (SOM) zur Modellierung von Geschäftsprozessen“, in: *Wirtschaftsinformatik*, 37. Jg., Nr. 3, 1995, S. 209-220.
- Ferstl, Otto K.; Sinz, Elmar J. (2006) „Modeling of Business Systems Using SOM“, in: „*Handbook on Architectures of Information Systems*“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 347-367.
- Fettke, Peter (2006) „Referenzmodellevaluation. Konzeption der strukturalistischen Referenzmodellierung und Entfaltung ontologischer Gütekriterien“, zugl. Diss., Univ. Mainz, 2006, Berlin: Logos, 2006.
- Fettke, Peter; Loos, Peter (2003a) „Ontologische Evaluierung des Semantischen Objektmodells“, in: „*Modellierung betrieblicher Informationssysteme*“, hrsg. v. Sinz, Elmar J.; Plaha, Markus; Neckel, Peter, *MobIS 2003 - Proceedings der Tagung MobIS 2003*, 9. bis 10. Oktober 2003 in Bamberg, Bonn: Gesellschaft für Informatik, 2003, S. 109-129.
- Fettke, Peter; Loos, Peter (2003b) „Ontologische Evaluierung von Referenzmodellen auf Basis des Bunge-Wand-Weber-Modells - Methode und Anwendungen“, in: „*Modellierung betrieblicher Informationssysteme*“, hrsg. v. Sinz, Elmar J.; Plaha, Markus; Neckel, Peter, *MobIS 2003 - Proceedings der Tagung MobIS 2003*, 9. bis 10. Oktober 2003 in Bamberg, Bonn: Gesellschaft für Informatik, 2003, S. 155-173.
- Fettke, Peter; Loos, Peter (2005) „Ontological Analysis of Reference Models“, in: „*Business Systems Analysis with Ontologies*“, ed. by Green, Peter; Rosemann, Michael, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2005, pp. 56-81.
- Fetz, Reto Luzius (1981) „Whitehead: Prozeßdenken und Substanzmetaphysik“, Freiburg, München: Alber, 1981.
- Fetz, Reto Luzius (1986) „Kreativität: Eine neue transzendente Seinsbestimmung?“, in: „*Whiteheads Metaphysik der Kreativität*“, hrsg. v. Rapp, Friedrich; Wiehl, Reiner, *Int. Whitehead-Symposium Bad Homburg 1983*, Freiburg, München: Alber, 1986, S. 207-225.
- Fetzer, James H. (1981) „Scientific Knowledge: Causation, Explanation, and Corroboration“, Dordrecht: Reidel, 1981.
- Fetzer, James H. (1990a) „Artificial Intelligence: Its Scope and Limits“, Dordrecht et al.: Kluwer, 1990.
- Fetzer, James H. (1990b) „The Frame Problem: Artificial Intelligence Meets David Hume“, in: *International Journal of Expert Systems*, Vol. 3, No. 3, 1990, pp. 219-232.
- Fetzer, James H. (1990c) „Artificial Intelligence Meets David Hume: A Response to Patrick Hayes“, in: *International Journal of Expert Systems*, Vol. 3, No. 3, 1990, pp. 239-247.
- Fetzer, James H. (1993a) „Philosophy Unframed. Reply to Van Brakel, Grush, and Morris on Frame Problem“, in: *Psychology*, Vol. 4, No. 33, Art. 10, 1993.
- Fetzer, James H. (1993b) „Van Brakel's Position Appears to be Incoherent. Commentary on van Brakel on Ford & Hayes on the Frame-Problem“, in: *Psychology*, Vol. 4, No. 14, Art. 4, 1993.
- Fetzer, James H. (2004a) „Disinformation: The Use of False Information“, in: *Minds and Machines*, Vol. 14, No. 2, 2004, pp. 231-240.
- Fetzer, James H. (2004b) „Information: Does it Have To Be True?“, in: *Minds and Machines*, Vol. 14, No. 2, 2004, pp. 223-229.
- Fetzer, James H. (2004c) „The Philosophy of AI and its Critique“, in: „*The Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information*“, ed. by Floridi, Luciano, Malden/MA et al.: Blackwell, 2004, pp. 119-134.
- Feuer, Lewis S. (1957) „The Principle of Simplicity“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 24, No. 2, 1957, pp. 109-122.
- Feuer, Lewis S. (1959) „Rejoinder on the Principle of Simplicity“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 26, No. 1, 1959, pp. 43-45.
- Feuto, Paul Brilliant; Cardey, Sylviane; Greenfield, Peter; El Abed, Walid (2013) „Domain Specific Language based on the SBVR Standard for Expressing Business Rules“, 2013.

Bibliographie

- Feyerabend, Paul K. (1962) „Explanation, Reduction and Empiricism“, in: „Minnesota Studies in the Philosophy of Science“, ed. by Feigl, Herbert; Maxwell, Grover, Vol. 3, Minneapolis: Univ. of Minnesota Pr., 1962, pp. 28-97.
- Feyerabend, Paul K. (1975) „Against Method. Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge“, London: NLB, 1975.
- Feynman, Richard P. (1967) „The Character of Physical Law“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1967.
- Feynman, Richard P. (1982) „Simulating Physics with Computers“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, Nos. 6/7, 1982, pp. 467-488.
- Feynman, Richard P. (1986) „Quantum Mechanical Computers“, in: Foundations of Physics, Vol. 16, No. 6, 1986, pp. 507-531.
- Feynman, Richard P.; Leighton, Robert B.; Sands, Matthew (1963) „The Feynman Lectures on Physics“, Vol. 1, 5th Pr., Reading/Mass. et al.: Addison-Wesley, 1970.
- Feys, Robert (1955) „Boole as a Logician“, in: Proceedings of the Royal Irish Academy, Vol. 57, Sect. A., No. 6. Celebration of the Centenary of 'The Laws of Thought' by George Boole, Dublin: Royal Irish Academy, 1955, pp. 97-106.
- Fickinger, Tobias; Recker, Jan C. (2013) „Construct Redundancy in Process Modeling Grammars: Improving the Explanatory Power of Ontological Analysis“, Proceedings of the 21st European Conference on Information Systems, Association for Information Systems, Utrecht, The Netherlands, 2013.
- Fielding, James M.; Simon, Jonathan; Smith, Barry (2003) „Formal Ontology for Biomedical Knowledge Systems Integration“, 2003.
- Fierz, Markus (1972) „Vorlesungen zur Entwicklungsgeschichte der Mechanik“, (Lecture Notes in Physics, No. 15), Berlin et al.: Springer, 1972.
- Fikes, Richard E.; Kehler, Thomas (1985) „The Role of Frame-based Representation in Reasoning“, in: Communications of the ACM, Vol. 28, No. 9, 1985, pp. 904-920.
- Fikes, Richard E.; Nilsson, Nils J. (1971) „STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving“, in: Artificial Intelligence, Vol. 2, No. 3-4, 1971, pp. 189-208.
- Filipowska, Agata; Kaczmarek, Monika; Kowalkiewicz, Marek; Markovic, Ivan; Zhou, Xuan (2009) „Organizational Ontologies to Support Semantic Business Process Management“, Proceedings of the 4th International Workshop on Semantic Business Process Management (SBPM '09), New York/NY: ACM, 2009, pp. 35-42.
- Fill, Hans-Georg; Burzynski, Patrik (2009) „Integrating Ontology Models and Conceptual Models using a Meta Modeling Approach“, 11th Intl. Protégé Conference - June 23-26, 2009 - Amsterdam, Netherlands, 2009.
- Fine, Arthur (1993) „Fictionalism“, in: Midwest Studies in Philosophy, Vol. 18, No. 1, 1993, pp. 1-18.
- Fine, Kit (2009) „The Question of Ontology“, in: „Metametaphysics. New Essays on the Foundations of Ontology“, ed. by Chalmers, David J. et al., Oxford et al.: Clarendon Pr., 2009, pp. 157-177.
- Fine, Kit (2012a) „Metaphysical Kit: Kit Fine interviewed by Richard Marshall“, in: 3:AM Magazine, Friday, March 23rd, 2012.
- Fine, Kit (2012b) „What is Metaphysics?“, in: „Contemporary Aristotelian Metaphysics“, ed. by Tahko, Tuomas E., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2012, pp. 8-25.
- Fine, Kit (2016) „Naive Metaphysics“, Working Paper, 2016.
- Fingar, Peter (2015) „Cognitive Computing: A Brief Guide for Game Changers“, Tampa/FL: Meghan-Kiffer Pr., 2015.
- Finkeißen, Alexander (1999) „Prozess-Wertschöpfung. Neukonzeption eines Modells zur nutzenorientierten Analyse und Bewertung“, zugl. Stuttgart, Univ., Diss., 1999, Heidelberg: Libri, 1999.
- Finkelstein, David R. (1973) „A Process Conception of Nature“, in: „The Physicist's Conception of Nature“, ed. by Mehra, Jagdish, Dordrecht: Reidel, 1973, pp. 709-713.
- Finkelstein, David R. (1974) „Quantum Physics and Process Metaphysics“, in: „Physical Reality and Mathematical Description“, ed. by Enz, Charles P.; Mehra, Jagdish, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1974, pp. 91-99.
- Finkelstein, David R. (1982) „Quantum Sets and Clifford Algebras“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, Nos. 6/7, 1982, pp. 489-503.
- Finkelstein, David R. (1988) „Finite Physics“, in: „The Universal Turing Machine - A Half-Century Survey“, ed. by Herken, Rolf, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1988, pp. 349-376.
- Finkelstein, David R. (1992) „Higher-Order Quantum Logics“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 31, No. 9, 1992, pp. 1627-1638.

Bibliographie

- Finkelstein, David R. (1996) „Quantum Relativity. A Synthesis of the Ideas of Einstein and Heisenberg“, Berlin: Springer, 1996.
- Finkelstein, David R. (2003) „The Qubits of Qunivac“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 42, No. 2, 2003, pp. 177-187.
- Finkelstein, David R. (2004) „Physical Process and Physical Law“, in: „Physics and Whitehead. Quantum, Process, and Experience“, ed. by Eastman, Timothy E.; Keeton, Hank, Albany: State Univ. of New York Pr., 2004, pp. 180-186.
- Finkelstein, David R. (2013) „Nature as Quantum Computer“, in: „From Linear Operators to Computational Biology“, ed. by Davis, Martin; Schonberg, Edmond, London: Springer, 2013, pp. 5-22.
- Finkelstein, David R.; Kallfelz, William Michael (1997) „Organism and Physics“, in: *Process Studies*, Vol. 26, No. 3-4, 1997, pp. 279-292.
- Fiorini, Sandro R. et al. (2015) „Extensions to the Core Ontology for Robotics and Automation“, in: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 33, 2015, pp. 3-11.
- Fiorini, Sandro R.; Abel, Mara; Scherer, Claiton M.S. (2013) „An Approach for Grounding Ontologies in Raw Data Using Foundational Ontology“, in: *Information Systems*, Vol. 38, No. 5, 2013, pp. 784-799.
- Fischer, Jan-Gregor; Roshchin, Mikhail; Langer, Gerhard; Pirker, Michael (2009) „Semantic Data Integration and Monitoring in the Railway Domain“, *IEEE International Conference on Information Reuse & Integration (IRI '09)*, Las Vegas/NV, 10-12 Aug., 2009, pp. 11-16.
- Fischer, Klaus; Schillo, Michael; Siekmann, Jörg H. (2003) „Holonc Multiagent Systems: A Foundation for the Organisation of Multiagent Systems“, in: „Holonc and Multi-Agent Systems for Manufacturing“, ed. by Marík, Vladimír et al., *First International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2003*, Prague, Czech Republic, September 1-3, 2003, *Proceedings*, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 71-80.
- Fischer, Kuno (1852) „Logik und Metaphysik oder Wissenschaftslehre“, Stuttgart: Scheitlin, 1852.
- Fischer, Kuno (1911) „Hegels Leben, Werke und Lehre. Erster Teil“, 3., unveränd. Aufl. (Nachdr. d. 2. Aufl., Heidelberg: Univ.-Verl. Carl Winter, 1911), Darmstadt: Wiss. Buchges., 1963.
- Fischer, Layna (ed.) (2015) „BPM Everywhere: Internet of Things, Process of Everything“, Lighthouse Point/FL: Future Strategies, 2015.
- Fishwick, Paul A. (1996) „Web-based Simulation: Some Personal Observations“, in: „Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference“, ed. by Charnes, J.M. et al., Piscataway/NJ: IEEE Pr., 1996, pp. 772-779.
- Fishwick, Paul A.; Miller, John A. (2004) „Ontologies for Modeling and Simulation: Issues and Approaches“, in: „Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference“, ed. by Ingalls, R.G.; Rossetti, M.D.; Smith, J.S.; Peters, B.A., 2004, pp. 259-264.
- Fitelson, Branden; Zalta, Edward N. (2007) „Steps Toward a Computational Metaphysics“, in: *Journal of Philosophical Logic*, Vol. 36, No. 2, 2007, pp. 227-247.
- Fitzpatrick, Daniel; Coallier, François; Ratté, Sylvie (2013) „A Reference Architecture for an Enterprise Knowledge Infrastructure“, in: „Product Lifecycle Management for Society“, ed. by Bernard, Alain et al., *10th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2013*, Nantes, France, July 6-10, 2013, *Proceedings*, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 326-335.
- Fleisch, Elgar (2010) „What is the Internet of Things? An Economic Perspective“, *Auto-ID Labs White Paper WP-BIZAPP-053*, 2010.
- Fleisch, Elgar; Christ, Oliver; Dierkes, Markus (2005) „Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge“, in: „Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis“, hrsg. v. Fleisch, Elgar; Mattern, Friedemann, Berlin et al.: Springer, 2005, S. 3-37.
- Fleischmann, Albert et al. (2012) „Subject-Oriented Business Process Management“, Berlin et al.: Springer, 2012.
- Fleissner, Peter; Hofkirchner, Wolfgang (1996) „Emergent Information. Towards a Unified Information Theory“, in: *Biosystems*, Vol. 38, No. 2-3, 1996, pp. 243-248.
- Fleissner, Peter; Hofkirchner, Wolfgang (1997) „Actio non est Reactio: An Extension of the Concept of Causality towards Phenomena of Information“, in: *World Futures*, Vol. 49, No. 3-4, 1997, pp. 409-427.
- Fleming, Lee; Sorenson, Olav (2001) „Technology as a Complex Adaptive System: Evidence from Patent Data“, in: *Research Policy*, Vol. 30, 2001, pp. 1019-1039.
- Fletcher, Martyn; Brennan, Robert W.; Norrie, Douglas H. (2003) „Modeling and Reconfiguring Intelligent Holonic Manufacturing Systems With Internet-based Mobile Agents“, in: *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 14, No. 1, 2003, pp. 7-23.

Bibliographie

- Floridi, Luciano (1999a) „Information Ethics: On the Philosophical Foundation of Computer Ethics“, in: *Ethics and Information Technology*, Vol. 1, 1999, pp. 37-56.
- Floridi, Luciano (1999b) „Philosophy and Computing: An Introduction“, London; New York: Routledge, 1999.
- Floridi, Luciano (2002) „What is the Philosophy of Information?“, in: *Metaphilosophy*, Vol. 33, Nos. 1/2, 2002, pp. 123-145.
- Floridi, Luciano (2003) „Two Approaches to the Philosophy of Information“, in: *Minds and Machines*, Vol. 13, No. 4, 2003, pp. 459-469.
- Floridi, Luciano (2004a) „Information“, in: „The Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information“, ed. by Floridi, Luciano, Malden/MA et al.: Blackwell, 2004, pp. 40-61.
- Floridi, Luciano (2004b) „Informational Realism“, *Computing and Philosophy Conference (Canberra, Australia); Conferences in Research and Practice in Information Technology*, Vol. 37, Australian Computer Society, 2004.
- Floridi, Luciano (2004c) „Open Problems in the Philosophy of Information“, in: *Metaphilosophy*, Vol. 35, No. 4, 2004, pp. 554-582.
- Floridi, Luciano (2004d) „Outline of a Theory of Strongly Semantic Information“, in: *Minds and Machines*, Vol. 14, No. 2, 2004, pp. 197-221.
- Floridi, Luciano (2005) „Is Semantic Information Meaningful Data?“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 70, No. 2, 2005, pp. 351-370.
- Floridi, Luciano (2008a) „A Defence of Informational Structural Realism“, in: *Synthese*, Vol. 161, No. 2, 2008, pp. 219-253.
- Floridi, Luciano (2008b) „Trends in the Philosophy of Information“, in: „Philosophy of Information“, ed. by Adriaans, Pieter; Van Benthem, Johan, Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 113-131.
- Floridi, Luciano (2010a) „Information: A Very Short Introduction“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2010.
- Floridi, Luciano (2010b) „The Philosophy of Information: Ten Years Later“, in: *Metaphilosophy*, Vol. 41, No. 3, 2010, pp. 402-419.
- Floridi, Luciano (2011) „The Philosophy of Information“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 2011.
- Floridi, Luciano (2015) „Philosophy from the Zettabyte“, in: *3:AM Magazine*, April 5th, Interview by Richard Marshall, 2015.
- Floridi, Luciano; Sanders, Jeffrey W. (2005) „Internet Ethics: The Constructionist Values of Homo Poieticus“, in: „The Impact of the Internet on Our Moral Lives“, ed. by Cavalier, Robert J., Albany: State Univ. of New York Pr., 2005, pp. 195-214.
- Flörkemeier, Christian (2005) „EPC-Technologie - vom Auto-ID Center zu EPCglobal“, in: „Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis“, hrsg. v. Fleisch, Elgar; Mattern, Friedemann, Berlin et al.: Springer, 2005, S. 87-100.
- Flouris, Ioannis; Giatrakos, Nikos; Deligiannakis, Antonios; Garofalakis, Minos; Kamp, Michael; Mock, Michael (2017) „Issues in Complex Event Processing: Status and Prospects in the Big Data Era“, in: *Journal of Systems and Software*, Vol. 127, 2017, pp. 217-236.
- Fodor, Jerry A. (1986) „Information and Association“, in: *Notre Dame Journal of Formal Logic*, Vol. 27, No. 3, 1986, pp. 307-323.
- Fodor, Jerry A. (1987) „Modules, Frames, Fridgeons, Sleeping Dogs, and the Music of the Spheres“, in: „The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1987, pp. 139-149.
- Foerster, Heinz von (1993) „KybernEthik“, Berlin: Merve-Verl., 1993.
- Foerster, Heinz von (2002) „Teil der Welt. Fraktale einer Ethik“, Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verl., 2002.
- Foerster, Heinz von; White, John D.; Peterson, Larry J.; Russell, John K. (eds.) (1968) „Purposive Systems“, *Purposive Systems. Proceedings of the First Annual Symposium of the American Society Cybernetics*, New York, Washington: Spartan Books, 1968.
- Folkard, Berit; Keraron, Yves; Mantoulan, Damien; Dubois, Roger (2012) „The Need for Improved Integration between PLM and KM: A PLM Services Provider Point of View“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 85-98.
- Føllesdal, Dagfinn (1995) „Phenomenology“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 390-391.

Bibliographie

- Folse, Henry J., Jr. (1974) „The Copenhagen Interpretation of Quantum Theory and Whitehead's Philosophy of Organism“, in: „Studies in Process Philosophy I“, ed. by Whittemore, Robert C., The Hague: Martinus Nijhoff, 1974, pp. 32-47.
- Folse, Henry J., Jr. (1981) „Complementarity, Bell's Theorem, and the Framework of Process Metaphysics“, in: *Process Studies*, Vol. 11, 1981, pp. 242-258.
- Fong, Patrick S.W. (2003) „Knowledge Creation in Multidisciplinary Project Teams: An Empirical Study of the Processes and their Dynamic Interrelationships“, in: *International Journal of Project Management*, Vol. 21, No. 7, 2003, pp. 479-486.
- Fonseca, Frederico (2007) „The Double Role of Ontologies in Information Science Research“, in: *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Vol. 58, No. 6, 2007, pp. 786-793.
- Fonseca, Frederico; Davis, Clodoveu; Câmara, Gilberto (2003) „Bridging Ontologies and Conceptual Schemas in Geographic Information Integration“, in: *GeoInformatica*, Vol. 7, No. 4, 2003, pp. 355-378.
- Fonseca, Frederico; Egenhofer, Max J.; Agouris, Peggy; Câmara, Gilberto (2002) „Using Ontologies for Integrated Geographic Information Systems“, in: *Transactions in GIS*, Vol. 6, No. 3, 2002, pp. 231-257.
- Fonseca, Frederico; Martin, James (2007) „Learning the Differences Between Ontologies and Conceptual Schemas Through Ontology-Driven Information Systems“, in: *Journal of the Association for Information Systems*, Vol. 8, No. 2, 2007, pp. 129-142.
- Foo, Pek Hui; Ng, Gee Wah (2013) „High-level Information Fusion: An Overview“, in: *Journal of Advances in Information Fusion*, Vol. 8, No. 1, 2013, pp. 33-72.
- Forbes, Graeme (1987) „Is There a Problem about Persistence?“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes*, Vol. 61, 1987, pp. 137-155.
- Forbus, Kenneth D. (1984) „Qualitative Process Theory“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 24, 1984, pp. 85-168.
- Forbus, Kenneth D. (1993) „Qualitative Process Theory: Twelve Years After“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 59, 1993, pp. 115-123.
- Forbus, Kenneth D. (2008) „Qualitative Modeling“, in: „*Handbook of Knowledge Representation*“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 361-393.
- Forbus, Kenneth D.; Gentner, Dedre (1986) „Learning Physical Domains: Toward a Theoretical Framework“, in: „*Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach: Volume II*“, ed. by Michalski, Ryszard S. et al., Los Altos/CA: Morgan Kaufmann, 1986, pp. 311-348.
- Ford, Kenneth M.; Glymour, Clark; Hayes, Patrick J. (eds.) (1995) „*Android Epistemology*“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1995.
- Ford, Kenneth M.; Glymour, Clark; Hayes, Patrick J. (eds.) (2006) „*Thinking about Android Epistemology*“, Menlo Park/CA: AAAI, 2006.
- Ford, Kenneth M.; Hayes, Patrick J. (1990) „Framing the Problem“, in: *International Journal of Expert Systems*, Vol. 3, No. 3, 1990, pp. v-x.
- Ford, Kenneth M.; Hayes, Patrick J. (1998) „On Computational Wings: Rethinking the Goals of Artificial Intelligence“, in: *Scientific American Presents*, Vol. 9, No. 4, 1998, pp. 78-83.
- Fornara, Nicoletta (2011) „Specifying and Monitoring Obligations in Open Multiagent Systems Using Semantic Web Technology“, in: „*Semantic Agent Systems. Foundations and Applications*“, ed. by Elçi, Atilla et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 25-45.
- Forrest, Stephanie (ed.) (1991) „*Emergent Computation. Self-Organizing, Collective, and Cooperative Phenomena in Natural and Artificial Computing Networks*“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1991.
- Fortescue, Michael D. (2001) „*Pattern and Process: A Whiteheadian Perspective on Linguistics*“, Amsterdam et al.: Benjamins, 2001.
- Fortineau, Virginie; Fiorentini, Xenia; Paviot, Thomas; Louis-Sidney, Ludovic; Lamouri, Samir (2014) „Expressing Formal Rules Within Ontology-based Models Using SWRL: An Application to the Nuclear Industry“, in: *International Journal of Product Lifecycle Management*, Vol. 7, No. 1, 2014, pp. 75-93.
- Fortineau, Virginie; Paviot, Thomas; Guissé, Abdoulaye; Lamouri, Samir (2013a) „A Transformation Model to Express Business Rules from Natural Language to Formal Execution: An Application to Nuclear Power Plant“, in: *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 46, No. 9, 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, International Federation of Automatic Control, June 19-21, 2013, Saint Petersburg/Russia, 2013, pp. 1096-1101.
- Fortineau, Virginie; Paviot, Thomas; Lamouri, Samir (2013b) „Improving the Interoperability of Industrial Information Systems with Description logic-based Models - The State of the Art“, in: *Computers in Industry*, Vol. 64, No. 4, 2013, pp. 363-375.

Bibliographie

- Forza, Cipriano; Salvador, Fabrizio (2002) „Managing for Variety in the Order Acquisition and Fulfilment Process: The Contribution of Product Configuration Systems“, in: *International Journal of Production Economics*, Vol. 76, No. 1, 2002, pp. 87-98.
- Foster, John (2004a) „From Simplistic to Complex Systems in Economics“, Discussion Paper No 335, October 2004, School of Economics, The University of Queensland, 2004.
- Foster, John (2004b) „Why is Economics not a Complex Systems Science?“, Discussion Paper No. 336, December 2004, School of Economics, The University of Queensland, 2004.
- Fox, Mark S. (1992) „The TOVE Project: Towards a Common-Sense Model of the Enterprise“, in: „Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems“, ed. by Belli, Fevzi; Radermacher, Franz Josef, 5th International Conference, IEA/AIE - 92 Paderborn, Germany, June 9-12, 1992 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1992, pp. 25-34.
- Fox, Mark S.; Chionglo, John F.; Fadel, Fadi G. (1993) „A Common-Sense Model of the Enterprise“, Proceedings of the Industrial Engineering Research Conference, 1993, pp. 425-429.
- Fox, Mark S.; Grüninger, Michael (1998) „Enterprise Modeling“, in: *AI Magazine*, Fall, 1998, pp. 109-121.
- Fox, Peter; Hendler, James A. (2009) „Semantic eScience: Encoding Meaning in Next-Generation Digitally Enhanced Science“, in: „The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery“, ed. by Hey, Tony et al., Redmond/WA: Microsoft Research, 2009, pp. 147-152.
- Foxvog, Douglas (2010) „Cyc“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 259-278.
- Främling, Kary; Holmström, Jan; Loukkola, Juha; Nyman, Jan; Kaustell, André (2013) „Sustainable PLM through Intelligent Products“, in: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 26, No. 2, 2013, pp. 789-799.
- Främling, Kary; Kubler, Sylvain; Buda, Andrea (2014) „Universal Messaging Standards for the IoT From a Lifecycle Management Perspective“, 2014.
- Främling, Kary; Parmar, Sagar; Hinkka, Ville; Tätilä, Jaakko; Rodgers, Dirk (2013) „Assessment of EPCIS Standard for Interoperable Tracking in the Supply Chain“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 119-134.
- Frank, Philipp (1948) „The Place of Logic and Metaphysics in the Advancement of Modern Science“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 15, No. 4, 1948, pp. 275-286.
- Frank, Philipp (1950a) „Metaphysical Interpretations of Science. Part I“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 1, No. 1, 1950, pp. 60-74.
- Frank, Philipp (1950b) „Metaphysical Interpretations of Science. Part II“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 1, No. 2, 1950, pp. 77-91.
- Frank, Ulrich; Prasse, Michael (1997) „Zur Standardisierung objektorientierter Modellierungssprachen: Eine kritische Betrachtung des State of the Art am Beispiel der Unified Modeling Language“, in: *Rundbrief des GI-Fachausschusses 5.2*, 4. Jg, Nr. 1, 1997, S. 1-5.
- Franke, Marco; Klein, Konstantin; Hribernik, Karl; Lappe, Dennis; Veigt, Marius; Thoben, Klaus-Dieter (2014) „Semantic Web Service Wrappers as a Foundation for Interoperability in Closed-loop Product Lifecycle Management“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 22, 2014, pp. 225-230.
- Franke, Marco; Klein, Patrick; Schröder, Lutz; Thoben, Klaus-Dieter (2011) „Ontological Semantics of Standards and PLM Repositories in the Product Development Phase“, in: „Global Product Development“, ed. by Bernard, Alain, Proceedings of the 20th CIRP Design Conference, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, France, 19th-21st April 2010, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 473-482.
- Franklin, Stan; Graesser, Art (1997) „Is It an Agent, or Just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents“, in: „Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures, and Languages“, ed. by Müller, Jörg P. et al., ECAI'96 Workshop (ATAL) Budapest, Hungary, August 12-13, 1996, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1997, pp. 21-35.
- Franssen, Maarten (2006) „The Normativity of Artefacts“, in: *Studies in History and Philosophy of Science*, Part A, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 42-57.
- Franssen, Maarten; Kroes, Peter (2014) „Artefact Kinds, Ontological Criteria and Forms of Mind-Dependence“, in: „Artefact Kinds. Ontology and the Human-Made World“, ed. by Franssen, Maarten et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 63-83.
- Franzen, Winfried; Georgulis, Konstantin (1972) „Entelechie“, in: „Historisches Wörterbuch der Philosophie“, hrsg. v. Ritter, Joachim, Bd. 2, Darmstadt: Wiss. Buchges., 1972, Sp. 506-507.
- Frascolla, Pasquale (2004) „On the Nature of Tractatus Objects“, in: *Dialectica*, Vol. 58, No. 3, 2004, pp. 369-382.

- Fraser, John (1994) „Managing Change through Enterprise Models“, 1994.
- Frazzon, Enzo M.; Hartmann, Jens; Makuschewitz, Thomas; Scholz-Reiter, Bernd (2013) „Towards Socio-Cyber-Physical Systems in Production Networks“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 7, 2013, pp. 49-54.
- Frederiks, Paul J.M.; ter Hofstede, Arthur H.M.; Lippe, Ernst (1997) „A Unifying Framework for Conceptual Data Modelling Concepts“, in: *Information and Software Technology*, Vol. 39, 1997, pp. 15-25.
- Fredkin, Edward (2003) „An Introduction to Digital Philosophy“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 42, No. 2, 2003, pp. 189-247.
- Fredkin, Edward; Landauer, Rolf; Toffoli, Tommaso (eds.) (1982) „Physics of Computation“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, No. 12, (Conference Proceedings, *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, Nos. 3/4 (Part 1), Nos. 6/7 (Part 2), and No. 12 (Part 3)), 1982, p. 903.
- Fredkin, Edward; Toffoli, Tommaso (1982) „Conservative Logic“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, Nos. 3/4, 1982, pp. 219-253.
- Freeman, Walter J. (1992) „Framing Is a Dynamic Process. Commentary on Ford & Hayes on Frame Problem“, in: *Psychology*, Vol. 3, No. 62, Art. 3, 1992.
- Freeman, Walter J. (1997) „Nonlinear Neurodynamics of Intentionality“, in: *Journal of Mind and Behavior*, Vol. 18, No. 2/3, 1997, pp. 291-304.
- Freeman, Walter J. (2000) „How Brains Make Up Their Minds“, New York: Columbia Univ. Pr., 2000.
- Frege, Gottlob (1879) „Begriffsschrift, eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens“, in: „Begriffsschrift und andere Aufsätze“, hrsg. v. Angelelli, Ignacio, 6. Nachdr. der 2. Aufl. 1964, Hildesheim et al.: Olms, 2007.
- Frege, Gottlob (1884) „Die Grundlagen der Arithmetik. Eine logisch mathematische Untersuchung über den Begriff der Zahl“, Breslau: Koebner, 1884.
- Frege, Gottlob (1918) „Der Gedanke - eine logische Untersuchung“, in: „Logische Untersuchungen“, hrsg. v. Frege, Gottlob, 5. Aufl., Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 2003, S. 35-62.
- Freitag, Mike; Zelm, Martin (2014) „Standardisation Connecting the Initiative 'Industry 4.0' and Service Life Cycle Management“, in: „IWEI 2015 Workshops - New Requirements and Innovative Solutions to Enterprise Interoperability“, ed. by Zelm, Martin, Proceedings of the Workshops of the IWEI 2015 Conference, co-located with the 6th International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability IWEI 2015, Nîmes, France, 2014.
- French, Robert M. (1996) „Subcognition and the Limits of the Turing Test“, in: „Machines and Thought. The Legacy of Alan Turing“, ed. by Millican, Peter J.R.; Clark, Andy, Vol. I, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 11-26.
- French, Steven (2001) „Getting Out of a Hole: Identity, Individuality and Structuralism in Space-time Physics“, in: „The Metaphysics of Science“, ed. by Christiaens, Wim, *Philosophica*, Vol. 67, No. 1, 2001, pp. 11-29.
- French, Steven (2014) „The Structure of the World: Metaphysics and Representation“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 2014.
- French, Steven; Ladyman, James (2003) „Remodelling Structural Realism: Quantum Physics and the Metaphysics of Structure“, in: *Synthese*, Vol. 136, No. 1, 2003, pp. 31-56.
- French, Steven; Saatsi, Juha (2006) „Realism about Structure: The Semantic View and Nonlinguistic Representations“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 73, No. 5, Proceedings, 2006, pp. 548-559.
- Fresco, Nir; Staines, Phillip J. (2014) „A Revised Attack on Computational Ontology“, in: *Minds and Machines*, Vol. 24, No. 1, 2014, pp. 101-122.
- Frigg, Roman (2010) „Models and Fiction“, in: *Synthese*, Vol. 172, 2010, pp. 251-268.
- Frisk, Hjalmar (1954) „Griechisches Etymologisches Wörterbuch“, Heidelberg: Carl Winter Univ.-Verl., 1954.
- Fritz, Kurt von (1945) „The Discovery of Incommensurability by Hippasus of Metapontum“, in: *Annals of Mathematics*, Second Series, Vol. 46, No. 2, 1945, pp. 242-264.
- Froese, Tom; Gallagher, Shaun (2010) „Phenomenology and Artificial Life: Toward a Technological Supplementation of Phenomenological Methodology“, in: *Husserl Studies*, Vol. 26, No. 2, 2010, pp. 83-106.
- Fu, Zetian; Yue, Jun; Li, Zhenbo (2009) „Ontology and Its Application in Supply Chain Information Management“, in: „Supply Chain the Way to Flat Organisation“, ed. by Ponce, Julio; Karahoca, Adem, Rijeka: InTech, 2009, pp. 383-404.
- Fuhrmann, André (1991) „Tropes and Laws“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 63, No. 1, 1991, pp. 57-82.
- Fuller, Steve (2004a) „Descriptive vs Revisionary Social Epistemology: The Former as Seen by the Latter“, in: *Episteme*, Vol. 1, No. 1, 2004, pp. 23-34.

Bibliographie

- Fuller, Steve (2004b) „If Everything Always Is, Why Hasn't There Always Been Ontology?“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 19, No. 1, 2004, pp. 73-74.
- Fürst, Frédéric; Trichet, Francky (2006) „Heavyweight Ontology Engineering“, in: „OTM Workshops 2006“, ed. by Meersman, R. et al., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 38-39.
- Furuichi, Tetsuo; Yamada, Kunihiro (2014) „Next Generation of Embedded System on Cloud Computing“, in: Procedia Computer Science, Vol. 35, 2014, pp. 1605-1614.
- Gabbey, Alan (1993) „Descartes's Physics and Descartes's Mechanics: Chicken and Egg?“, in: „Essays on the Philosophy and Science of René Descartes“, ed. by Voss, Stephen, New York et al.: Oxford Univ. Pr., 1993, pp. 311-323.
- Gabriel, Markus; Högrefe, Wolfram; Speer, Andreas (Hrsg.) (2015) „Das neue Bedürfnis nach Metaphysik / The New Desire for Metaphysics“, Berlin, Boston: De Gruyter, 2015.
- Gahegan, Mark; Luo, Junyan; Weaver, Stephen D.; Pike, William; Banchuen, Tawan (2009) „Connecting GEON: Making Sense of the Myriad Resources, Researchers and Concepts that Comprise a Geoscience Cyberinfrastructure“, in: Computers & Geosciences, Vol. 35, No. 4, 2009, pp. 836-854.
- Gailly, Frederik (2013) „Transforming Enterprise Ontologies into SBVR Formalizations“, 25th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE - 2013), 2013.
- Gailly, Frederik; Casteleyn, Sven; Alkhalidi, Nadejda (2013) „On the Symbiosis between Enterprise Modeling and Ontology Engineering“, in: „Conceptual Modeling“, ed. by Ng, Wilfred et al., 32th Int. Conference, ER 2013, Hong-Kong, China, November 11-13, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 487-494.
- Gailly, Frederik; Geerts, Guido L. (2013) „Ontology-Driven Business Rule Specification“, in: Journal of Information Systems, Vol. 27, No. 1, 2013, pp. 79-104.
- Gailly, Frederik; Geerts, Guido L. (2014) „Business Process Modeling: An Accounting Information Systems Perspective“, in: International Journal of Accounting Information Systems, Vol. 15, No. 3, 2014, pp. 185-192.
- Gailly, Frederik; Laurier, Wim; Poels, Geert (2008) „Positioning and Formalizing the REA Enterprise Ontology“, in: Journal of Information Systems, Vol. 22, No. 2, 2008, pp. 219-248.
- Gailly, Frederik; Poels, Geert (2005) „Development of a Formal REA-ontology Representation“, ed. by Missikoff, Michele; De Nicola, Antonio, EMOI - INTEROP'05, Proceedings of the Open Interop Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability, Co-located with CAiSE'05 Conference, Porto, 13th-14th June, 2005.
- Gailly, Frederik; Poels, Geert (2006) „Towards an Operational REA Ontology Using Web Ontology Languages“, 2006.
- Gailly, Frederik; Poels, Geert (2007a) „Ontology-driven Business Modelling: Improving the Conceptual Representation of the REA Ontology“, in: „Conceptual Modeling - ER 2007“, ed. by Parent, Christine et al., Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 407-422.
- Gailly, Frederik; Poels, Geert (2007b) „Towards Ontology-Driven Information Systems: Redesign and Formalization of the REA Ontology“, in: „Business Information Systems“, ed. by Abramowicz, Witold, 10th International Conference, BIS 2007, Poznan, Poland, April 25-27, 2007 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 245-259.
- Gailly, Frederik; Poels, Geert (2009) „Using the REA Ontology to Create Interoperability between E-Collaboration Modeling Standards“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Van Eck, Pascal et al., 21st International Conference, CAiSE 2009, Amsterdam, The Netherlands, June 8-12, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 395-409.
- Gailly, Frederik; Poels, Geert (2010) „Conceptual Modeling Using Domain Ontologies: Improving the Domain-specific Quality of Conceptual Schemas“, SPLASH '10 Systems Programming Languages and Applications: Software for Humanity, Reno, NV, USA - October 17-21, 2010, Proceedings of the 10th Workshop on Domain-Specific Modeling, 2010.
- Galatescu, Alexandra; Greceanu, Taisia (2004) „Ontologies for Analysis and Improvement of Business Process Quality in a Virtual Enterprise“, in: „EMOI - INTEROP 2004. Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability“, ed. by Missikoff, Michele, Proceedings of the Open InterOp Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability, co-located with CAiSE'04 Conference, Riga (Latvia), 7-8 June, 2004.
- Gallagher, Shaun (2005) „How the Body Shapes the Mind“, Oxford et al.: Clarendon Pr., 2005.
- Gallois, André (1998) „Occasions of Identity. A Study in the Metaphysics of Persistence, Change, and Sameness“, Oxford: Clarendon Pr., 1998.
- Galton, Antony P. (1984) „The Logic of Aspect: An Axiomatic Approach“, Oxford: Clarendon Pr., 1984.

Bibliographie

- Galton, Antony P. (1997) „Space, Time, and Movement“, in: „Spatial and Temporal Reasoning“, ed. by Stock, Oliviero, Dordrecht: Springer, 1997, pp. 321-352.
- Galton, Antony P. (2000a) „Qualitative Spatial Change“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 2000.
- Galton, Antony P. (2000b) „Transitions in Continuous Time, with an application to qualitative changes in spatial relations“, in: „Advances in temporal logic“, ed. by Barringer, Howard et al., Proceedings of the Second International Conference on Temporal Logic, Advances in Temporal Logic, ICTL'97, Dordrecht: Kluwer, 2000, pp. 279-297.
- Galton, Antony P. (2005a) „Dynamic Collectives and Their Collective Dynamics“, in: „Spatial Information Theory“, ed. by Cohn, Anthony G.; Mark, David M., Int. Conference, COSIT 2005, Ellicottville, NY, USA, September 14-18, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 300-315.
- Galton, Antony P. (2005b) „Ontology is not just about Objects: Poorly Individuated Phenomena in Geo-Ontology“, in: Applied Ontology, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 47-52.
- Galton, Antony P. (2006a) „On What Goes On: The Ontology of Processes and Events“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 4-11.
- Galton, Antony P. (2006b) „Processes as Continuants“, ed. by Pustejovsky, J.; Revesz, P., 13th Int. Symposium on Temporal Representation and Reasoning (TIME 2006), IEEE Computer Society, 2006, p. 187.
- Galton, Antony P. (2006c) „On the Process of Coming into Existence“, in: The Monist, Vol. 89, No. 3, 2006, pp. 294-312.
- Galton, Antony P. (2007) „On the Paradoxical Nature of Surfaces: Ontology at the Physics/Geometry Interface“, in: The Monist, Vol. 90, No. 3, 2007, pp. 379-390.
- Galton, Antony P. (2008) „Experience and History: Processes and their Relation to Events“, in: Journal of Logic and Computation, Vol. 18, No. 3, 2008, pp. 323-340.
- Galton, Antony P. (2012) „States, Processes and Events, and the Ontology of Causal Relations“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 279-292.
- Galton, Antony P.; Augusto, Juan Carlos (2002) „Two Approaches to Event Definition“, in: „Database and Expert Systems Applications“, ed. by Hameurlain, Abdelkader et al., 13th International Conference, DEXA 2002 Aix-en-Provence, France, September 2-6, 2002, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 547-556.
- Galton, Antony P.; Hood, James (2005) „Anchoring: A New Approach to Handling Indeterminate Location in GIS“, in: „Spatial Information Theory“, ed. by Cohn, Anthony G.; Mark, David M., Int. Conference, COSIT 2005, Ellicottville, NY, USA, September 14-18, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 1-13.
- Galton, Antony P.; Mizoguchi, Riichiro (2009) „The Water Falls but the Waterfall does not Fall: New Perspectives on Objects, Processes and Events“, in: Applied Ontology, Vol. 4, No. 2, 2009, pp. 71-107.
- Galton, Antony P.; Worboys, Michael (2005) „Processes and Events in Dynamic Geo-Networks“, in: „Geo-Spatial Semantics“, ed. by Rodríguez, M. Andrea et al., First Int. Conference, GeoS 2005, Mexico City/Mexico, November 29-30, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 45-59.
- Galton, Antony P.; Worboys, Michael (2011) „An Ontology of Information for Emergency Management“, ed. by Santos, Maria A. et al., Proceedings of the 8th Int. ISCRAM Conference - Lisbon, Portugal, May, 2011.
- Gama, Kiev; Touseau, Lionel; Donsez, Didier (2012) „Combining Heterogeneous Service Technologies for Building an Internet of Things Middleware“, in: Computer Communications, Vol. 35, No. 4, 2012, pp. 405-417.
- Gandon, Fabien L. (2010) „Ontologies in Computer Science: These New "Software Components" of Our Information Systems“, in: „Ontology Theory, Management and Design: Advanced Tools and Models“, ed. by Gargouri, Faiez; Jaziri, Wassim, Hershey/PA: Information Science Reference, 2010, pp. 1-26.
- Gangemi, Aldo; Borgo, Stefano; Catenacci, Carola; Lehmann, Jos (2004) „Task Taxonomies for Knowledge Content“, METOKIS Deliverable D07, 2004.
- Gangemi, Aldo; Catenacci, Carola; Battaglia, Massimo (2004) „Inflammation Ontology Design Pattern: An Exercise in Building a Core Biomedical Ontology With Descriptions and Situations“, in: „Ontologies in Medicine“, ed. by Pisanelli, Domenico M., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 64-80.
- Gangemi, Aldo; Catenacci, Carola; Ciaramita, Massimiliano; Lehmann, Jos (2005) „A Theoretical Framework for Ontology Evaluation and Validation“, in: „SWAP 2005 - Semantic Web Applications and Perspectives“, ed. by Bouquet, Paolo; Tummarello, Giovanni, Proceedings of the 2nd Italian Semantic Web Workshop, University of Trento, Trento, Italy, 14-15-16 December, 2005.

- Gangemi, Aldo; Fisseha, Frehiwot; Keizer, Johannes; Lehmann, Jos; Liang, Anita; Pettman, Ian et al. (2004) „A Core Ontology of Fishery and its Use in the Fishery Ontology Service Project“, in: „Core Ontologies in Ontology Engineering 2004. (Un)Successful Cases and Best Practices for Ontology Engineering: Re-using Well-founded Ontologies for Domain Content Specification“, ed. by Gangemi, Aldo; Borgo, Stefano, Proceedings of the EKAW*04 Workshop on Core Ontologies in Ontology Engineering, Northamptonshire (UK), October 8, 2004.
- Gangemi, Aldo; Guarino, Nicola; Masolo, Claudio; Oltramari, Alessandro (2001) „Understanding Top-level Ontological Distinctions“, in: Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), Workshop on Ontologies and Information Sharing, Seattle: AAAI Pr., 2001, pp. 26-33.
- Gangemi, Aldo; Guarino, Nicola; Masolo, Claudio; Oltramari, Alessandro (2003) „Sweetening WORDNET with DOLCE“, in: AI Magazine, Vol. 24, No. 3, 2003, pp. 13-24.
- Gangemi, Aldo; Guarino, Nicola; Masolo, Claudio; Oltramari, Alessandro; Schneider, Luc (2002) „Sweetening Ontologies with DOLCE“, in: „Knowledge Engineering and Knowledge Management: Ontologies and the Semantic Web“, ed. by Gómez-Pérez, Asunción; Benjamins, V. Richard, 13th International Conference, EKAW 2002 Sigüenza, Spain, October 1-4, 2002 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 166-181.
- Gangemi, Aldo; Guarino, Nicola; Oltramari, Alessandro (2001) „Conceptual Analysis of Lexical Taxonomies: The Case of WordNet Top-Level“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01), New York: ACM Pr., 2001, pp. 285-296.
- Gangemi, Aldo; Mika, Peter (2003) „Understanding the Semantic Web through Descriptions and Situations“, in: „On The Move to Meaningful Internet Systems 2003: CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., OTM Confederated Int. Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE, 2003, Catania, Sicily, Italy, November 3-7, 2003, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 689-706.
- Gangemi, Aldo; Nuzzolese, Andrea G.; Presutti, Valentina; Draicchio, Francesco; Musetti, Alberto; Ciancarini, Paolo (2012) „Automatic Typing of DBpedia Entities“, in: „The Semantic Web - ISWC 2012“, ed. by Cudré-Mauroux, Philippe et al., 11th International Semantic Web Conference, Boston, MA, USA, November 11-15, 2012, Proceedings, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 65-81.
- Gangemi, Aldo; Pisanelli, Domenico M.; Steve, Geri (1998) „Ontology Integration: Experiences with Medical Terminologies“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Guarino, Nicola, Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), Amsterdam et al.: IOS Pr., 1998, pp. 163-178.
- Gangemi, Aldo; Presutti, Valentina (2006) „The Bourne Identity of a Web Resource“, Architecture and Philosophy of the Web: Identity, Reference, and the Web IRW2006, WWW2006 Workshop, Edinburgh/Scotland May 23rd, 2006.
- Gangemi, Aldo; Sagri, Maria-Teresa; Tiscornia, Daniela (2005) „A Constructive Framework for Legal Ontologies“, in: „Law and the Semantic Web. Legal Ontologies, Methodologies, Legal Information Retrieval, and Applications“, ed. by Benjamins, V. Richard et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 97-124.
- Gannon, Dennis; Plale, Beth; Reed, Daniel A. (2007) „Service Architectures for e-Science Grid Gateways: Opportunities and Challenges“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2007: CoopIS, DOA, ODBASE, GADA, and IS“, ed. by Meersman, Robert; Tari, Zahir, OTM Confederated International Conferences CoopIS, DOA, ODBASE, GADA, and IS 2007, Vilamoura, Portugal, November 25-30, 2007, Proceedings, Part II, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 1179-1185.
- Ganter, Bernhard; Stumme, Gerd (2003) „Creation and Merging of Ontology Top-Levels“, in: „Conceptual Structures for Knowledge Creation and Communication“, ed. by Ganter, Bernhard et al., 11th International Conference on Conceptual Structures, ICCS 2003, Dresden, Germany, July 21-25, 2003, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 131-145.
- Gao, Feng; Ali, Muhammad Intizar; Curry, Edward; Mileo, Alessandra (2017) „Automated Discovery and Integration of Semantic Urban Data Streams: The ACEIS Middleware“, in: Future Generation Computer Systems, Vol. 76, 2017, pp. 561-581.
- Gao, Jean X.; Aziz, Hayder; Maropoulos, Paul G.; Cheung, Wai Ming (2003) „Application of Product Data Management Technologies for Enterprise Integration“, in: International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 16, No. 7-8, 2003, pp. 491-500.
- Gao, Jie; Yao, Yinliang; Zhu, Valerie C.Y.; Sun, Linyan; Lin, Lin (2011) „Service-Oriented Manufacturing: A New Product Pattern and Manufacturing Paradigm“, in: Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 22, No. 3, 2011, pp. 435-446.
- Garanger, Kévin; Feron, Eric; Garoche, Pierre-Loïc; Rimoli, Julian J.; Berrigan, John; Grover, Martha; Hobbs, Kerianne (2017) „Foundations of Intelligent Additive Manufacturing“, Working Paper, V2 (arXiv:1705.00960), 2017.

Bibliographie

- Garbacz, Pawel (2012) „Does Your Ontology Make a (Sense) Difference?“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 177-190.
- Garbacz, Pawel et al. (2009) „Do You Still Want to Vote for Your Favorite Politician? Ask Ontobella!“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Ferrario, Roberta; Oltramari, Alessandro, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2009, pp. 102-113.
- Garbacz, Pawel; Trypuz, Robert (2011) „A Metaontology for Ontological Engineering: A Philosophers' Perspective“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Vermaas, Pieter E.; Dignum, Virginia, Fifth International Workshop 'Formal Ontologies Meet Industry' (FOMI 2011), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2011, pp. 16-27.
- Garcia-Crespo, A. et al. (2011) „Semantic Model for Knowledge Representation in E-Business“, in: Knowledge-Based Systems, Vol. 24, 2011, pp. 282-296.
- Garcia, Alexander; O'Neill, Kieran; Garcia, Leyla Jael; Lord, Phillip; Stevens, Robert; Corcho, Oscar; Gibson, Frank (2010) „Developing Ontologies within Decentralised Settings“, in: „Semantic e-Science“, ed. by Chen, Huajun et al., New York et al.: Springer, 2010, pp. 99-139.
- Gardner, Howard (1983) „Frames of Mind. The Theory of Multiple Intelligences“, New York: Basic Books, 1983.
- Gardner, Martin (1970) „Mathematical Games. The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game 'Life'“, in: Scientific American, Vol. 223, No. 4, 1970, pp. 120-123.
- Gardner, Martin (1971) „Mathematical Games. On Cellular Automata, Self-Reproduction, the Garden of Eden and the Game 'Life'“, in: Scientific American, Vol. 224, No. 2, 1971, pp. 112-117.
- Gare, Arran (1999) „Speculative Metaphysics and the Future of Philosophy: The Contemporary Relevance of Whitehead's Defence of Speculative Metaphysics“, in: Australasian Journal of Philosophy, Vol. 77, No. 2, 1999, pp. 127-145.
- Garnett, A. Campbell (1942) „Scientific Method and the Concept of Emergence“, in: Journal of Philosophy, Vol. 39, No. 18, 1942, pp. 477-486.
- Gartner (2012) „Innovation Insight: The 'Internet of Everything' Innovation Will Transform Business“, Gartner, Inc., published 03 January, 2012.
- Gasevic, Dragan; Devedzic, Vladan (2006) „Petri Net Ontology“, in: Knowledge-Based Systems, Vol. 19, No. 4, 2006, pp. 220-234.
- Gasevic, Dragan; Djuric, Dragan; Devic, Vladan (2009) „Model Driven Engineering and Ontology Development“, 2nd ed., Dordrecht et al.: Springer, 2009.
- Gatius, Marta; Rodriguez, Horacio (1999) „Adapting General Linguistic Knowledge to Applications in Order to Obtain Friendly and Efficient NL Interfaces“, 1999.
- Gattei, Stefano (2008) „Thomas Kuhn's 'Linguistic Turn' and the Legacy of Logical Empiricism“, Aldershot et al.: Ashgate, 2008.
- Gatzju, Stella; Dittrich, Klaus R. (1994a) „Detecting Composite Events in Active Database Systems Using Petri Nets“, in: Active Database Systems, Proceedings Fourth International Workshop on Research Issues in Data Engineering, Houston/TX, USA, 14-15 Feb., 1994, pp. 2-9.
- Gatzju, Stella; Dittrich, Klaus R. (1994b) „Events in an Active Object-Oriented Database System“, in: „Rules in Database Systems“, ed. by Paton, Norman W.; Williams, M. Howard, London: Springer, 1994, pp. 23-39.
- Gavrilescu, Madalin; Magureanu, Gabriela; Pescaru, Dan; Jian, Ionel (2011) „Handling Event-Driven Scenarios in CPS Application Simulations“, in: Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering, Vol. 4, No. 1, 2011, p. 49.
- Gay, Pablo; López, Beatriz; Meléndez, Joaquim (2011) „Sequential Learning for Case-based Pattern Recognition in Complex Event Domains“, in: „UKCBR 2011. Sixteenth UK Workshop on Case-Based Reasoning“, ed. by Petridis, Miltos et al., Proceedings of the Sixteenth UK Workshop on Case-Based Reasoning, Cambridge/UK, Dec. 13, 2011.
- Ge, Qi; Dunn, Conner K.; Qi, H. Jerry; Dunn, Martin L. (2014) „Active Origami by 4D Printing“, in: Smart Materials and Structures, Vol. 23, No. 9, Art. 094007, 2014.
- Ge, Qi; Qi, H. Jerry; Dunn, Martin L. (2013) „Active Materials by Four-Dimension Printing“, in: Applied Physics Letters, Vol. 103, No. 13, 131901, 2013.
- Ge, Qi; Sakhaii, Amir Hosein; Lee, Howon; Dunn, Conner K.; Fang, Nicholas X.; Dunn, Martin L. (2016) „Multimaterial 4D Printing with Tailorable Shape Memory Polymers“, in: Scientific Reports, Vol. 6, Art. 31110, 2016.

Bibliographie

- Geach, Peter T. (1965) „Some Problems about Time“, in: Proceedings of the British Academy, Vol. 51, 1965, pp. 321-336.
- Geerts, Guido L. (2004) „An XML Architecture for Operational Enterprise Ontologies“, in: Journal of Emerging Technologies in Accounting, Vol. 1, No. 1, 2004, pp. 73-90.
- Geerts, Guido L. (2006) „The Timeless Way of Building REA Enterprise Systems“, in: „Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems“, ed. by Tjoa, A. Min et al., IFIP TC 8 International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems (CONFENIS 2006) April 24-26, 2006, Vienna, Austria, Boston: Springer, 2006, pp. 359-360.
- Geerts, Guido L. (2008) „Introduction to the REA 25th Anniversary Special Section“, in: Journal of Information Systems, Vol. 22, No. 2, 2008, pp. 215-217.
- Geerts, Guido L. (2016) „Special Section on Enterprise Ontologies“, in: Journal of Information Systems, Vol. 30, No. 2, 2016, pp. 1-3.
- Geerts, Guido L.; McCarthy, William E. (1992) „The Extended Use of Intensional Reasoning and Epistemologically Adequate Representations in Knowledge-Based Accounting Systems“, Twelfth International Conference Artificial Intelligence, Expert Systems, Natural Language, Avignon, France - June 1-6, 1992, Vol. 1, 1992, pp. 321-332.
- Geerts, Guido L.; McCarthy, William E. (1997b) „Use of an Accounting Object Infrastructure for Knowledge-Based Enterprise Models“, AAAI Technical Report SS-97-06, 1997, pp. 41-49.
- Geerts, Guido L.; McCarthy, William E. (1999) „An Accounting Object Infrastructure for Knowledge-Based Enterprise Models“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 14, No. 4, 1999, pp. 89-94.
- Geerts, Guido L.; McCarthy, William E. (2000) „The Ontological Foundation of REA Enterprise Information Systems“, Working Paper, Michigan State Univ., 2000.
- Geerts, Guido L.; McCarthy, William E. (2001) „Using Object Templates From The REA Accounting Model To Engineer Business Processes And Tasks“, in: Review of Business Information Systems, Vol. 5, No. 4, 2001, pp. 89-108.
- Geerts, Guido L.; McCarthy, William E. (2002) „An Ontological Analysis of the Economic Primitives of the Extended-REA Enterprise Information Architecture“, in: International Journal of Accounting Information Systems, Vol. 3, No. 1, 2002, pp. 1-16.
- Geerts, Guido L.; McCarthy, William E. (2005) „The Ontological Foundation of REA Enterprise Information Systems“, Abbreviated Vers., updated, 2005.
- Geerts, Guido L.; McCarthy, William E. (2006) „Policy-Level Specifications in REA Enterprise Information Systems“, in: Journal of Information Systems, Vol. 20, No. 2, 2006, pp. 37-63.
- Geerts, Guido L.; Wang, Harry Jiannan (2007) „The Timeless Way of Building REA Enterprise Systems“, in: Journal of Emerging Technologies in Accounting, Vol. 4, No. 1, 2007, pp. 161-182.
- Gegusch, René; Gestrich, Klaus; Seliger, Günther (2010) „Software Agents for Automated Knowledge Generation in IPS²“, ed. by Sakao, Tomohiko et al., CIRP IPS² Conference, Linköping, 14-15 April, 2010, pp. 387-391.
- Gehani, Narain H.; Jagadish, Hosagrahar V.; Shmueli, Oded (1992) „Composite Event Specification in Active Databases: Model & Implementation“, Proceedings of the 18th VLDB Conference, Vancouver/British Columbia, Canada, 1992, pp. 327-338.
- Gehlert, Andreas; Pfeiffer, Daniel (2007) „Utilizing Theories to Reduce the Subjectivity of Method Engineering Processes“, in: „Situational Method Engineering: Fundamentals and Experiences“, ed. by Ralyté, Jolita et al., IFIP WG 8.1 Working Conference, Poster Proceedings, September 12-14, 2007, Geneva, Switzerland, 2007, pp. 30-43.
- Gehlert, Andreas; Pfeiffer, Daniel; Becker, Jörg (2007) „The BWV-Model as Method Engineering Theory“, in: Proceedings of the 13th Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2007), 2007.
- Geisberger, Eva; Broy, Manfred (Hrsg.) (2012) „agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems“, Berlin et al.: Springer, 2012.
- Geldsetzer, Lutz (1987) „Logik“, Aalen: Scientia-Verl., 1987.
- Gell-Mann, Murray (1988) „The Concept of the Institute“, in: „Emerging Syntheses in Science. Proceedings of the Founding Workshops of the Santa Fe Institute, 1984“, ed. by Pines, David, (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings, Vol. 1), Redwood City/Cal.: Addison-Wesley, 1988, pp. 1-15.
- Gell-Mann, Murray (1992) „Complexity and Complex Adaptive Systems“, in: „The Evolution of Human Languages“, ed. by Hawkins, John A.; Gell-Mann, Murray, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proc. Vol. XI, Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1992, pp. 3-18.

Bibliographie

- Gell-Mann, Murray (1992b) „Nature Conformable to Herself“, in: Bulletin of the Santa Fe Institute, Vol. 7, No. 1, 1992, pp. 7-10.
- Gell-Mann, Murray (1994) „The Quark and the Jaguar. Adventures in the Simple and the Complex“, New York: Freeman, 1994.
- Gell-Mann, Murray (1995a) „Complex Adaptive Systems“, in: „The Mind, The Brain, and Complex Adaptive Systems“, ed. by Morowitz, Harold J.; Singer, Jerome L., Reading/Mass. et al.: Addison-Wesley, 1995, pp. 11-23.
- Gell-Mann, Murray (1995b) „What is Complexity?“, in: Complexity, Vol. 1, No. 1, 1995, pp. 16-19.
- Gell-Mann, Murray (1997) „Fundamental Sources of Unpredictability“, in: Complexity, Vol. 3, No. 1, 1997, pp. 9-13.
- Gell-Mann, Murray (2002) „What Is Complexity?“, in: „Complexity and Industrial Clusters. Dynamics and Models in Theory and Practice“, ed. by Quadrio Curzio, Alberto; Fortis, Marco, Heidelberg, New York: Physica, 2002, pp. 13-24.
- Gell-Mann, Murray; Lloyd, Seth (1996) „Information Measures, Effective Complexity, and Total Information“, in: Complexity, Vol. 2, No. 1, 1996, pp. 44-52.
- Gell-Mann, Murray; Lloyd, Seth (2003) „Effective Complexity“, in: „Nonextensive Entropy. Interdisciplinary Applications“, ed. by Gell-Mann, Murray; Tsallis, Constantino, Oxford University Pr., 2003, pp. 387-398.
- Geller, James; Perl, Yehoshua; Lee, Jintae (2004) „Editorial: Ontology Challenges: A Thumbnail Historical Perspective“, in: Knowledge and Information Systems, Vol. 6, No. 4, 2004, pp. 375-379.
- Gemino, Andrew; Wand, Yair (2005) „Complexity and Clarity in Conceptual Modeling: Comparison of Mandatory and Optional Properties“, in: Data & Knowledge Engineering, Vol. 55, No. 3, 2005, pp. 301-326.
- Genesereth, Michael R.; Fikes, Richard E. (1992) „Knowledge Interchange Format, Version 3.0 Reference Manual“, Technical Report Logic-92-1, Computer Science Department, Stanford Univ., 1992.
- Genesereth, Michael R.; Ketchpel, Steven P. (1994) „Software Agents“, in: Communications of the ACM, Vol. 37, No. 7, 1994, pp. 48-53, 147.
- Genesereth, Michael R.; Nilsson, Nils J. (1987) „Logical Foundations of Artificial Intelligence“, Repr., Palo Alto/CA: Morgan Kaufmann, 1988.
- Gennari, John H. et al. (2003) „The Evolution of Protégé: An Environment for Knowledge-based Systems Development“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 58, No. 1, 2003, pp. 89-123.
- Gentry, George (1946) „Eternal Objects and the Philosophy of Organism“, in: Philosophy of Science, Vol. 13, No. 3, 1946, pp. 252-260.
- Georgakopoulos, Dimitrios; Papazoglou, Michael P. (eds.) (2009) „Service-Oriented Computing“, Cambridge/MA, London: MIT Pr., 2009.
- Gerber, Auroa; Kotzé, Paula; Van der Merwe, Alta (2010) „Towards the Formalisation of the TOGAF Content Metamodel Using Ontologies“, 2010.
- Gerber, Christian; Siekmann, Jörg H.; Vierke, Gero (1999) „Flexible Autonomy in Holonic Agent Systems“, AAAI Technical Report SS-99-06, 1999, pp. 52-58.
- Gerhard, Detlef (2013) „The Role of Semantic Technologies in Future PLM“, in: „Integration of Practice-Oriented Knowledge Technology: Trends and Perspectives“, ed. by Fathi, Madjid, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 157-169.
- Gerhardt, Martin; Schuster, Heike (1995) „Das digitale Universum. Zelluläre Automaten als Modelle der Natur“, Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1995.
- Germani, Michele; Mengoni, Maura; Peruzzini, Margherita (2010) „A Method to Define a Co-Design Platform to Support Cooperative Work in SMEs“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 335-345.
- Gero, John S.; Kannengiesser, Udo (2004) „The Situated Function-Behaviour-Structure Framework“, in: Design Studies, Vol. 25, No. 4, 2004, pp. 373-391.
- Gerritsen, Bart; Gielingh, Wim; Dankwort, Werner; Anderl, Reiner (2011) „Frameworks and Technologies for Exchanging and Sharing Product Life Cycle Knowledge“, in: Computer-Aided Design, Vol. 43, No. 5, 2011, pp. 459-463.
- Gershensfeld, Neil A. (1999a) „When Things Start to Think“, New York/NY: Holt, 1999.
- Gershensfeld, Neil A. (1999b) „The Nature of Mathematical Modeling“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1999.

Bibliographie

- Gershenfeld, Neil A. (2000a) „Everything, the Universe, and Life“, in: IBM Systems Journal, Vol. 39, No. 3-4, 2000, pp. 932-934.
- Gershenfeld, Neil A. (2000b) „The Physics of Information Technology“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2000.
- Gershenfeld, Neil A. (2005) „Fab: The Coming Revolution on Your Desktop-From Personal Computers to Personal Fabrication“, New York/NY: Basic Books, 2005.
- Gershenfeld, Neil A.; Dalrymple, David; Chen, Kailiang; Knaian, Ara; Green, Forrest; Demaine, Erik D. et al. (2010) „Reconfigurable Asynchronous Logic Automata (RALA)“, Proceedings of the 37th Annual ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages (POPL '10), Madrid/Spain, January 17-23, 2010, pp. 1-6.
- Gershenfeld, Neil A.; Krikorian, Raffi; Cohen, Danny (2004) „The Internet of Things“, in: Scientific American, No. 291, 2004, pp. 76-81.
- Gershenfeld, Neil A.; Vasseur, Jean-Philippe (2014) „As Objects Go Online. The Promise (and Pitfalls) of the Internet of Things“, in: Foreign Affairs, Vol. 93, No. 2, 2014, pp. 60-67.
- Gettier, Edmund L. (1963) „Is Justified True Belief Knowledge?“, in: Analysis, Vol. 23, No. 6, 1963, pp. 121-123.
- Geyer, Sebastian; Baltzer, Marcel; Franz, Benjamin; Hakuli, Stephan; Kauer, Michaela; Kienle, Martin et al. (2014) „Concept and Development of a Unified Ontology for Generating Test and Use-Case Catalogues for Assisted and Automated Vehicle Guidance“, in: IET Intelligent Transport Systems, Vol. 8, No. 3, 2014, pp. 183-189.
- Ghari Neiat, Azadeh; Bouguettaya, Athman; Sellis, Timos (2015) „Spatio-Temporal Composition of Crowdsourced Services“, in: „Service-Oriented Computing“, ed. by Barros, Alistair et al., 13th International Conference, ICSOC 2015, Goa, India, November 16-19, 2015, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2015, pp. 373-382.
- Ghi, Alessandra; Rossetti, Francesca (2016) „4D Printing: An Emerging Technology in Manufacturing?“, in: „Digitally Supported Innovation. A Multi-Disciplinary View on Enterprise, Public Sector and User Innovation“, ed. by Caporarello, Leonardo et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 171-178.
- Ghidini, Chiara; Hasan, Md. Kamrul; Rospocher, Marco; Serafini, Luciano (2009) „A Proposal of Merging Axioms between BPMN and DOLCE Ontologies“, Technical Report, FBK-irst, Trento, 2009.
- Ghidini, Chiara; Serafini, Luciano; Tessaris, Sergio (2008) „Complexity of Reasoning with Expressive Ontology Mappings“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüniger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 151-163.
- Ghosh, Rahul; Ghose, Aditya; Hegde, Aditya; Mukherjee, Tridib; Mos, Adrian (2016) „QoS-Driven Management of Business Process Variants in Cloud Based Execution Environments“, in: „Service-Oriented Computing“, ed. by Sheng, Quan Z. et al., 14th International Conference, ICSOC 2016, Banff, AB, Canada, October 10-13, 2016, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 55-69.
- Gibbs, Raymond W. (2005) „Embodiment and Cognitive Science“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2005.
- Gibson, Daniel G. et al. (2008) „Complete Chemical Synthesis, Assembly, and Cloning of a Mycoplasma genitalium Genome“, in: Science (America), Vol. 319, No. 5867, 2008, pp. 1215-1220.
- Gibson, James J. (1966) „The Senses Considered as Perceptual Systems“, Boston/Mass.: Houghton Mifflin, 1966.
- Gibson, James J. (1979) „The Ecological Approach to Visual Perception“, Boston/Mass.: Houghton Mifflin, 1979.
- Gibson, Roger F. (1995) „Quine, Willard Van Orman“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 426-428.
- Gielingh, W.F. et al. (1991) „An Open Architecture for Information Integration of CIM Modules“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeingts, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 739-748.
- Giere, Ronald N. (1985) „Philosophy of Science Naturalized“, in: Philosophy of Science, Vol. 52, No. 3, 1985, pp. 331-356.
- Gil, Yolanda; Greaves, Mark; Hendler, James A.; Hirsh, Haym (2014) „Amplify Scientific Discovery with Artificial Intelligence“, in: Science (America), Vol. 346, No. 6206, 2014, pp. 171-172.

Bibliographie

- Gilbert, Nigel; Conte, Rosaria (eds.) (1995) „Artificial Societies. The Computer Simulation of Social Life“, London: UCL Pr., 1995.
- Gilchrist, Alasdair (2016) „Industry 4.0: The Industrial Internet of Things“, Berkeley/CA: Apress, 2016.
- Gill, Kathleen (1993) „On the Metaphysical Distinction between Processes and Events“, in: Canadian Journal of Philosophy, Vol. 23, No. 3, 1993, pp. 365-384.
- Gill, Mary Louise (2003) „Aristotle's Distinction between Change and Activity“, in: „Process Theories. Crossdisciplinary Studies in Dynamic Categories“, ed. by Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Kluwer, 2003, pp. 3-22.
- Gilpin, Kyle; Knaian, Ara; Rus, Daniela (2010) „Robot Pebbles: One Centimeter Modules for Programmable Matter through Self-Disassembly“, 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 3-8, 2010, Anchorage/Alaska, 2010, pp. 2485-2492.
- Gilpin, Kyle; Rus, Daniela (2010) „Modular Robot Systems“, in: IEEE Robotics & Automation Magazine, Vol. 17, No. 3, 2010, pp. 38-55.
- Gimmler, Antje; Sandbothe, Mike; Zimmerli, Walther Ch. (1997) „Die Wiederentdeckung der Zeit“, Darmstadt: Primus-Verl., 1997.
- Ginsberg, Allen (2006) „The Big Schema of Things: Two Philosophical Visions of The Relationship Between Language and Reality and Their Implications for The Semantic Web“, Architecture and Philosophy of the Web: Identity, Reference, and the Web IRW2006, WWW2006 Workshop, Edinburgh/Scotland May 23rd, 2006.
- Giret, Adriana; Botti, Vicente (2004) „Holons and Agents“, in: Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 15, No. 5, 2004, pp. 645-659.
- Giret, Adriana; Botti, Vicente (2015) „ANEMONA-S + Thomas: A Framework for Developing Service-Oriented Intelligent Manufacturing Systems“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2015, pp. 61-69.
- Giret, Adriana; Botti, Vicente; Valero, Soledad (2005) „MAS Methodology for HMS“, in: „Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing“, ed. by Marík, Vladimír et al., Second International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2005, Copenhagen, Denmark, August 22-24, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 39-49.
- Giret, Adriana; Salido, Miguel A. (2013) „Extending ANEMONA with NDT Phases“, in: Procedia CIRP, Vol. 11, 2013, pp. 120-123.
- Giret, Adriana; Trentesaux, Damien (2016) „Artefacts and Guidelines for Designing Sustainable Manufacturing Systems“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 93-101.
- Giunchiglia, Fausto; Bouquet, Paolo (1998) „A Context-Based Framework for Mental Representation“, Istituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica (IRST), Trento, Italy, Technical Report 9807-02, July, 1998.
- Gladman, A. Sydney; Matsumoto, Elisabetta A.; Nuzzo, Ralph G.; Mahadevan, L.; Lewis, Jennifer A. (2016) „Biomimetic 4D Printing“, in: Nature Materials, Vol. 15, 2016, pp. 413-418.
- Glandsdorff, Paul; Prigogine, Ilya (1971) „Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations“, London et al.: Wiley, 1971.
- Glaserfeld, Ernst von (1985) „Einführung in den radikalen Konstruktivismus“, in: „Die erfundene Wirklichkeit“, hrsg. v. Watzlawick, Paul, 2. Aufl., München, Zürich: Piper, 1985, S. 16-38.
- Glaserfeld, Ernst von (1987a) „Siegener Gespräche über Radikalen Konstruktivismus“, in: „Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus“, hrsg. v. Schmidt, Siegfried J., 1. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1987, S. 401-440.
- Glaserfeld, Ernst von (1987b) „Wissen, Sprache und Wirklichkeit. Arbeiten zum radikalen Konstruktivismus“, Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1987.
- Glaserfeld, Ernst von (1990) „Teleology and the Concepts of Causation“, in: Philosophica, Vol. 46, No. 2, 1990, pp. 17-43.
- Glaserfeld, Ernst von (1991) „Knowing without Metaphysics: Aspects of the Radical Constructivist Position“, in: „Research and Reflexivity“, ed. by Steier, Frederick, London et al.: Sage, 1991, pp. 12-29.
- Glaserfeld, Ernst von (1992) „Aspekte des Konstruktivismus: Vico, Berkeley, Piaget“, in: „Konstruktivismus: Geschichte und Anwendung“, hrsg. v. Rusch, Gebhard; Schmidt, Siegfried J., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1992, S. 20-33.
- Glass, John I. et al. (2006) „Essential Genes of a Minimal Bacterium“, in: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), Vol. 103, No. 2, 2006, pp. 425-430.

Bibliographie

- Gliozzo, Alfio; Biran, Or; Patwardhan, Siddharth; McKeown, Kathleen (2013) „Semantic Technologies in IBM Watson“, Proceedings of the Fourth Workshop on Teaching Natural Language Processing, Sofia, Bulgaria, August 4-9, 2013, pp. 85-92.
- Glock, Hans-Johann (2003) „Quine and Davidson on Language, Thought and Reality“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2003.
- Gluhak, Alexander; Bauer, Martin; Montagut, Frederic; Stirbu, Vlad; Johansson, Mattias et al. (2009) „Towards an Architecture for a Real World Internet“, in: „Towards the Future Internet. A European Research Perspective“, ed. by Tselentis, Georgios et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2009, pp. 313-324.
- Glushko, Robert J. (2008) „Designing a Service Science Discipline with Discipline“, in: IBM Systems Journal, Vol. 47, No. 1, 2008, pp. 15-27.
- Glymour, Clark (1987) „Android Epistemology and the Frame Problem: Comments on Dennett's 'Cognitive Wheels'“, in: „The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1987, pp. 65-75.
- Glymour, Clark (1988) „AI is Philosophy“, in: „Aspects of Artificial Intelligence“, ed. by Fetzer, James H., Dordrecht et al.: Kluwer, 1988, pp. 195-207.
- Glymour, Clark (2000) „Android Epistemology for Babies: Reflections on Words, Thoughts and Theories“, in: Synthese, Vol. 122, 2000, pp. 53-68.
- Glymour, Clark; Ford, Kenneth M.; Hayes, Patrick J. (2000) „The Prehistory of Android Epistemology“, in: „Artificial Intelligence. Critical Concepts“, ed. by Chrisley, Ronald, Vol. 1, London: Routledge, 2000, pp. 113-132.
- Gnoli, Claudio; Poli, Roberto (2004) „Levels of Reality and Levels of Representation“, in: Knowledge Organization, Vol. 31, No. 3, 2004, pp. 151-160.
- Goclenius, Rudolph (1613) „Lexicon Philosophicum: Qvo Tanquam Clave Philosophiae Fores Aperivntvr“, Francofurti: Becker, 1613.
- Gödel, Kurt (1951) „Some Basic Theorems on the Foundations of Mathematics and their Implications“, in: „Kurt Gödel, Collected Works, Vol. 3: Unpublished Essays and Lectures“, ed. by Feferman, Solomon, New York et al.: Oxford Univ. Pr., 1995, pp. 304-323.
- Godfrey-Smith, Peter (1994) „Spencer and Dewey on Life and Mind“, in: „Artificial Life IV. Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Brooks, Rodney A.; Maes, Pattie, 3rd Pr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1996, pp. 80-89.
- Godsey, R. Kirby (1975) „Relation and Substance in Whitehead's Metaphysics“, in: „Studies in Process Philosophy II“, ed. by Whittemore, Robert C., The Hague: Martinus Nijhoff, 1975, pp. 12-22.
- Goedertier, Stijn; Mues, Christophe; Vanthienen, Jan (2007) „Specifying Process-Aware Access Control Rules in SBVR“, in: „Advances in Rule Interchange and Applications“, ed. by Paschke, Adrian; Biletskiy, Yevgen, International Symposium, RuleML 2007, Orlando, Florida, October 25-26, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 39-52.
- Goedkoop, Mark J.; Van Halen, Cees J.G.; Te Riele, Harry R.M.; Rommens, Peter J.M. (1999) „Product Service Systems: Ecological and Economic Basics“, The Hague, 1999.
- Goerner, Sally J. (1994) „The Physics of Evolution: From Chaos to Evolution and Deep Ecology“, in: World Futures, Vol. 42, Nos. 3/4, 1994, pp. 193-214.
- Gogolla, Martin (2011) „UML and OCL in Conceptual Modeling“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 85-122.
- Goikoetxea, Ambrose (2007) „Enterprise Architectures and Digital Administration“, Singapore: World Scientific, 2007.
- Goldin, Dina; Wegner, Peter (2006) „Principles of Interactive Computation“, in: „Interactive Computation: The New Paradigm“, ed. by Goldin, Dina et al., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 25-37.
- Goldman, Alvin I. (1987) „Cognitive Science and Metaphysics“, in: Journal of Philosophy, Vol. 84, No. 10, 1987, pp. 537-544.
- Goldman, Alvin I. (2007) „A Program for 'Naturalizing' Metaphysics, with Application to the Ontology of Events“, in: The Monist, Vol. 90, No. 3, 2007, pp. 457-479.
- Goldstein, Jeffrey (1999) „Emergence as a Construct: History and Issues“, in: Emergence, Vol. 1, No. 1, 1999, pp. 49-72.
- Goldstein, Raymond E. (1997) „Nonlinear Dynamics of Pattern Formation in Physics and Biology“, in: „Pattern Formation in the Physical and Biological Sciences“, ed. by Nijhout, H. Fred; Nadel, Lynn; Stein, Daniel L., Addison-Wesley, 1997.

Bibliographie

- Goldstein, Seth C.; Campbell, Jason D.; Mowry, Todd C. (2005) „Programmable Matter“, in: IEEE Computer, Vol. 38, No. 6, 2005, pp. 99-101.
- Goldstein, Seth C.; Mowry, Todd C. (2004a) „Claytronics: A Scalable Basis For Future Robots“, RoboSphere 2004, Nov., 2004, pp. 1-6.
- Goldstein, Seth C.; Mowry, Todd C. (2004b) „Claytronics: An Instance of Programmable Matter“, Wild and Crazy Ideas Session of ASPLOS, Oct., 2004, p. 1.
- Golpayegani, Fatemeh (2015) „Multi-Agent Collaboration in Distributed Self-Adaptive Systems“, IEEE International Self-Adaptive and Self-Organizing Systems Workshops (SASOW), Cambridge/Mass., 21-25 Sept., 2015, pp. 146-151.
- Gomes, Jonas; Velho, Luiz (1995) „Abstraction Paradigms for Computer Graphics“, in: The Visual Computer, Vol. 11, No. 5, 1995, pp. 227-239.
- Gómez-Pérez, Asunción (2001) „Evaluation of Ontologies“, in: International Journal of Intelligent Systems, Vol. 16, No. 3, 2001, pp. 391-409.
- Gómez-Pérez, Asunción (2004) „Ontology Evaluation“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Stefan; Studer, Rudi, 1st ed., Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 251-273.
- Gómez-Pérez, Asunción; Benjamins, V. Richard (1999) „Applications of Ontologies and Problem-Solving Methods“, in: AI Magazine, Vol. 20, No. 1, 1999, pp. 119-122.
- Gómez-Pérez, Asunción; Fernández-López, Mariano; Corcho, Oscar (2004) „Ontological Engineering“, London et al.: Springer, 2004.
- Gómez, Martínez; Baxter, David; Roy, Rajkumar; Kalta, Mohamad (2009) „Through-Life Integration Using PLM“, in: Proceedings of the 19th CIRP Design Conference - Competitive Design, Cranfield University, 30-31 March, 2009, pp. 155-162.
- Gonzalez, Pavel; Griesmayer, Andreas; Lomuscio, Alessio R. (2014) „Model Checking GSM-Based Multi-Agent Systems“, in: „Service-Oriented Computing - ICSOC 2013 Workshops“, ed. by Lomuscio, Alessio R. et al., CCSA, CSB, PASCEB, SWESE, WESOA, and PhD Symposium, Berlin, Germany, December 2-5, 2013, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 54-68.
- Good, Irving John (1965) „Speculations Concerning the First Ultraintelligent Machine“, in: „Advances in Computers, Vol. 6“, ed. by Alt, Franz L.; Rubinoff, Morris, New York: Academic Pr., 1965, pp. 31-88.
- Good, Irving John (1968) „Corroboration, Explanation, Evolving Probability, Simplicity and a Sharpened Razor“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 19, No. 2, 1968, pp. 123-143.
- Good, Irving John (1974) „A Correction Concerning Complexity“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 25, No. 3, 1974, p. 289.
- Goodman, Nelson (1943) „On the Simplicity of Ideas“, in: Journal of Symbolic Logic, Vol. 8, No. 4, 1943, pp. 107-121.
- Goodman, Nelson (1950) „An Improvement in the Theory of Simplicity“, in: Journal of Symbolic Logic, Vol. 14, No. 4, 1950, pp. 228-229.
- Goodman, Nelson (1951) „The Structure of Appearance“, 3rd ed., Dordrecht: Reidel, 1977.
- Goodman, Nelson (1955) „Fact, Fiction and Forecast“, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1955.
- Goodman, Nelson (1959) „Recent Developments in the Theory of Simplicity“, in: Philosophy and Phenomenological Research, Vol. 19, No. 4, 1959, pp. 429-446.
- Goodman, Nelson (1982) „Notes on the Well-Made World“, in: „Language and Ontology“, ed. by Leinfellner, Werner, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky, 1982, pp. 31-36.
- Goodwin, Brian C. (1978) „A Cognitive View of Biological Process“, in: Journal of Social and Biological Structures, Vol. 1, No. 2, 1978, pp. 117-125.
- Goodwin, Brian C. (1990) „Structuralism in Biology“, in: Science Progress, Vol. 74, No. 2, 1990, pp. 227-243.
- Goodwin, Brian C. (1993) „Development as a Robust Natural Process“, in: „Thinking About Biology. An Invitation to Current Theoretical Biology“, ed. by Stein, Wilfred D.; Varela, Francisco J., Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Redwood City/Calif.: Addison-Wesley, 1993, pp. 123-148.
- Goodwin, Brian C. (1994a) „Developmental Complexity and Evolutionary Order“, in: „Complexity. Metaphors, Models, and Reality“, ed. by Cowan, George A.; Pines, David; Meltzer, David, Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Vol. 19, Reading/Mass.: Perseus Books, 1994, pp. 205-222.
- Goodwin, Brian C. (1994b) „How the Leopard Changed Its Spots. The Evolution of Complexity“, New York et al.: Scribner, 1994.

Bibliographie

- Goodwin, Brian C. (1995) „Emergent Form: Evolving Beyond Darwinism“, in: *Complexity*, Vol. 1, No. 5, 1995, pp. 11-15.
- Goossenaerts, Jan B.M. (2005) „Architecting an Ubiquitous & Model Driven Information Infrastructure“, in: „Knowledge and Skill Chains in Engineering and Manufacturing“, ed. by Arai, Eiji et al., Fifth International Working Conference of Information Infrastructure Systems for Manufacturing 2002 (DIIDM2002), November 18-20, 2002, Osaka/Japan, New York/NY: Springer, 2005, pp. 23-30.
- Goossenaerts, Jan B.M.; Pelletier, Christine (2002) „Ontological Commitment for Participative Simulation“, in: „Conceptual Modeling for New Information Systems Technologies“, ed. by Arisawa, Hiroshi et al., ER 2001 Workshops HUMACS, DASWIS, ECOMO, and DAMA Yokohama, Japan, November 27-30, 2001 Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 127-140.
- Gordijn, Jaap (2002) „Value-based Requirements Engineering. Exploring Innovative e-Commerce Ideas“, Doctoral Diss., Vrije Univ. Amsterdam, 2002.
- Gordijn, Jaap (2004) „E-Business Value Modelling Using the e3-value ontology“, in: „Value Creation from E-Business Models“, ed. by Currie, Wendy L., Oxford et al.: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004, pp. 98-127.
- Gordijn, Jaap; Akkermans, Hans (2001) „Designing and Evaluating E-Business Models“, in: *IEEE Intelligent Systems*, July/August, 2001, pp. 11-17.
- Gordijn, Jaap; Akkermans, Hans (2003a) „Does e-Business Modeling Really Help?“, 36th Hawaii International Conference On System Sciences, Hawaii, 2003.
- Gordijn, Jaap; Akkermans, Hans (2003b) „Value-based Requirements Engineering: Exploring Innovative E-Commerce Ideas“, in: *Requirements Engineering*, Vol. 8, No. 2, 2003, pp. 114-134.
- Gordijn, Jaap; Akkermans, Hans; Van Vliet, Hans (2000) „Business Modelling is not Process Modelling“, in: „Conceptual Modeling for E-Business and the Web“, ed. by Liddle, Stephen W. et al., ER 2000 Workshops on Conceptual Modeling Approaches for E-Business and The World Wide Web and Conceptual Modeling, Salt Lake City, Utah, USA, October 9-12, 2000, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2000, pp. 40-51.
- Gordijn, Jaap; De Kinderen, Sybren; Pijpers, Vincent; Akkermans, Hans (2009) „e-Services in a Networked World: From Semantics to Pragmatics“, in: „Future Internet - FIS 2008“, ed. by Domingue, John et al., First Future Internet Symposium, FIS 2008 Vienna, Austria, September 29-30, 2008, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 44-57.
- Gordon, Thomas F. (2010) „An Overview of the Legal Knowledge Interchange Format“, in: „Business Information Systems Workshops“, ed. by Abramowicz, Witold et al., BIS 2010 International Workshops, Berlin, Germany, May 3-5, 2010, Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 240-242.
- Gorelik, George (1975) „Principal Ideas of Bogdanov's 'Tektology': The Universal Science of Organization“, in: *General Systems. Yearbook of the Society for the Advancement of General Systems Theory*, Vol. 20, 1975, pp. 3-13.
- Görnitz, Thomas; Graudenz, Dirk; Weizsäcker, C. Friedrich von (1992) „Quantum Field Theory of Binary Alternatives“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 31, No. 11, 1992, pp. 1929-1959.
- Gorodetsky, Vladimir; Karsaev, Oleg; Samoilov, Vladimir (2005) „Multi-Agent Data and Information Fusion. Architecture, Methodology, Technology and Software Tool“, in: „Data Fusion for Situation Monitoring, Incident Detection, Alert and Response Management“, ed. by Shahbazian, Elisa et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2005, pp. 308-339.
- Gorski, Peter Leo; Lo Iacono, Luigi; Nguyen, Hoai Viet (2015) „WebSockets: Moderne HTML5-Echtzeitanwendungen entwickeln“, München: Hanser, 2015.
- Gotshalk, Dilman Walter (1942) „Causality and Emergence“, in: *Philosophical Review*, Vol. 51, No. 4, 1942, pp. 397-405.
- Gould, Stephen J.; Lewontin, Richard C. (1979) „The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme“, in: *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, Vol. 205, No. 1161, 1979, pp. 581-598.
- Goumopoulos, Christos; Kameas, Achilles (2010) „An Ontology-Driven Approach and a Context Management Framework for Ubiquitous Computing Applications“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 463-485.
- Govindasamy, Vaiyapuri; Thambidurai, Perumal (2013) „RFID Probabilistic Complex Event Processing in a Real-Time Product Manufacturing System“, in: *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, Vol. 2, No. 10, 2013, pp. 139-144.

Bibliographie

- Grabar, Natalia; Hamon, Thierry; Bodenreider, Olivier (2012) „Ontologies and Terminologies: Continuum or Dichotomy?“, in: *Applied Ontology*, Vol. 7, No. 4, 2012, pp. 375-386.
- Grabowski, H.; Schellhammer, W. (1991) „Planning the Provision of Production Resources with an Integrated Product Model“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeings, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 209-216.
- Gracia, Jorge J.E. (1988) „Individuality. An Essay on the Foundations of Metaphysics“, Albany: State Univ. of New York Pr., 1988.
- Gracia, Jorge J.E. (1999) „Metaphysics and Its Task: The Search for the Categorical Foundation of Knowledge“, Albany/NY: State Univ. of New York Pr., 1999.
- Graham, Daniel W. (1980) „States and Performances: Aristotle's Test“, in: *Philosophical Quarterly*, Vol. 30, No. 119, 1980, pp. 117-130.
- Grambow, Gregor; Oberhauser, Roy; Reichert, Manfred (2012) „Event-Driven Exception Handling for Software Engineering Processes“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Daniel, Florian et al., BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011, Revised Selected Papers, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 414-426.
- Grangel, Reyes; Chalmeta, Ricardo; Campos, Cristina; Palomero, Sergio (2010) „Improving Interoperability using a UML Profile for Enterprise Modelling“, in: „Enterprise Interoperability IV: Making the Internet of the Future for the Future of Enterprise“, ed. by Popplewell, Keith et al., London: Springer, 2010, pp. 35-45.
- Grangel, Reyes; Chalmeta, Ricardo; Schuster, Stefan; Peña, Iñaki (2006) „Exchange of Business Process Models Using the POP* Meta-model“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Bussler, Christoph J.; Haller, Armin, BPM 2005 International Workshops, BPI, BPD, ENEI, BPRM, WSCOBPM, BPS, Nancy, France, September 5, 2005, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 233-244.
- Grassberger, Peter (1984) „Chaos and Diffusion in Deterministic Cellular Automata“, in: „Cellular Automata: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, Los Alamos March 7-11, 1983 (Physica D, Vol. 10, Nos. 1/2)“, ed. by Farmer, J. Doyne; Toffoli, Tommaso; Wolfram, Stephen, Amsterdam et al.: North-Holland, 1984, pp. 52-58.
- Grassl, Wolfgang (1999) „Towards an Ontology of Marketing“, in: *American Journal of Economics and Sociology*, Vol. 58, No. 2, 1999, pp. 313-359.
- Grauer, Manfred; Karadgi, Sachin; Metz, Daniel; Schäfer, Walter (2011a) „Online Monitoring and Control of Enterprise Processes in Manufacturing Based on an Event-Driven Architecture“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Zur Mühlen, Michael; Su, Jianwen, BPM 2010 International Workshops and Education Track, Hoboken, NJ, USA, September 13-15, 2010, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 671-682.
- Grauer, Manfred; Seeger, Bernhard; Metz, Daniel; Karadgi, Sachin; Schneider, Marco (2011b) „About Adopting Event Processing in Manufacturing“, in: „Towards a Service-Based Internet. ServiceWave 2010 Workshops“, ed. by Cezon, Michel; Wolfsthal, Yaron, International Workshops, OCS, EMSOA, SMART, and EDBPM 2010, Ghent, Belgium, December 13-15, 2010, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 180-187.
- Gray, James R. (1982) „Modern Process Thought. A Brief Ideological History“, Washington/D.C.: Univ. Pr. of America, 1982.
- Green, Peter; Rosemann, Michael (2000) „Integrated Process Modeling: An Ontological Evaluation“, in: *Information Systems*, Vol. 25, No. 2, 2000, pp. 73-87.
- Green, Peter; Rosemann, Michael (2002) „Perceived Ontological Weaknesses of Process Modeling Techniques: Further Evidence“, in: *ECIS 2002*, June 6-8, Gdansk, Poland, 2002, pp. 312-321.
- Green, Peter; Rosemann, Michael (2004a) „Editorial Preface: Ontological Analysis, Evaluation and Engineering of Business Systems Analysis Methods“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 15, No. 2, 2004, pp. i-ii.
- Green, Peter; Rosemann, Michael (2004b) „Applying Ontologies to Business and Systems Modelling Techniques and Perspectives: Lessons Learned“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 15, No. 2, 2004, pp. 105-117.
- Green, Peter; Rosemann, Michael (2005) „Ontological Analysis of Business Systems Analysis Techniques: Experiences and Proposals for an Enhanced Methodology“, in: „Business Systems Analysis with Ontologies“, ed. by Green, Peter; Rosemann, Michael, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2005, pp. 1-27.

Bibliographie

- Green, Peter; Rosemann, Michael; Indulska, Marta (2007) „Enhancing Interoperability and Web Services Standards Through Ontological Analysis“, in: „Ontologies. A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems“, ed. by Sharman, Raj et al., Boston/Mass.: Springer, 2007, pp. 585-606.
- Greenberg, Robert (1999) „The Ontology of Kant's Theory of Knowledge“, in: „The Proceedings of the Twentieth World Congress of Philosophy, Vol. 2: Metaphysics“, ed. by Rockmore, Tom, Bowling Green/OH: Bowling Green State Univ., 1999, pp. 39-48.
- Greenfield, Adam (2006) „Everyware. The Dawning Age of Ubiquitous Computing“, Berkeley/CA: New Riders, 2006.
- Greenspan, Sol; Mylopoulos, John; Borgida, Alex (1994) „On Formal Requirements Modeling Languages: RML Revisited“, Proceedings of the Sixteenth Int. Conference on Software Engineering, Sorrento, May, 1994.
- Gregersen, Heidi; Jensen, Christian S. (1999) „On the Ontological Expressiveness of Temporal Extensions to the Entity-Relationship Model“, in: „Advances in Conceptual Modeling“, ed. by Chen, Peter P. et al., ER '99 Workshops on Evolution and Change in Data Management, Reverse Engineering in Information Systems, and the World Wide Web and Conceptual Modeling, Paris, Nov. 15-18, 1999, Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 110-121.
- Gregor, Shirley D. (2005) „The Struggle Towards an Understanding of Theory in Information Systems“, in: „Information Systems Foundations: Constructing and Criticising“, ed. by Hart, Dennis N.; Gregor, Shirley D., Canberra: ANU E Pr., 2005, pp. 3-12.
- Grelling, Kurt; Oppenheim, Paul (1939) „Concerning the Structure of Wholes“, in: Philosophy of Science, Vol. 6, No. 4, 1939, pp. 487-489.
- Grenon, Pierre (2003a) „BFO in a Nutshell: A Bi-categorial Axiomatization for BFO and Comparison with DOLCE“, IFOMIS Report 06/03, 2003.
- Grenon, Pierre (2003b) „Nuts in BFO's Nutshell: Revisions to the Bi-categorial Axiomatization of BFO“, IFOMIS Report 07/03, 2003.
- Grenon, Pierre (2003c) „Knowledge Management from the Ontological Standpoint“, in: „Knowledge Management and Philosophy“, ed. by Freyberg, Klaus et al., Proceedings of the WM 2003 Workshop on Knowledge Management and Philosophy, Luzern, April 3rd and 4th, 2003.
- Grenon, Pierre (2003d) „Spatio-temporality in Basic Formal Ontology: SNAP and SPAN, Upper-Level Ontology, and Framework of Formalization (Part I)“, IFOMIS Technical Report Series, 05/03, 2003.
- Grenon, Pierre (2008) „A Primer on Knowledge Management and Ontological Engineering“, in: „Applied Ontology. An Introduction“, ed. by Munn, Katherine; Smith, Barry, Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 57-81.
- Grenon, Pierre; Smith, Barry (2004) „SNAP and SPAN: Towards Dynamic Spatial Ontology“, in: Spatial Cognition & Computation, Vol. 4, No. 1, 2004, pp. 69-104.
- Grenon, Pierre; Smith, Barry (2011) „Foundations of an Ontology of Philosophy“, in: Synthese, Vol. 182, No. 2, 2011, pp. 185-204.
- Grenon, Pierre; Smith, Barry; Goldberg, Louis (2004) „Biodynamic Ontology: Applying BFO in the Biomedical Domain“, in: „Ontologies in Medicine“, ed. by Pisanelli, Domenico M., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 20-38.
- Grim, Patrick; Mar, Gary; St. Denis, Paul (1998) „The Philosophical Computer. Exploratory Essays in Philosophical Computer Modeling“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1998.
- Grimm, Stephan; Abecker, Andreas; Völker, Johanna; Studer, Rudi (2011) „Ontologies and the Semantic Web“, in: „Handbook of Semantic Web Technologies“, ed. by Domingue, John et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 507-579.
- Grimnes, Gunnar AAstrand; Edwards, Pete; Preece, Alun (2004) „Learning Meta-descriptions of the FOAF Network“, in: „The Semantic Web - ISWC 2004“, ed. by McIlraith, Sheila A. et al., Third International Semantic Web Conference, Hiroshima, Japan, November 7-11, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 152-165.
- Groß, Dominique; McMullin, Barry (2003) „The Creation of Novelty in Artificial Chemistries“, in: „Artificial Life VIII. Proceedings of the Eighth International Conference on Artificial Life“, ed. by Standish, Russell K.; Bedau, Mark A.; Abbass, Hussein A., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2003, pp. 400-409.
- Grossmann, Georg; Thiagarajan, Rajesh; Schrefl, Michael; Stumptner, Markus (2011) „Conceptual Modeling Approaches for Dynamic Web Service Composition“, in: „The Evolution of Conceptual Modeling“, ed. by Kaschek, Roland; Delcambre, Lois, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 180-204.
- Grossmann, Reinhardt (1961) „Frege's Ontology“, in: Philosophical Review, Vol. 70, No. 1, 1961, pp. 23-40.

Bibliographie

- Grossmann, Reinhardt (1983) „The Categorical Structure of the World“, Bloomington: Indiana Univ. Pr., 1983.
- Grossmann, Reinhardt (1992) „The Existence of the World. An Introduction to Ontology“, London et al.: Routledge, 1992.
- Grossmann, Reinhardt (1996) „Logic and Ontology“, in: „Logica '95. Proceedings of the 9th Symposium“, ed. by Childers, Timothy et al., Prague: Filosofia, 1996, pp. 77-83.
- Groves, Christian; Yan, Lui; Weiwei, Yang (2016) „Overview of IoT Semantics Landscape“, Working Paper, Vers. 21/02/2016, Huawei Technologies, 2016.
- Groza, Adrian; Iancu, Bogdan; Marginean, Anca (2014) „A Multi-Agent Approach Towards Cooperative Overtaking in Vehicular Networks“, Proceedings of the 4th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS14), Article No. 48, Thessaloniki/Greece, June 02-04, 2014.
- Gruber, Thomas R. (1989) „The Acquisition of Strategic Knowledge“, Boston et al.: Acad. Pr., 1989.
- Gruber, Thomas R. (1991) „The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Second International Conference“, ed. by J. A. Allen, R. Fikes, & E. Sandewall, Cambridge/Mass.: Morgan Kaufmann, 1991, pp. 601-602.
- Gruber, Thomas R. (1992) „Ontolingua: A Mechanism to Support Portable Ontologies“, Technical Report KSL 91-66, Stanford University, Knowledge Systems Laboratory. Revision, 1992.
- Gruber, Thomas R. (1993) „A Translation Approach to Portable Ontology Specifications“, in: Knowledge Acquisition, Vol. 5, No. 2, 1993, pp. 199-220.
- Gruber, Thomas R. (1995) „Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing?“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 907-928.
- Gruber, Thomas R. (2004) „Every Ontology is a Treaty“, Interview for Semantic Web and Information Systems SIG of the Association for Information Systems. SIGSEMIS Bulletin, Vol. 1, No. 3, 2004.
- Gruber, Thomas R. (2009) „Ontology“, in: „Encyclopedia of Database Systems“, ed. by Liu, Ling; Özsu, M. Tamer, Boston/MA: Springer, 2009, pp. 1963-1965.
- Gruber, Thomas R. (2013) „Nature, Nurture, and Knowledge Acquisition“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 71, No. 2, 2013, pp. 191-194.
- Gruber, Thomas R.; Cohen, Paul R. (1987) „Design for Acquisition: Principles of Knowledge-System Design to Facilitate Knowledge Acquisition“, in: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 26, No. 2, 1987, pp. 143-159.
- Gruber, Thomas R.; Olsen, Gregory R. (1994) „An Ontology for Engineering Mathematics“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Doyle, Jon et al., Proceedings of the Fourth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR94), San Francisco/CA: Morgan Kaufmann, 1994, pp. 258-269.
- Gruber, Thomas R.; Olsen, Gregory R.; Runkel, Jay T. (1996) „The Configuration Design Ontologies and the VT Elevator Domain Theory“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 44, No. 3-4, 1996, pp. 569-598.
- Gruber, Thomas R.; Tenenbaum, Jay M.; Weber, Jay C. (1992) „Toward a Knowledge Medium for Collaborative Product Development“, in: „Artificial Intelligence in Design '92“, ed. by Gero, J.S., Boston: Kluwer Academic Publishers, 1992.
- Grubic, Tonci; Fan, Ip-Shing (2010) „Supply Chain Ontology: Review, Analysis and Synthesis“, in: Computers in Industry, Vol. 61, 2010, pp. 776-786.
- Gruhler, Elise; Demoly, Frédéric; Dutartre, Olivier; Abboudi, Said; Gomes, Samuel (2014) „Towards a Spatiotemporal Ontology-Based on Mereotopological Theory in Assembly-Oriented Design“, in: „Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World“, ed. by Grabot, Bernard et al., IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2014, Ajaccio, France, September 20-24, 2014, Proceedings, Part I, Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 225-232.
- Grünbaum, Adolf (1962) „Whitehead's Philosophy of Science“, in: Philosophical Review, Vol. 71, No. 2, 1962, pp. 218-229.
- Grüninger, Michael (2003) „Enterprise Modelling“, in: „Handbook on Enterprise Architecture“, ed. by Bernus, Peter; Nemes, Laszlo; Schmidt, Günter, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 515-541.
- Grüninger, Michael (2004) „Applications of PSL to Semantic Web Services“, NIST, NISTIR 7165, 2004.
- Grüninger, Michael (2009) „Using the PSL Ontology“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 423-443.
- Grüninger, Michael; Atefi, Katy; Fox, Mark S. (2000) „Ontologies to Support Process Integration in Enterprise Engineering“, in: Computational and Mathematical Organization Theory, Vol. 6, 2000, pp. 381-394.

Bibliographie

- Grüninger, Michael; Delaval, Arnaud (2009) „A First-Order Cutting Process Ontology for Sheet Metal Parts“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Ferrario, Roberta; Oltramari, Alessandro, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2009, pp. 22-33.
- Grüninger, Michael; Fox, Mark S. (1995) „Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies“, Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, held in conjunction with IJCAI-95, 1995.
- Grüninger, Michael; Fox, Mark S. (1996) „The Logic of Enterprise Modelling“, in: „Modelling and Methodologies for Enterprise Integration“, ed. by Bernus, Peter; Nemes, Laszlo, Proceedings of the IFIP TC5 Working Conference on Models and Methodologies for Enterprise Integration; Queensland, Australia, November 1995, London et al.: Chapman and Hall, 1996, pp. 140-157.
- Grüninger, Michael; Hahmann, Torsten; Hashemi, Ali; Ong, Darren (2010) „Ontology Verification with Repositories“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 317-330.
- Grüninger, Michael; Hahmann, Torsten; Katsumi, Megan; Chui, Carmen (2014) „A Sideways Look at Upper Ontologies“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Garbacz, Pawel; Kutz, Oliver, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2014, pp. 9-22.
- Grüninger, Michael; Lee, Jintae (2002) „Ontology. Applications and Design“, in: Communications of the ACM, Vol. 45, No. 2, 2002, pp. 39-41.
- Grüninger, Michael; Menzel, Christopher (2003) „The Process Specification Language (PSL) Theory and Applications“, in: AI Magazine, Vol. 24, No. 3, 2003, pp. 63-74.
- Grüninger, Michael; Shapiro, Steven; Fox, Mark S.; Weppner, Harald (2010) „Combining RFID with Ontologies to Create Smart Objects“, in: International Journal of Production Research, Vol. 48, No. 9, 2010, pp. 2633-2654.
- Grush, Rick (1993) „Van Brakel's Position is Perfectly Coherent. Commentary on Fetzer on van Brakel on Ford & Hayes on the Frame Problem“, in: Psycology, Vol. 4, No. 24, Art. 8, 1993.
- Gryz, Jarek (2013) „The Frame Problem in Artificial Intelligence and Philosophy“, in: Filozofia Nauki, Vol. 21, No. 2, 2013, pp. 15-30.
- Guarino, Nicola (1992) „Concepts, Attributes, and Arbitrary Relations: Some Linguistic and Ontological Criteria for Structuring Knowledge Bases“, in: Data & Knowledge Engineering, Vol. 8, No. 3, 1992, pp. 249-261.
- Guarino, Nicola (1994) „The Ontological Level“, in: „Philosophy and the Cognitive Sciences“, ed. by Casati, Roberto et al., Proceedings of the 16th International Wittgenstein Symposium; 15-22 August 1993, Kirchberg am Wechsel (Austria), Vienna: Hölder-Pichler-Tempsky, 1994, pp. 443-456.
- Guarino, Nicola (1995) „Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 625-640.
- Guarino, Nicola (1997a) „Semantic Matching: Formal Ontological Distinctions for Information Organization, Extraction, and Integration“, in: „Information Extraction. A Multidisciplinary Approach to an Emerging Information Technology“, ed. by Pazienza, Maria Teresa, International Summer School, SCIE-97 Frascati, Italy, July 14-18, 1997, Berlin et al.: Springer, 1997, pp. 139-170.
- Guarino, Nicola (1997b) „Understanding, Building and Using Ontologies“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 46, No. 2-3, 1997, pp. 293-310.
- Guarino, Nicola (1997c) „Some Organizing Principles For A Unified Top-Level Ontology“, AAAI Technical Report SS-97-06, 1997, pp. 57-63.
- Guarino, Nicola (1998) „Formal Ontology and Information Systems“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Guarino, Nicola, Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), Amsterdam et al.: IOS Pr., 1998, pp. 3-15.
- Guarino, Nicola (2001) „Review of Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations, John F. Sowa, Pacific Grove, California, Brooks/Cole, 2000“, in: AI Magazine, Vol. 22, No. 3, 2001, pp. 123-125.
- Guarino, Nicola (2004) „Toward a Formal Evaluation of Ontology Quality“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 19, No. 4, 2004, pp. 78-80.
- Guarino, Nicola (2009) „The Ontological Level: Revisiting 30 Years of Knowledge Representation“, in: „Conceptual Modelling: Foundations and Applications“, ed. by Borgida, Alexander T. et al., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 52-67.

- Guarino, Nicola (2014a) „Artefactual Systems, Missing Components and Replaceability“, in: „Artefact Kinds. Ontology and the Human-Made World“, ed. by Franssen, Maarten et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 191-206.
- Guarino, Nicola (2014b) „Ontological Analysis and Conceptual Modeling: Achievements and Perspectives“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Garbacz, Pawel; Kutz, Oliver, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2014, p. 5.
- Guarino, Nicola; Borgo, Stefano; Masolo, Claudio (1997) „Logical Modeling of Product Knowledge: Towards a Logical Semantics for STEP“, Proceedings of the European Conference on Product Data Technology, Sophia Antipolis/France, 1997, pp. 183-190.
- Guarino, Nicola; Carrara, Massimiliano; Giarretta, Pierdaniele (1994a) „An Ontology of Meta-level Categories“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Doyle, Jon et al., Proceedings of the Fourth International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR94), San Francisco/CA: Morgan Kaufmann, 1994, pp. 270-280.
- Guarino, Nicola; Carrara, Massimiliano; Giarretta, Pierdaniele (1994b) „Formalizing Ontological Commitments“, AAAI '94 Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence, Vol. 1, Menlo Park/CA: AAAI Pr., 1994, pp. 560-567.
- Guarino, Nicola; Giarretta, Pierdaniele (1995) „Ontologies and Knowledge Bases. Towards a Terminological Clarification“, in: „Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building & Knowledge Sharing“, ed. by Mars, Nicolaas J.I., Amsterdam: IOS Pr., 1995, pp. 25-32.
- Guarino, Nicola; Guizzardi, Giancarlo (2006) „In the Defense of Ontological Foundations for Conceptual Modeling“, in: Scandinavian Journal of Information Systems, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 115-126.
- Guarino, Nicola; Musen, Mark A. (2005) „Applied Ontology: Focusing on Content“, in: Applied Ontology, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 1-5.
- Guarino, Nicola; Oberle, Daniel; Staab, Steffen (2009) „What is an Ontology?“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 1-17.
- Guarino, Nicola; Pribbenow, Simone; Vieu, Laure (1996) „Modeling Parts and Wholes“, in: Data & Knowledge Engineering, Vol. 20, No. 3, 1996, pp. 257-258.
- Guarino, Nicola; Schneider, Luc (2003) „Ontology-Driven Conceptual Modelling: Advanced Concepts“, in: „Conceptual Modeling - ER 2002“, ed. by Spaccapietra, Stefano et al., 21st International Conference on Conceptual Modeling Tampere, Finland, October 7-11, 2002, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2003, p. 12.
- Guarino, Nicola; Welty, Christopher A. (2000a) „A Formal Ontology of Properties“, in: „Knowledge Engineering and Knowledge Management Methods, Models, and Tools“, ed. by Dieng, Rose; Corby, Olivier, 12th Int. Conference, EKAW 2000 Juan-les-Pins, France, October 2-6, 2000, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2000, pp. 97-112.
- Guarino, Nicola; Welty, Christopher A. (2000b) „Identity, Unity, and Individuality: Towards a Formal Toolkit for Ontological Analysis“, ed. by Horn, Werner, Proceedings of ECAI-2000: The European Conference on Artificial Intelligence, Berlin, Germany, Amsterdam: IOS Pr., 2000, pp. 219-223.
- Guarino, Nicola; Welty, Christopher A. (2000c) „Towards a Methodology for Ontology Based Model Engineering“, 2000.
- Guarino, Nicola; Welty, Christopher A. (2002) „Evaluating Ontological Decisions with OntoClean“, in: Communications of the ACM, Vol. 45, No. 2, 2002, pp. 61-65.
- Guarino, Nicola; Welty, Christopher A. (2009) „An Overview of OntoClean“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 201-220.
- Gubbi, Jayavardhana; Buyya, Rajkumar; Marusic, Slaven; Palaniswami, Marimuthu (2013) „Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions“, in: Future Generation Computer Systems, Vol. 29, No. 7, 2013, pp. 1645-1660.
- Guedes, Gilleanes Thorwald Araujo; Vicari, Rosa Maria (2009) „Applying AUML and UML 2 in the Multi-agent Systems Project“, in: „Advances in Conceptual Modeling - Challenging Perspectives“, ed. by Heuser, Carlos Alberto; Pernul, Günther, ER 2009 Workshops CoMoL, ETheCoM, FP-UML, MOST-ONISW, QoIS, RIGiM, SeCoGIS, Gramado, Brazil, November 9-12, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 106-115.
- Guha, Ramanathan V.; Lenat, Douglas B. (1994) „Enabling Agents to Work Together“, in: Communications of the ACM, Vol. 37, No. 7, 1994, pp. 127-142.
- Guinard, Dominique (2011) „A Web of Things Application Architecture - Integrating the Real-World into the Web“, Ph.D., ETH Zürich, 2011.
- Guinard, Dominique; Trifa, Vlad (2016) „Building the Web of Things“, Greenwich/CT: Manning, 2016.

- Guinard, Dominique; Trifa, Vlad; Karnouskos, Stamatis; Spiess, Patrik; Savio, Domnic (2010) „Interacting with the SOA-Based Internet of Things: Discovery, Query, Selection, and On-Demand Provisioning of Web Services“, in: IEEE Transactions on Services Computing, Vol. 3, No. 3, 2010, pp. 223-235.
- Guinard, Dominique; Trifa, Vlad; Mattern, Friedemann; Wilde, Erik (2011) „From the Internet of Things to the Web of Things: Resource-oriented Architecture and Best Practices“, in: „Architecting the Internet of Things“, ed. by Uckelmann, Dieter et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 97-129.
- Guizzardi, Giancarlo (2005) „Ontological Foundations for Structural Conceptual Models“, Univ. Twente, CTIT PhD Thesis Series, No. 05-74, Telematica Instituut Fundamental Research Series, No. 015 (TI/FRS/015), 2005.
- Guizzardi, Giancarlo (2007a) „On Ontology, ontologies, Conceptualizations, Modeling Languages, and (Meta)Models“, ed. by Vasilecas, Olegas et al., Proceedings of the 2007 conference on Databases and Information Systems IV: Selected Papers from the Seventh International Baltic Conference DB&IS'2006, Amsterdam: IOS Pr., 2007, pp. 18-39.
- Guizzardi, Giancarlo (2007b) „Modal Aspects of Object Types and Part-Whole Relations and the de re/de dicto Distinction“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Krogstie, John et al., 19th Int. Conference, CAiSE 2007, Trondheim, Norway, June 11-15, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 5-20.
- Guizzardi, Giancarlo (2010) „On the Representation of Quantities and Their Parts in Conceptual Modeling“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 103-116.
- Guizzardi, Giancarlo; Baião, Fernanda; Lopes, Mauro; Falbo, Ricardo De Almeida (2010) „The Role of Foundational Ontologies for Domain Ontology Engineering: An Industrial Case Study in the Domain of Oil and Gas Exploration and Production“, in: International Journal of Information System Modeling and Design, Vol. 1, No. 2, 2010, pp. 1-22.
- Guizzardi, Giancarlo; Halpin, Terry (2008) „Ontological Foundations for Conceptual Modelling“, in: Applied Ontology, Vol. 3, No. 1-2, 2008, pp. 1-12.
- Guizzardi, Giancarlo; Herre, Heinrich; Wagner, Gerd (2002a) „On the General Ontological Foundations of Conceptual Modeling“, in: „ER 2002, LNCS 2503“, ed. by Spaccapietra, Stefano et al., Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 65-78.
- Guizzardi, Giancarlo; Herre, Heinrich; Wagner, Gerd (2002b) „Towards Ontological Foundations for UML Conceptual Models“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2002: CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert; Tari, Zahir, Confederated Int. Conferences CoopIS, DOA, and ODBASE 2002 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 1100-1117.
- Guizzardi, Giancarlo; Masolo, Claudio; Borgo, Stefano (2006) „In Defense of a Trope-Based Ontology for Conceptual Modeling: An Example with the Foundations of Attributes, Weak Entities and Datatypes“, in: „Conceptual Modeling - ER 2006“, ed. by Embley, David W. et al., 25th Int. Conference on Conceptual Modeling, Tucson/AZ, USA, November 6-9, 2006, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 112-125.
- Guizzardi, Giancarlo; Wagner, Gerd (2004) „A Unified Foundational Ontology and some Applications of it in Business Modeling“, in: „EMOI - INTEROP 2004. Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability“, ed. by Missikoff, Michele, Proceedings of the Open InterOp Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability, co-located with CAiSE'04 Conference, Riga (Latvia), 7-8 June, 2004, pp. 129-143.
- Guizzardi, Giancarlo; Wagner, Gerd (2005a) „Some Applications of a Unified Foundational Ontology in Business Modeling“, in: „Business Systems Analysis with Ontologies“, ed. by Green, Peter; Rosemann, Michael, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2005, pp. 345-367.
- Guizzardi, Giancarlo; Wagner, Gerd (2005b) „Towards Ontological Foundations for Agent Modelling Concepts Using the Unified Foundational Ontology (UFO)“, in: „Agent-Oriented Information Systems II“, ed. by Bresciani, Paolo et al., 6th International Bi-Conference Workshop, AOIS 2004, Riga/Latvia, June 8, 2004, and New York/NY, July 20, 2004, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 110-124.
- Guizzardi, Giancarlo; Wagner, Gerd (2008) „What's in a Relationship: An Ontological Analysis“, in: „Conceptual Modeling - ER 2008“, ed. by Li, Qing et al., Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 83-97.
- Guizzardi, Giancarlo; Wagner, Gerd (2010) „Using the Unified Foundational Ontology (UFO) as a Foundation for General Conceptual Modeling Languages“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 175-196.

Bibliographie

- Guizzardi, Giancarlo; Wagner, Gerd (2011) „Can BPMN Be Used for Making Simulation Models?“, in: „Enterprise and Organizational Modeling and Simulation“, ed. by Barjis, Joseph et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 100-115.
- Guizzardi, Giancarlo; Wagner, Gerd; Almeida, João Paulo A.; Guizzardi, Renata S.S. (2015) „Towards Ontological Foundations for Conceptual Modeling: The Unified Foundational Ontology (UFO) Story“, in: *Applied Ontology*, Vol. 10, No. 3-4, 2015, pp. 259-271.
- Guizzardi, Giancarlo; Wagner, Gerd; Falbo, Ricardo De Almeida; Guizzardi, Renata S.S.; Almeida, João Paulo A. (2013) „Towards Ontological Foundations for the Conceptual Modeling of Events“, in: „Conceptual Modeling“, ed. by Ng, Wilfred et al., 32th International Conference, ER 2013, Hong-Kong, China, November 11-13, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 327-341.
- Guizzardi, Giancarlo; Wagner, Gerd; Guarino, Nicola; Van Sinderen, Marten (2004) „An Ontologically Well-Founded Profile for UML Conceptual Models“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Persson, Anne; Stirna, Janis, 16th International Conference, CAiSE 2004, Riga, Latvia, June 7-11, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 112-126.
- Guizzardi, Giancarlo; Zamborlini, Veruska (2013) „A Common Foundational Theory for Bridging Two Levels in Ontology-Driven Conceptual Modeling“, in: „Software Language Engineering“, ed. by Czarnecki, Krzysztof; Hedin, Görel, 5th International Conference, SLE 2012, Dresden, Germany, September 26-28, 2012, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 286-310.
- Guizzardi, Giancarlo; Zamborlini, Veruska (2014) „Using a Trope-based Foundational Ontology for Bridging Different Areas of Concern in Ontology-driven Conceptual Modeling“, in: *Science of Computer Programming*, Vol. 96, Part 4, 2014, pp. 417-443.
- Guo, Wei; Zheng, Qing; Zuo, Bin; Shao, Hong-yu (2014) „A Closed-loop PLM Model for Lifecycle Management of Complex Product“, in: „Moving Integrated Product Development to Service Clouds in the Global Economy“, ed. by Cha, Jianzhong et al., (Advances in Transdisciplinary Engineering, Vol. 1), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2014, pp. 132-139.
- Gupta, Ravi Kumar; Gurumoorthy, Balan; Robin, Vincent; Girard, Philippe (2010) „A Conceptual Vision of Interoperability of CAD Tools and Software to Track Evolution of Design Process“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 119-129.
- Gupta, Sumit; Saxena, Shilpi (2016) „Real-Time Big Data Analytics. Design, Process, and Analyse Large Sets of Complex Data in Real Time“, Birmingham et al.: Packt Publ., 2016.
- Gusmeroli, Sergio; Agostinho, Carlos; Lucena, Catarina; Sesana, Michele; Felic, Artur; Fischer, Klaus (2014) „OSMOSE: a Paradigm for the Liquid-Sensing Enterprise“, in: „IWEI 2015 Workshops - New Requirements and Innovative Solutions to Enterprise Interoperability“, ed. by Zelm, Martin, Proceedings of the Workshops of the IWEI 2015 Conference, co-located with the 6th International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability IWEI 2015, Nîmes, France, 2014.
- Gustas, Remigijus; Gustiene, Prima (2009) „Service-Oriented Foundation and Analysis Patterns for Conceptual Modelling of Information Systems“, in: „Information Systems Development. Challenges in Practice, Theory, and Education“, ed. by Barry, Chris et al., Vol. 1, New York/NY: Springer, 2009, pp. 249-265.
- Gutenberg, Erich (1957a) „Betriebswirtschaftslehre als Wissenschaft“, Kölner Universitätsreden Nr. 18, Akademische Festrede gehalten bei der Universitätsgründungsfeier am 22. Mai 1957, Krefeld: Scherpe, 1957.
- Gutenberg, Erich (1957b) „Die Stellung der Betriebswirtschaftslehre im Rahmen der Wirtschaftswissenschaft“, Ansprachen anlässlich der feierlichen Ehrenpromotion von E. Dulles, E. Gutenberg und E. Schneider durch die Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät der Freien Univ. Berlin, Berlin, 1957, S. 16-25.
- Gutenberg, Erich (1979) „Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Erster Band: Die Produktion“, 23., unveränd. Aufl., Berlin et al.: Springer, 1979.
- Gutiérrez-Casorrán, Cesáreo; Fernández-Breis, Jesualdo Tomás; Martínez-Béjar, Rodrigo (2001) „Ontological Modeling of Natural Categories-based Agents: an Ant Colony“, in: Workshop on Ontologies in Agent Systems. 5th International Conference on Autonomous Agents, Montreal, Canada, 2001.
- Gutierrez, Claudio et al. (2005) „Temporal RDF“, in: „The Semantic Web: Research and Applications“, ed. by Gómez-Pérez, Asunción; Euzenat, Jérôme, Second European Semantic Web Conference, ESWC 2005, Heraklion, Crete, Greece, May 29-June 1, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 93-107.
- Gutierrez, Claudio et al. (2007) „Introducing Time into RDF“, in: *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 19, 2007, pp. 207-218.

Bibliographie

- Gutowitz, Howard A. (1995a) „Cellular Automata and the Sciences of Complexity (Part I)“, in: *Complexity*, Vol. 1, No. 5, 1995, pp. 16-22.
- Gutowitz, Howard A. (1995b) „Cellular Automata and the Sciences of Complexity (Part II)“, in: *Complexity*, Vol. 1, No. 6, 1995, pp. 29-35.
- Gutschmidt, Holger (Hrsg.) (2008) „Substantia - sic et non. eine Geschichte des Substanzbegriffs von der Antike bis zur Gegenwart in Einzelbeiträgen“, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2008.
- Gyrard, Amelie (2015) „Designing Cross-Domain Semantic Web of Things Applications“, Diss., ParisTech, école de l'Institut Télécom, 2015.
- Gyrard, Amelie; Bonnet, Christian; Boudaoud, Karima (2014) „Domain Knowledge Interoperability to Build the Semantic Web of Things“, W3C Workshop on the Web of Things, 25-26 June 2014, Berlin/Germany, 2014.
- Gyrard, Amelie; Patel, Pankesh; Datta, Soumya K.; Ali, Muhammad I. (2017) „Semantic Web Meets Internet of Things and Web of Things“, International World Wide Web Conference Committee (IW3C2), WWW 2017, April 3-7, 2017, Perth/Australia, 2017, pp. 917-920.
- Gyrard, Amelie; Serrano, Martin; Atemezing, Ghislain A. (2015) „Semantic Web Methodologies, Best Practices and Ontology Engineering Applied to Internet of Things“, IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Milan/Italy, 14-16 Dec., 2015, pp. 1-6.
- Haack, Susan (1979) „Descriptive and Revisionary Metaphysics“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 35, No. 4, 1979, pp. 361-371.
- Haas, Andrew (1985) „Possible Events, Actual Events, and Robots“, in: *Computational Intelligence*, Vol. 1, No. 1, 1985, pp. 59-70.
- Habermas, Jürgen (1968) „Technik und Wissenschaft als 'Ideologie'“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1968.
- Habermas, Jürgen (1973) „Wahrheitstheorien“, in: „Wirklichkeit und Reflexion“, hrsg. v. Fahrenbach, Helmut, Pfullingen: Neske, 1973, S. 211-265.
- Habermas, Jürgen (2005) „Zwischen Naturalismus und Religion“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 2005.
- Hachani, Safa; Gzara, Lilia; Verjus, Hervé (2013) „A Service-Oriented Approach for Flexible Process Support Within Enterprises: Application on PLM Systems“, in: *Enterprise Information Systems*, Vol. 7, No. 1, 2013, pp. 79-99.
- Hachem, Sara; Teixeira, Thiago; Issarny, Valérie (2011) „Ontologies for the Internet of Things“, Proceedings of the 8th Middleware Doctoral Symposium (MDS '11), Article No. 3, New York/NY: ACM, 2011, pp. 1-6.
- Hachicha, Maroua; Moalla, Néjib; Fahad, Muhammad; Ouzrout, Yacine (2016) „A Maturity Model to Promote the Performance of Collaborative Business Processes“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 112-124.
- Hacker, Peter M.S. (1972) „Insight and Illusion. Wittgenstein on Philosophy and the Metaphysics of Experience“, Oxford: Clarendon Pr., 1972.
- Hacker, Peter M.S. (1979) „Substance: The Constitution of Reality“, in: „Midwest Studies in Philosophy, Vol. 4: Studies in Metaphysics“, ed. by French, Peter A. et al., Minneapolis: Univ. of Minnesota Pr., 1979, pp. 239-261.
- Hacker, Peter M.S. (1982a) „Events and Objects in Space and Time“, in: *Mind*, Vol. 91, No. 361, 1982, pp. 1-19.
- Hacker, Peter M.S. (1982b) „Events, Ontology and Grammar“, in: *Philosophy*, Vol. 57, No. 222, 1982, pp. 477-486.
- Hacker, Peter M.S. (1996) „The Rise of Twentieth Century Analytic Philosophy“, in: *Ratio*, Vol. 9, No. 3, 1996, pp. 243-268.
- Hacker, Peter M.S. (2000) „Carnaps 'Überwindung der Metaphysik'“, in: *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 48. Jg., Nr. 3, 2000, S. 469-486.
- Hacker, Peter M.S. (2004a) „Of the Ontology of Belief“, in: „Semantik und Ontologie. Beiträge zur philosophischen Forschung“, hrsg. v. Siebel, Mark; Textor, Mark, Frankfurt/Main: Ontos, 2004, S. 185-222.
- Hacker, Peter M.S. (2004b) „Substance: Things and Stuffs“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society, Suppl.*, Vol. 78, 2004, pp. 41-63.
- Hadamard, Jacques (1945) „An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field“, Repr., New York/NY: Dover Publ., 1954.

Bibliographie

- Hadzic, Maja; Chang, Elizabeth (2005) „Grid Services Complemented by Domain Ontology Supporting Biomedical Community“, in: „Scientific Applications of Grid Computing“, ed. by Herrero, Pilar et al., First International Workshop, SAG 2004, Beijing, China, September 20-24, 2004, Revised Selected and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 86-98.
- Hadzic, Maja; Wongthongtham, Pornpit; Dillon, Tharam; Chang, Elizabeth (2009) „Ontology-Based Multi-Agent Systems“, Berlin et al.: Springer, 2009.
- Hadzilacos, Thanasis; Tryfona, Nectaria (1997) „An Extended Entity-Relationship Model for Geographic Applications“, in: ACM SIGMOD Record, Vol. 26, No. 3, 1997, pp. 24-29.
- Hadzilacos, Thanasis; Tryfona, Nectaria (1998) „Evaluation of Database Modeling Methods for Geographic Information Systems“, in: Australasian Journal of Information Systems, Vol. 6, No. 1, 1998, pp. 15-26.
- Haeckel, Stephan H. (1995) „Adaptive Enterprise Design: The Sense-and-Respond Model“, in: Planning Review, Vol. 23, No. 5/6, 1995, pp. 6-13, 42-44.
- Haeckel, Stephan H. (1999) „Adaptive Enterprise. Creating and Leading Sense-and-Respond Organizations“, Boston/Mass.: Harvard Business School Pr., 1999.
- Hage, Jaap; Verheij, Bart (1999) „The Law as a Dynamic Interconnected System of States of Affairs: A Legal Top Ontology“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 51, No. 6, 1999, pp. 1043-1077.
- Hagengruber, Ruth (2004) „Ontologische Strukturen. Gegenwärtige Tendenzen und ihre Anwendung in der Informatik unter besonderer Berücksichtigung der Unternehmensmodellierung“, in: „Wissenschaftstheorie in Ökonomie und Wirtschaftsinformatik: Theoriebildung und -Bewertung, Ontologien, Wissensmanagement“, hrsg. v. Frank, Ulrich, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag, 2004, S. 417-433.
- Hagengruber, Ruth; Schauer, Hanno (2002) „Gute Gründe für eine Ontologie der Ökonomie und der Unternehmung auf Basis der Basic Formal Ontology (BFO)“, in: „Eco - Economic Ontology. Part 1, Towards a Basal Enterprise Ontology“, hrsg. v. Hagengruber, Ruth; Frank, Ulrich; Schauer, Hanno, Eco-Reports. Arbeitsberichte des Fachbereichs Wirtschaftsinformatik, Forschungsgruppe Unternehmensmodellierung, Bereich Wissenschaftstheorie. Koblenz: Univ. Koblenz-Landau, 2002, S. 42-56.
- Hahlweg, Kai (1986) „Popper versus Lorenz: An Exploration into the Nature of Evolutionary Epistemology“, in: PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Vol. 1986, Volume One: Contributed Papers, 1986, pp. 172-182.
- Hahlweg, Kai; Hooker, Clifford A. (1989) „Evolutionary Epistemology and Philosophy of Science“, in: „Issues in Evolutionary Epistemology“, ed. by Hahlweg, Kai; Hooker, Clifford A., Albany/NY: State Univ. of New York Pr., 1989, pp. 21-150.
- Hahmann, Torsten; Brodaric, Boyan (2012) „The Void in Hydro Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 45-58.
- Hahmann, Torsten; Grüniger, Michael (2012) „Region-based Theories of Space: Mereotopology and Beyond“, in: „Qualitative Spatio-Temporal Representation and Reasoning: Trends and Future Directions“, ed. by Hazarika, Shyamanta M., Hershey/PA: IGI Global, 2012, pp. 1-62.
- Hahn, Axel (2005) „Integration verteilter Produktmodelle durch Semantic-Web-Technologien“, in: Wirtschaftsinformatik, 47. Jg., Nr. 4, 2005, S. 278-284.
- Hahn, Axel; Hausmann, Kevin; Häusler, Stefan; Strickmann, Jan (2007) „Using Ontologies to Model and Understand Product Development“, in: IBIS - Interoperability in Business Information Systems, Vol. 5, 2007, S. 21-38.
- Hahn, Frank H. (2000) „Is Economics an Evolutionary Science?“, in: „Is Economics an Evolutionary Science? The Legacy of Thorstein Veblen“, ed. by Louçã, Francisco; Perlman, Mark, Cheltenham/Glos: Edgar, 2000, pp. 114-124.
- Haken, Hermann (1973a) „Cooperative Phenomena in Systems far from Thermal Equilibrium“, in: „From Theoretical Physics to Biology“, ed. by Marois, Maurice, Proc. of the 3rd int. Conf. From Theoretical Physics to Biology, Versailles 1971, Basel et al.: Karger, 1973, pp. 35-49.
- Haken, Hermann (1973b) „Synergetics - Towards a New Discipline“, in: „Cooperative Phenomena“, ed. by Haken, Hermann; Wagner, Max, Berlin et al.: Springer, 1973, pp. 363-372.
- Haken, Hermann (1975) „Critical Fluctuations in Continuous Non-Equilibrium Systems“, in: Zeitschrift für Physik B, Vol. 22, 1975, pp. 73-77.
- Haken, Hermann (1978) „Synergetics. An Introduction: Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology“, 2nd enlarged ed., Berlin et al.: Springer, 1978.

Bibliographie

- Haken, Hermann (1981b) „Synergetics: Is Self-Organization Governed by Universal Principles?“, in: „The Evolutionary Vision. Toward a Unifying Paradigm of Physical, Biological, and Sociocultural Evolution“, ed. by Jantsch, Erich, Boulder/Col.: Westview Pr., 1981, pp. 15-23.
- Haken, Hermann (1981c) „Synergetik: Nichtgleichgewichte, Phasenübergänge und Selbstorganisation“, in: *Naturwissenschaften*, Vol. 68, 1981, pp. 293-299.
- Haken, Hermann (1984c) „Synergetics - Some Basic Concepts and Recent Results“, in: „Self-Organization. Autowaves and Structures Far from Equilibrium“, ed. by Krinsky, V.I., (Proceedings of an Int. Symposium Pushchino, USSR, July 18-23, 1983), Berlin et al.: Springer, 1984, pp. 2-8.
- Haken, Hermann (1985a) „Towards a Dynamic Information Theory“, in: „Thermodynamics and Regulation of Biological Processes“, ed. by Lamprecht, Ingolf; Zotin, Aleksandr I., Berlin, New York: De Gruyter, 1985, pp. 93-104.
- Haken, Hermann (1986) „Information and Information Gain Close to Nonequilibrium Phase Transitions. Numerical Results“, in: *Zeitschrift für Physik B*, Vol. 62, 1986, pp. 255-259.
- Haken, Hermann (1987b) „Synergetic Information Versus Shannon Information in Self-Organizing Systems“, in: *Zeitschrift für Physik B Condensed Matter*, Vol. 65, No. 4, 1987, pp. 503-504.
- Haken, Hermann (1988a) „Information and Self-Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems“, Berlin et al.: Springer, 1988.
- Haken, Hermann (1996a) „Synergetik und Sozialwissenschaften“, in: *Ethik und Sozialwissenschaften*, 7. Jg., Nr. 4, 1996, S. 587-594.
- Haken, Hermann (1998) „Can We Apply Synergetics to the Human Sciences?“, in: „Systems. New Paradigms for the Human Sciences“, ed. by Altmann, Gabriel; Koch, Walter A., Berlin, New York: De Gruyter, 1998, pp. 58-78.
- Haken, Hermann (2012) „Sprache und Synergetik“, in: „Integration als globale Herausforderung der Menschheit“, hrsg. v. Daiseion-ji e.V.; acatech, Dettelbach: Röhl, 2012, S. 29-41.
- Haken, Hermann (ed.) (1982) „Evolution of Order and Chaos in Physics, Chemistry, and Biology“, Proceedings of the Int. Symposium on Synergetics at Schloß Elmau, Bavaria, April 26 - May 1, 1982, Berlin et al.: Springer, 1982.
- Haken, Hermann; Graham, Robert (1971) „Synergetik - die Lehre vom Zusammenwirken“, in: *Umschau in Wissenschaft und Technik*, 71. Jg., Nr. 6, 1971, S. 191-195.
- Haken, Hermann; Wunderlin, Arne (1991) „Die Selbststrukturierung der Materie. Synergetik in der unbelebten Welt“, Braunschweig: Vieweg, 1991.
- Hakimpour, Farshad; Aleman-Meza, Boanerges; Perry, Matthew; Sheth, Amit P. (2006) „Data Processing in Space, Time, and Semantics Dimensions“, Working Paper, 2006.
- Hale, Bob (1987) „Abstract Objects“, Oxford: Blackwell, 1987.
- Hales, Steven D.; Johnson, Timothy A. (2003) „Endurantism, Perdurantism and Special Relativity“, in: *Philosophical Quarterly*, Vol. 53, No. 213, 2003, pp. 524-539.
- Hall, Arthur D.; Fagen, R.E. (1956) „Definition of System“, in: „Modern Systems Research for the Behavioral Scientist“, ed. by Buckley, Walter, (Repr. from *General Systems*, Vol. 1, 1956, pp. 18-28), Chicago/Ill.: Aldine, 1968, pp. 81-92.
- Hall, Everett W. (1930) „Of What Use are Whitehead's Eternal Objects?“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 27, No. 2, 1930, pp. 29-44.
- Hall, Everett W. (1949) „The Metaphysics of Logic“, in: *Philosophical Review*, Vol. 58, No. 1, 1949, pp. 16-25.
- Hall, Harrison (1987) „Phenomenology“, in: „Encyclopedia of Artificial Intelligence“, ed. by Shapiro, Stuart C., Vol. 2, New York et al.: Wiley, 1987, pp. 730-736.
- Hall, Nina (ed.) (2000) „The New Chemistry“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2000.
- Hall, Suzannah; Hornsby, Kathleen (2005) „Ordering Events for Dynamic Geospatial Domains“, in: „Spatial Information Theory“, ed. by Cohn, Anthony G.; Mark, David M., Int. Conference, COSIT 2005, Ellicottville, NY, USA, September 14-18, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 330-346.
- Hall, Thomas S. (1970) „Descartes' Physiological Method: Position, Principles, Examples“, in: *Journal of the History of Biology*, Vol. 3, No. 1, 1970, pp. 53-79.
- Hallam, John (ed.) (1995) „Hybrid Problems, Hybrid Solutions“, Amsterdam et al.: IOS Pr., 1995.
- Haller, Armin; Oren, Eyal; Kotinurmi, Paavo (2006a) „An Ontology for Internal and External Business Processes“, WWW '06: Proceedings of the 15th International Conference on World Wide Web, ACM, New York/NY, 2006, pp. 1055-1056.

Bibliographie

- Haller, Armin; Oren, Eyal; Kotinurmi, Paavo (2006b) „m3po: An Ontology to Relate Choreographies to Workflow Models“, Proceedings of the IEEE International Conference on Services Computing (SCC'06), IEEE Computer Society, 2006, pp. 19-27.
- Haller, Stephan (2010) „The Things in the Internet of Things“, Internet of Things Conference 2010, Tokyo/Japan, 2010.
- Haller, Stephan; Karnouskos, Stamatis; Schroth, Christoph (2009) „The Internet of Things in an Enterprise Context“, in: „Future Internet - FIS 2008“, ed. by Domingue, John et al., First Future Internet Symposium, FIS 2008 Vienna, Austria, September 29-30, 2008, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 14-28.
- Haller, Stephan; Magerkurth, Carsten (2011) „The Real-time Enterprise: IoT-enabled Business Processes“, IETF IAB Workshop on Interconnecting Smart Objects with the Internet, March, 2011.
- Halpin, Harry (2006) „Identity, Reference, and Meaning on the Web“, Architecture and Philosophy of the Web: Identity, Reference, and the Web IRW2006, WWW2006 Workshop, Edinburgh/Scotland May 23rd, 2006, pp. 1-7.
- Halpin, Harry (2008) „Philosophical Engineering: Towards a Philosophy of the Web“, in: APA Newsletters, Vol. 7, No. 2, 2008, pp. 5-11.
- Halpin, Harry (2013) „Social Semantics. The Search for Meaning on the Web“, New York: Springer, 2013.
- Halpin, Harry; Clark, Andy; Wheeler, Michael (2014) „Philosophy of the Web: Representation, Enaction, Collective Intelligence“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 21-30.
- Halpin, Harry; Monnin, Alexandre (2014) „Interview with Tim Berners-Lee“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 181-186.
- Halpin, Terry (2001) „Information Modeling and Relational Databases. From Conceptual Analysis to Logical Design“, San Francisco/CA: Morgan Kaufman, 2001.
- Halpin, Terry (2005a) „Fact-Orientation Meets Agent-Orientation“, in: „Agent-Oriented Information Systems II“, ed. by Bresciani, Paolo et al., 6th International Bi-Conference Workshop, AOIS 2004, Riga/Latvia, June 8, 2004, and New York/NY, July 20, 2004, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 97-109.
- Halpin, Terry (2005b) „ORM 2“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 676-687.
- Halpin, Terry (2006) „Object-Role Modeling (ORM/NIAM)“, in: „Handbook on Architectures of Information Systems“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 81-103.
- Halpin, Terry (2007) „Fact-Oriented Modeling: Past, Present and Future“, in: „Conceptual Modelling in Information Systems Engineering“, ed. by Krogstie, John et al., Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 19-38.
- Halstenberg, Friedrich A.; Buchert, Tom; Bonvoisin, Jérémy; Lindow, Kai; Stark, Rainer (2015) „Target-oriented Modularization - Addressing Sustainability Design Goals in Product Modularization“, in: Procedia CIRP, Vol. 29, 2015, pp. 603-608.
- Hamdi, Louenas; Gurrani, Rama; Raiyani, Samir (2008) „Real-Time Location Tracking Mashup for Enterprise“, in: „Handbook of Research on Ubiquitous Computing Technology for Real Time Enterprises“, ed. by Mühlhäuser, Max; Gurevych, Iryna, Hershey/PA: Information Science Reference, 2008, pp. 567-573.
- Hameed, Bilal; Minguez, Jorge; Wörner, Michael; Hollstein, Philip; Zor, Sema; Silcher, Stefan et al. (2011) „The Smart Real-Time Factory as a Product Service System“, in: „Functional Thinking for Value Creation“, ed. by Hesselbach, Jürgen; Herrmann, Christoph, Proceedings of the 3rd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems, Technische Univ. Braunschweig, Braunschweig/Germany, May 5th-6th, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 326-331.
- Hamlyn, David W. (1984) „Metaphysics“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1984.
- Hampe, Michael (1990) „Die Wahrnehmungen der Organismen. Über die Voraussetzungen einer naturalistischen Theorie der Erfahrung in der Metaphysik A.N. Whiteheads“, Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1990.
- Hanfling, Oswald (2000) „Philosophy and Ordinary Language“, London, New York: Routledge, 2000.
- Hanks, Donald (1975) „Process as a Categorical Concept“, in: „Studies in Process Philosophy II“, ed. by Whittemore, Robert C., The Hague: Martinus Nijhoff, 1975, pp. 23-32.
- Hansson, Sven Ove (2006) „Defining Technical Function“, in: Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 19-22.

Bibliographie

- Harbelot, Benjamin; Arenas, Helbert; Cruz, Christophe (2013a) „The Spatio-temporal Semantics from a Perdurantism Perspective“, ed. by Rückemann, Claus-Peter, Proceedings of the Fifth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services GEOProcessing, February-March 2013, Nice/France, 2013, pp. 114-119.
- Harbelot, Benjamin; Arenas, Helbert; Cruz, Christophe (2013b) „Using Semantic Web Technologies to Follow the Evolution of Entities in Time and Space“, in: International Journal on Advances in Intelligent Systems, Vol. 6, No. 3-4, 2013, pp. 256-265.
- Harbelot, Benjamin; Arenas, Helbert; Cruz, Christophe (2014) „A Semantic Model to Query Spatial-Temporal Data“, in: „Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS 2013)“, ed. by Popovich, Vasily et al., Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 75-89.
- Hare, Clark (1999) „Towards an Ontology of Intellectual Property: A Suggested Reconstruction“, in: American Journal of Economics and Sociology, Vol. 58, No. 2, 1999, pp. 285-297.
- Harms, William F. (2006) „What Is Information? Three Concepts“, in: Biological Theory, Vol. 1, No. 3, 2006, pp. 230-242.
- Harnad, Stevan (1993) „Problems, Problems: The Frame Problem as a Symptom of the Symbol Grounding Problem. Commentary on Van Brakel & Fetzer on Ford & Hayes on the Frame-Problem“, in: Psychology, Vol. 4, No. 34, Art. 11, 1993.
- Harnad, Stevan (1994) „Levels of Functional Equivalence in Reverse Bioengineering“, in: Artificial Life, Vol. 1, No. 3, 1994, pp. 293-301.
- Harrah, David (1959) „The Influence of Logic and Mathematics on Whitehead“, in: Journal of the History of Ideas, Vol. 20, No. 3, 1959, pp. 420-430.
- Harrah, David (1986) „Message Semantics“, in: Notre Dame Journal of Formal Logic, Vol. 27, No. 3, 1986, pp. 339-348.
- Harré, Rom (2006) „Resolving the Emergence-Reduction Debate“, in: Synthese, Vol. 151, 2006, pp. 499-509.
- Harris, Errol E. (1965) „The Foundations of Metaphysics in Science“, London: George Allen and Unwin, 1965.
- Harris, Errol E. (1986) „The Contemporary Significance of Hegel and Whitehead“, in: „Hegel and Whitehead. Contemporary Perspectives on Systematic Philosophy“, ed. by Lucas, George R., Jr., Albany: State Univ. of New York Pr., 1986, pp. 17-28.
- Harris, S. Brad (1996) „Business Strategy and the Role of Engineering Product Data Management: A Literature Review and Summary of the Emerging Research Questions“, in: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 210, No. 3, 1996, pp. 207-220.
- Harrison, Bernard (1965) „Category Mistakes and Rules of Language“, in: Mind, N.S., Vol. 74, No. 295, 1965, pp. 309-325.
- Hart, Jane K.; Martinez, Kirk (2015) „Toward an Environmental Internet of Things“, in: Earth and Space Science, Vol. 2, 2015, pp. 194-200.
- Hartmann, Dirk; Janich, Peter (Hrsg.) (1996) „Methodischer Kulturalismus. Zwischen Naturalismus und Postmoderne“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1996.
- Hartmann, Dirk; Janich, Peter (Hrsg.) (1998) „Die Kulturalistische Wende. Zur Orientierung des philosophischen Selbstverständnisses“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1998.
- Hartmann, Eduard von (1896) „Kategorienlehre“, Leipzig: Haacke, 1896.
- Hartmann, Nicolai (1912) „Philosophische Grundfragen der Biologie“, Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1912.
- Hartmann, Nicolai (1921) „Grundzüge einer Metaphysik der Erkenntnis“, 5. Aufl., Berlin: De Gruyter, 1965.
- Hartmann, Nicolai (1935) „Zur Grundlegung der Ontologie“, 4. Aufl., Berlin: De Gruyter, 1965.
- Hartmann, Nicolai (1935) „Systematische Philosophie in eigener Darstellung“, 2. Aufl., Berlin: Junker u. Dünnhaupt, 1935.
- Hartmann, Nicolai (1938) „Möglichkeit und Wirklichkeit“, Berlin: De Gruyter, 1938.
- Hartmann, Nicolai (1940) „Der Aufbau der realen Welt. Grundriss der allgemeinen Kategorienlehre“, 3. Aufl., Berlin: De Gruyter, 1964.
- Hartmann, Nicolai (1942) „Neue Wege der Ontologie“, in: „Systematische Philosophie“, hrsg. v. Hartmann, Nicolai, Stuttgart, Berlin: Kohlhammer, 1942, S. 199-311.
- Hartmann, Nicolai (1943) „Die Anfänge des Schichtungsgedankens in der Alten Philosophie“, Abhandlungen der Preußischen Akademie der Wissenschaften, Jg. 1943, Nr. 3, Berlin: De Gruyter, 1943.

Bibliographie

- Hartmann, Nicolai (1948) „Ziele und Wege der Kategorialanalyse“, in: Zeitschrift für philosophische Forschung, Bd. 2, Nr. 4, 1948, S. 499-536.
- Hartmann, Nicolai (1949a) „Die Erkenntnis im Lichte der Ontologie“, (erw. und veränd. Vortrag in der Münchener Kantgesellschaft gehalten am 26.4.1949), Hamburg: Meiner, 1982.
- Hartmann, Nicolai (1949b) „Einführung in die Philosophie“, hrsg. v. Auerbach, Karl, 2. Aufl., (vom Verfasser genehmigte Nachschrift der Vorlesung im Sommersemester 1949 in Göttingen), Osnabrück, 1952.
- Hartmann, Nicolai (1950) „Philosophie der Natur. Abriß der speziellen Kategorienlehre“, Berlin: De Gruyter, 1950.
- Hartshorne, Charles (1934) „The Parallel Development of Method in Physics and Psychology“, in: Philosophy of Science, Vol. 1, No. 4, 1934, pp. 446-459.
- Hartshorne, Charles (1935) „On Some Criticisms of Whitehead's Philosophy“, in: Philosophical Review, Vol. 44, No. 4, 1935, pp. 323-344.
- Hartshorne, Charles (1941) „Whitehead's Idea of God“, in: „The Philosophy of Alfred North Whitehead“, ed. by Schilpp, Paul A., Evanston, Chicago: Northwestern Univ., 1941, pp. 513-559.
- Hartshorne, Charles (1942) „Organic and Inorganic Wholes“, in: Philosophy and Phenomenological Research, Vol. 3, No. 2, 1942, pp. 127-136.
- Hartshorne, Charles (1961) „Whitehead and Contemporary Philosophy“, in: „The Relevance of Whitehead“, ed. by Leclerc, Ivor, London: Allen & Unwin, 1961, pp. 21-43.
- Hartshorne, Charles (1971) „The Development of Process Philosophy“, in: „Process Theology“, ed. by Cousins, Ewert H., New York et al.: Newman Pr., 1971, pp. 47-66.
- Hartshorne, Charles (1975) „Whitehead and Leibniz: A Comparison“, in: „Contemporary Studies in Philosophical Idealism“, ed. by Howie, John; Buford, Thomas O., Cape Cod/Mass.: Stark, 1975, pp. 95-115.
- Hartshorne, Charles (1983) „Ontological Primacy: A Reply to Buchler“, in: „Explorations in Whitehead's Philosophy“, ed. by Ford, Lewis S.; Kline, George L., New York: Fordham Univ. Pr., 1983, pp. 295-303.
- Hartshorne, Charles (1984) „Whitehead as Central but not Sole Process Philosopher“, in: „Whitehead und der Prozessbegriff“, ed. by Holz, Harald; Wolf-Gazo, Ernest, Beitr. zur Philosophie Alfred North Whiteheads auf d. 1. Int. Whitehead-Symposium 1981, Freiburg, München: Alber, 1984, S. 34-38.
- Harvey, David L.; Reed, Michael (1996) „Social Science as the Study of Complex Systems“, in: „Chaos Theory in the Social Sciences“, ed. by Kiel, L. Douglas; Elliott, Euel, Ann Arbor: Univ. of Michigan Pr., 1996, pp. 295-323.
- Harvey, David L.; Reed, Michael H. (1994) „The Evolution of Dissipative Social Systems“, in: Journal of Social and Evolutionary Systems, Vol. 17, No. 4, 1994, pp. 371-411.
- Hasan, Souleiman; Curry, Edward (2015) „Thingsonomy: Tackling Variety in Internet of Things Events“, in: IEEE Internet Computing, Vol. 19, No. 2, 2015, pp. 10-18.
- Hasan, Souleiman; Curry, Edward; Banduk, Mauricio; O'Riain, Sean (2011) „Toward Situation Awareness for the Semantic Sensor Web: Complex Event Processing with Dynamic Linked Data Enrichment“, in: „SSN11 - Semantic Sensor Networks 2011“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 4th International Workshop on Semantic Sensor Networks, A workshop of the 10th International Semantic Web Conference ISWC 2011, Bonn, Germany, October 23, 2011, pp. 69-81.
- Haselager, Willem F.G.; Van Rappard, Jan Frederik Hendrik (1998) „Connectionism, Systematicity, and the Frame Problem“, in: Minds and Machines, Vol. 8, No. 2, 1998, pp. 161-179.
- Haslanger, Sally (1985) „Change, Persistence, and Possibility“, Ph.D. diss., Univ. of California, Berkeley, 1985.
- Haslanger, Sally (1989a) „Endurance and Temporary Intrinsic“, in: Analysis, Vol. 49, No. 3, 1989, pp. 119-125.
- Haslanger, Sally (1989b) „Persistence, Change, and Explanation“, in: Philosophical Studies, Vol. 56, No. 1, 1989, pp. 1-28.
- Haslanger, Sally (1994) „Humean Supervenience and Enduring Things“, in: Australasian Journal of Philosophy, Vol. 72, No. 3, 1994, pp. 339-359.
- Haslanger, Sally (2003) „Persistence Through Time“, in: „The Oxford Handbook of Metaphysics“, ed. by Loux, Michael J.; Zimmerman, Dean W., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2003, pp. 315-354.
- Hastilow, Neil K. (2013) „Manufacturing Systems Interoperability in Dynamic Change Environments“, Ph.D., Loughborough Univ., 2013.
- Hastilow, Neil K.; Young, Robert I. (2012) „Understanding 'Manufacturing Intelligence': A Precursor to Interoperable Manufacturing Systems“, in: „Enterprise Interoperability V. Shaping Enterprise Interoperability in the Future Internet“, ed. by Poler, Raúl et al., London: Springer, 2012, pp. 49-57.

Bibliographie

- Hastings, Janna et al. (2010) „What are Chemical Structures and Their Relations?“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 257-270.
- Haug, Anders; Hvam, Lars; Mortensen, Niels Henrik (2010) „A Layout Technique for Class Diagrams to be Used in Product Configuration Projects“, in: *Computers in Industry*, Vol. 61, No. 5, 2010, pp. 409-418.
- Haug, Anders; Hvam, Lars; Mortensen, Niels Henrik (2012) „Definition and Evaluation of Product Configurator Development Strategies“, in: *Computers in Industry*, Vol. 63, No. 5, 2012, pp. 471-481.
- Haugeland, John (1985) „Artificial Intelligence: The Very Idea“, 6th Pr., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1993.
- Haugeland, John (1987) „An Overview of the Frame Problem“, in: „The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1987, pp. 77-94.
- Haugeland, John (2013) „Dasein Disclosed: John Haugeland's Heidegger“, ed. by Rouse, Joseph, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 2013.
- Haugh, Brian A. (1990) „Omniscience Isn't Needed to Solve the Frame Problem“, in: *International Journal of Expert Systems*, Vol. 3, No. 3, 1990, pp. 267-291.
- Haun, Matthias (2014) „Cognitive Computing. Steigerung des systemischen Intelligenzprofils“, Berlin et al.: Springer, 2014.
- Hausmann, Clemens; Kemper, Hans-Georg (2016) „A Feature-based Concept for Decision Support to Cope with Product Variety“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 41, 2016, pp. 454-459.
- Hawkes, Elliot; An, Byoungkwon; Benbernou, Nadia; Tanaka, Hiroto; Kim, Sangbae; Demaine, Erik; Rus, Daniela; Wood, R.J. (2010) „Programmable Matter by Folding“, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 107, No. 28, 2010, pp. 12441-12445.
- Hawking, Stephen W. (1988) „A Brief History of Time. From the Big Bang to Black Holes“, Toronto et al.: Bantam Books, 1988.
- Hawking, Stephen W. (2000) „'Unified Theory' Is Getting Closer, Hawking Predicts“, in: Interview, San Jose Mercury News (CA), January 23, 2000, p. 29A.
- Hawking, Stephen W.; Ellis, George F.R. (1973) „The Large Scale Structure of Space-Time“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1973.
- Hawkins, Jeff; Blakeslee, Sandra (2004) „On Intelligence“, New York: St. Martin's Griffin, 2004.
- Hawkins, John A.; Gell-Mann, Murray (1992) „Preface“, in: „The Evolution of Human Languages“, ed. by Hawkins, John A.; Gell-Mann, Murray, Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proc. Vol. XI, Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1992, pp. xiii-xx.
- Hawley, Katherine (1999) „Persistence and Non-Supervenient Relations“, in: *Mind*, Vol. 108, No. 429, 1999, pp. 53-67.
- Hawley, Katherine (2001) „How Things Persist“, Oxford: Clarendon Pr., 2001.
- Hawley, Katherine (2006) „Science as a Guide to Metaphysics?“, in: *Synthese*, Vol. 149, 2006, pp. 451-470.
- Hayek, Friedrich A. von (1972) „Die Theorie komplexer Phänomene“, Walter Eucken Inst., Vorträge und Aufsätze, Nr. 36, Tübingen: Mohr, 1972.
- Hayek, Friedrich A. von (1975) „Die Anmaßung von Wissen“, in: *Ordo*, Bd. 26, 1975, S. 12-21.
- Hayek, Friedrich A. von (1983) „Evolution und spontane Ordnung“, in: „Die Anmaßung von Wissen. Neue Freiburger Studien“, hrsg. v. Kerber, Wolfgang, (Vortrag, gehalten am 5. Juli 1983 in Zürich), Tübingen: Mohr, 1996, S. 102-113.
- Hayes-Roth, Barbara (1995) „An Architecture for Adaptive Intelligent Systems“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 72, No. 1-2, 1995, pp. 329-365.
- Hayes, Patrick J. (1971) „A Logic of Actions“, in: „Machine Intelligence 6“, ed. by Meltzer, Bernard; Michie, Donald, New York: Wiley, 1971, pp. 495-520.
- Hayes, Patrick J. (1973) „The Frame Problem and Related Problems in Artificial Intelligence“, in: „Artificial and Human Thinking“, ed. by Elithorn, Alick; Jones, David Michael, Amsterdam et al.: Elsevier, 1973, pp. 45-59.
- Hayes, Patrick J. (1977) „In Defense of Logic“, Proceedings of the 5th international joint conference on Artificial intelligence (IJCAI'77), Vol. 1, San Francisco/CA: Morgan Kaufmann, 1977, pp. 559-565.
- Hayes, Patrick J. (1979) „The Naïve Physics Manifesto“, in: „Expert Systems in the Micro-Electronic Age“, ed. by Michie, Donald, Edinburgh: Edinburgh Univ. Pr., 1979, pp. 242-270.
- Hayes, Patrick J. (1985a) „Naive Physics I: Ontology for Liquids“, in: „Formal Theories of the Commonsense World“, ed. by Hobbs, Jerry R.; Moore, Robert C., Norwood/NJ: Ablex, 1985, pp. 71-107.
- Hayes, Patrick J. (1985b) „The Second Naive Physics Manifesto“, in: „Formal Theories of the Commonsense World“, ed. by Hobbs, Jerry R.; Moore, Robert C., Norwood/NJ: Ablex, 1985, pp. 1-36.

Bibliographie

- Hayes, Patrick J. (1985c) „Some Problems and Non-Problems in Representation Theory“, in: „Readings in Knowledge Representation“, ed. by Brachman, Ronald J.; Levesque, Hector J., San Mateo/Cal.: Morgan Kaufmann, 1985, pp. 3-22.
- Hayes, Patrick J. (1985d) „The Logic of Frames“, in: „Readings in Knowledge Representation“, ed. by Brachman, Ronald J.; Levesque, Hector J., San Mateo/Cal.: Morgan Kaufmann, 1985, pp. 287-295.
- Hayes, Patrick J. (1987) „What the Frame Problem Is and Isn't“, in: „The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1987, pp. 123-137.
- Hayes, Patrick J. (1990) „Commentary on 'The Frame Problem: Artificial Intelligence Meets David Hume'“, in: *International Journal of Expert Systems*, Vol. 3, No. 3, 1990, pp. 233-238.
- Hayes, Patrick J. (2011) „On Being the Same: Keynote Address“, in: „Classification & Ontology. Formal Approaches and Access to Knowledge“, ed. by Slavic, Aida; Civallero, Edgardo, Proceedings of the International UDC Seminar 19-20 September 2011, The Hague, The Netherlands, Würzburg: Ergon, 2011, pp. 1-2.
- Hayes, Patrick J. (ed.) (2004) „RDF Semantics“, W3C Recommendation 10 February 2004, 2004.
- Hayes, Patrick J.; Ford, Kenneth M. (1992) „Reasoning Agents in a Dynamic World: The Frame Problem (JAI Press 1991, Greenwich CT, 289 pages, ISBN 1-55938-082-9) Precipitate of Hayes and Ford (eds) on Frame-Problem“, in: *Psychology*, Vol. 3, No. 59, Art. 1, 1992.
- Hayes, Patrick J.; Ford, Kenneth M. (1993a) „Effective Descriptions Need Not Be Complete. Reply to Van Brakel on Ford & Hayes on the Frame Problem“, in: *Psychology*, Vol. 4, No. 21, Art. 5, 1993.
- Hayes, Patrick J.; Ford, Kenneth M. (1993b) „Modeling our Adaptive Intelligence, Not God's. Reply to Fetzer on Ford & Hayes on Frame Problem“, in: *Psychology*, Vol. 4, No. 42, Art. 12, 1993.
- Hayes, Patrick J.; Ford, Kenneth M. (1993c) „Problems With Frames. Reply to Freeman on Ford & Hayes on the Frame Problem“, in: *Psychology*, Vol. 4, No. 22, Art. 6, 1993.
- Hayes, Patrick J.; Ford, Kenneth M.; Agnew, Neil M. (1994) „On Babies and Bathwater: A Cautionary Tale“, in: *AI Magazine*, Vol. 15, No. 4, 1994, pp. 15-26.
- Hayes, Patrick J.; Ford, Kenneth M. (1995) „Turing Test Considered Harmful“, *IJCAI'95 Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence - Vol. 1, Montreal/Quebec, Canada - August 20-25 1995, San Francisco/CA: Morgan Kaufmann, 1995, pp. 972-977.*
- Hayes, Patrick J.; Ford, Kenneth M.; Agnew, Neil M. (1996) „Epilog: Goldilocks and the Frame Problem“, in: „The Robot's Dilemma Revisited: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Ford, Kenneth M.; Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1996, pp. 135-137.
- Hayes, Patrick J.; Halpin, Harry (2008) „In Defense of Ambiguity“, in: *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, Vol. 4, No. 2, 2008, pp. 1-18.
- Hayes, Patrick J.; Lehmann, Fritz; Welty, Christopher A. (2002) „Endurantism and Perdurantism: An Ongoing Debate“, 2002.
- Hayes, Patrick J.; Patel-Schneider, Peter F. (2014) „RDF 1.1 Semantics“, W3C Recommendation 25 February 2014, 2014.
- Hayes, Robert H.; Wheelwright, Steven C. (1979a) „Link Manufacturing Process and Product Life Cycles“, in: *Harvard Business Review*, Vol. 57, No. 1, 1979, pp. 133-140.
- Hayes, Robert H.; Wheelwright, Steven C. (1979b) „The Dynamics of Process-Product Life Cycles“, in: *Harvard Business Review*, Vol. 57, No. 2, 1979, pp. 127-136.
- Hazarika, Shyamanta M.; Cohn, Anthony G. (2001) „Qualitative Spatio-Temporal Continuity“, in: „Spatial Information Theory“, ed. by Montello, Daniel R., Foundations of Geographic Information Science International Conference, COSIT 2001 Morro Bay/CA, USA, September 19-23, 2001, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2001, pp. 92-107.
- Hazarika, Shyamanta M.; Cohn, Anthony G. (2002) „Abducting Qualitative Spatio-Temporal Histories from Partial Observations“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Fensel, Dieter et al., Proceedings of the Eighth International Conference (KR2002), Toulouse, France, April 22-25, 2002, San Francisco/Calif.: Morgan Kaufmann, 2002, pp. 14-25.
- Hazman, Maryam; El-Beltagy, Samhaa R.; Rafea, Ahmed (2011) „A Survey of Ontology Learning Approaches“, in: *International Journal of Computer Applications*, Vol. 22, No. 9, 2011, pp. 36-43.
- He, Hongbing (2017) „Philosophy of Information and 'New Revolution of Philosophy'“, in: *Proceedings*, Vol. 1, No. 3, Art. 102, 2017, pp. 1-4.
- He, Peng; Wang, QingLin; Yu, JiaCheng (2006) „A Multi-Agent Model for Reconfigurable Manufacturing System Based on Complex Adaptive System“, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 9-15 Oct. 2006, Beijing, 2006, pp. 3723-3727.

Bibliographie

- He, Wu; Xu, Li Da (2014) „Integration of Distributed Enterprise Applications: A Survey“, in: IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 10, No. 1, 2014, pp. 35-42.
- Headrick, Dan (2015) „4D Printing Transforms Product Design“, in: Research-Technology Management, Vol. 58, No. 2, 2015, pp. 7-8.
- Heard, Daniel (2006) „A New Problem for Ontological Emergence“, in: Philosophical Quarterly, Vol. 56, No. 222, 2006, pp. 55-62.
- Heath, Tom; Bizer, Christian (2011) „Linked Data. Evolving the Web into a Global Data Space“, San Rafael/CA: Morgan & Claypool, 2011.
- Hedrich, Reiner (1990) „Komplexe und fundamentale Strukturen. Grenzen des Reduktionismus“, Mannheim: B.I. Wissenschaftsverl., 1990.
- Hedrich, Reiner (1991) „Strukturelle Irreduzibilität bei komplexen Systemen“, in: „Didaktik der Physik“, hrsg. v. Kuhn, Wilfried, Giessen, 1991, S. 497-516.
- Hedrich, Reiner (1994) „Die Entdeckung der Komplexität. Skizzen einer strukturwissenschaftlichen Revolution“, Thun, Frankfurt/Main: Deutsch, 1994.
- Hedrich, Reiner (1999) „The Sciences of Complexity: A Kuhnian Revolution in Science?“, in: Epistemologia - Rivista Italiana di Filosofia della Scienza, Vol. 22, No. 2, 1999, pp. 293-320.
- Hedrich, Reiner (2002) „Zelluläre Automaten - Diskrete Modelle der Welt?“, in: Philosophia Naturalis, Bd. 39, Nr. 1, 2002, S. 1-24.
- Heer, Thomas; Retkowitz, Daniel; Kraft, Bodo (2009) „Tool Support for the Integration of Light-Weight Ontologies“, in: „Enterprise Information Systems, 10th International Conference, ICEIS 2008, Barcelona, Spain, June 12-16, 2008, Revised Selected Papers, Vol. 19 of LNBIP“, ed. by Filipe, Joaquim; Cordeiro, José, Springer, 2009, pp. 175-187.
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1799) „Gesammelte Werke. Bd. 5: Schriften und Entwürfe (1799-1808)“, hrsg. v. Baum, Manfred; Meist, Kurt Rainer, Hamburg: Meiner, 1998.
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1807) „Gesammelte Werke. Bd. 9: Phänomenologie des Geistes“, hrsg. v. Bonsiepen, Wolfgang; Heede, Reinhard, Hamburg: Meiner, 1980.
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1812) „Gesammelte Werke. Bd. 11: Wissenschaft der Logik. Erster Band - Die Objektive Logik (1812/1813)“, hrsg. v. Hogemann, Friedrich; Jaeschke, Walter, Hamburg: Meiner, 1978.
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1816) „Gesammelte Werke. Bd. 12: Wissenschaft der Logik. Zweiter Band - Die Subjektive Logik“, hrsg. v. Hogemann, Friedrich; Jaeschke, Walter, Hamburg: Meiner, 1981.
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1821) „Grundlinien der Philosophie des Rechts“, hrsg. v. Lasson, Georg, Neudr., Leipzig: Meiner, 1911.
- Hegel, Georg Wilhelm Friedrich (1836) „Georg Wilhelm Friedrich Hegel's Werke. Bd. 15“, Berlin: Duncker u. Humblot, 1836.
- Heidegger, Martin (1927) „Sein und Zeit“, 19. Aufl., Tübingen: Niemeyer, 2006.
- Heidegger, Martin (1929) „Was ist Metaphysik?“, Bonn: Cohen, 1929.
- Heidegger, Martin (1953) „Einführung in die Metaphysik“, Tübingen: Niemeyer, 1953.
- Heidegger, Martin (1966) „Spiegel-Gespräch mit Martin Heidegger (23. September 1966)“, in: „Gesamtausgabe. I. Abteilung: Veröffentlichte Schriften 1910-1976, Bd. 16: Reden und andere Zeugnisse eines Lebensweges“, hrsg. v. Heidegger, Hermann, Frankfurt/Main: Klostermann, 2000, S. 652-683.
- Heidegger, Martin (1972) „The End of Philosophy and the Task of Thinking“, in: On Time and Being, (transl. by Joan Stambaugh), New York/NY: Harper & Row, 1972, pp. 55-73.
- Heidegger, Martin (1977) „Holzwege“, (Gesamtausgabe, Bd. 5), Frankfurt/Main: Klostermann, 1977.
- Heidegger, Martin (1984) „The Metaphysical Foundations of Logic“, Bloomington: Indiana Univ. Pr., 1984.
- Heikkilä, Rauno; Hovila, Jani; Ahola, Jari M.; Nevala, Kalervo; Schäfer, Timo (2011) „Digital Product Process for Construction Product Industry“, CIB Co-sponsored: 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2011), 2011, pp. 734-739.
- Heil, John (1983) „Perception and Cognition“, Berkeley et al.: Univ. of California Pr., 1983.
- Heil, John (2003) „From an Ontological Point of View“, Oxford: Clarendon Pr., 2003.
- Heil, John (2006) „On Being Ontologically Serious“, in: „John Heil. Symposium on his Ontological Point of View“, ed. by Esfeld, Michael, Frankfurt/Main: Ontos, 2006, pp. 15-27.
- Heil, John (2007) „Précis of From an Ontological Point of View“, in: „Symposium on From an Ontological Point of View by John Heil“, ed. by Romano, Giacomo, SWIF Philosophy of Mind Review, Vol. 6, No. 2, 2007, pp. 11-21.
- Heim, Michael (1993) „The Metaphysics of Virtual Reality“, New York et al.: Oxford Univ. Pr., 1993.

Bibliographie

- Heisenberg, Werner (1931) „Kausalgesetz und Quantenmechanik“, in: Erkenntnis, Bd. 2 (zugl. Annalen d. Philos., Bd. 10), 1931, S. 172-182.
- Heisenberg, Werner (1955) „Das Naturbild in der heutigen Physik“, Hamburg: Rowohlt, 1955.
- Heisenberg, Werner (1959) „Physik und Philosophie“, Stuttgart: Hirzel, 1959.
- Heisenberg, Werner (1969) „Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik“, München: Piper, 1969.
- Heisenberg, Werner (1989) „Ordnung der Wirklichkeit“, München et al.: Piper, 1989.
- Heller, Barbara; Herre, Heinrich (2003a) „Formal Ontology and the Research Project GOL“, in: „Content- und Wissensmanagement“, ed. by Fähnrich, Klaus-Peter; Herre, Heinrich, Beiträge auf den LIT'03, Leipzig: Univ. Leipzig, 2003, S. 106-116.
- Heller, Barbara; Herre, Heinrich (2003b) „Ontological Categories in GOL“, in: „Process Theories. Crossdisciplinary Studies in Dynamic Categories“, ed. by Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Kluwer, 2003, pp. 57-76.
- Heller, Barbara; Herre, Heinrich; Lippoldt, Kristin (2004) „The Theory of Top-Level Ontological Mappings and Its Application to Clinical Trial Protocols“, in: „Engineering Knowledge in the Age of the Semantic Web“, ed. by Motta, Enrico et al., 14th International Conference, EKAW 2004, Whittlebury Hall, UK, October 5-8, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 1-14.
- Heller, Mark (1984) „Temporal Parts of Four Dimensional Objects“, in: Philosophical Studies, Vol. 46, No. 3, 1984, pp. 323-334.
- Heller, Mark (1990) „The Ontology of Physical Objects. Four-Dimensional Hunks of Matter“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1990.
- Heller, Mark (1992) „Things Change“, in: Philosophy and Phenomenological Research, Vol. 52, No. 3, 1992, pp. 695-704.
- Heller, Mark (1993) „Varieties of Four Dimensionalism“, in: Australasian Journal of Philosophy, Vol. 71, No. 1, 1993, pp. 47-59.
- Heller, Mark (2000) „Temporal Overlap is Not Coincidence“, in: The Monist, Vol. 83, No. 3, 2000, pp. 362-380.
- Helmholtz, Hermann von (1869) „Über das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft“, in: „Populäre wissenschaftliche Vorträge“, hrsg. v. Helmholtz, Hermann von, zweites Heft (Eröffnungsrede für die Naturforscherversammlung zu Innsbruck, 1869), Braunschweig: Vieweg, 1871, S. 181-211.
- Hempel, Carl G. (1942) „The Function of General Laws in History“, in: Journal of Philosophy, Vol. 39, No. 2, 1942, pp. 35-48.
- Hempel, Carl G.; Oppenheim, Paul (1948) „The Logic of Explanation“, in: „Readings in the Philosophy of Science“, ed. by Feigl, Herbert; Brodbeck, May, (Repr. from Philosophy of Science, Vol. 15, 1948), New York: Appleton-Century-Crofts, 1953, pp. 319-352.
- Henderson-Sellers, Brian (2011) „Random Thoughts on Multi-level Conceptual Modelling“, 2011, pp. 93-116.
- Henderson-Sellers, Brian (2012) „On the Mathematics of Modelling, Metamodeling, Ontologies and Modeling Languages“, Heidelberg et al.: Springer, 2012.
- Henderson-Sellers, Brian; Eriksson, Owen; Gonzalez-Perez, Cesar; Ågerfalk, Pär J. (2013a) „Ptolemaic Metamodeling? The Need for a Paradigm Shift“, in: „Progressions and Innovations in Model-Driven Software Engineering“, ed. by García Díaz, Vicente et al., Hershey/PA: IGI Global, 2013, pp. 90-146.
- Henderson-Sellers, Brian; Gonzalez-Perez, Cesar; Walkerden, Greg (2013b) „An Application of Philosophy in Software Modelling and Future Information Systems Development“, in: „Advanced Information Systems Engineering Workshops“, ed. by Franch, Xavier; Soffer, Pnina, Proceedings CAiSE 2013 International Workshops, Valencia, Spain, June 17-21, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 329-340.
- Henderson, George Patrick (1957/58) „Intensional Entities, and Ontology“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, N.S., Vol. 58, 1957/1958, pp. 269-288.
- Hendler, James A. (2001) „Agents and the Semantic Web“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 16, No. 2, 2001, pp. 30-37.
- Hendler, James A. (2002) „The Semantic Web: KR's Worst Nightmare?“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Fensel, Dieter et al., Proceedings of the Eighth International Conference (KR2002), Toulouse, France, April 22-25, 2002, San Francisco/Calif.: Morgan Kaufmann, 2002, p. 630.
- Hendler, James A. (2003) „Science and the Semantic Web“, in: Science (America), Vol. 299, No. 5606, 2003, pp. 520-521.

Bibliographie

- Hendler, James A. (2009) „Web 3.0 Emerging“, in: IEEE Computer, Vol. 42, No. 1, 2009, pp. 111-113.
- Hendler, James A.; Berners-Lee, Tim (2010) „From the Semantic Web to Social Machines: A Research Challenge for AI on the World Wide Web“, in: Artificial Intelligence, Vol. 174, No. 2, 2010, pp. 156-161.
- Hendler, James A.; Van Harmelen, Frank (2008) „The Semantic Web: Webizing Knowledge Representation“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 821-839.
- Hendrichs, Hubert (1984) „Bemerkungen zu einer möglichen Bedeutung der organismischen Philosophie Whiteheads für die theoretische Biologie“, in: „Whitehead und der Prozessbegriff“, hrsg. v. Holz, Harald; Wolf-Gazo, Ernest, Beitr. zur Philosophie Alfred North Whiteheads auf d. 1. Int. Whitehead-Symposium 1981, Freiburg, München: Alber, 1984, S. 205-219.
- Hendricks, Scott (2006) „The Frame Problem and Theories of Belief“, in: Philosophical Studies, Vol. 129, No. 2, 2006, pp. 317-333.
- Hendrickson, Noel (2006) „Towards a More Plausible Exemplification Theory of Events“, in: Philosophical Studies, Vol. 129, No. 2, 2006, pp. 349-375.
- Hendriks-Jansen, Horst (1996) „Catching Ourselves in the Act: Situated Activity, Interactive Emergence, Evolution, and Human Thought“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1996.
- Hendryx, Stan (2005) „Model-Driven Architecture and the Semantics of Business Vocabulary and Business Rules“, Hendryx & Associates, September 26, 2005.
- Henle, Paul (1942) „The Status of Emergence“, in: Journal of Philosophy, Vol. 39, No. 18, 1942, pp. 486-493.
- Henricksen, Karen; Indulska, Jadwiga; McFadden, Ted (2005) „Modelling Context Information with ORM“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 626-635.
- Henry, Granville C. (1993) „Forms of Concrecence: Alfred North Whitehead's Philosophy and Computer Programming Structures“, Bucknell Univ. Pr., 1993.
- Henry, Granville C.; Geertsen, Michael G. (1986) „Whiteheadian Philosophy and Prolog Computer Programming“, in: Process Studies, Vol. 15, No. 3, 1986, pp. 181-191.
- Henson, Cory A.; Pschorr, Josh K.; Sheth, Amit P.; Thirunarayan, Krishnaprasad (2009) „SemSOS: Semantic Sensor Observation Service“, Proceedings of the International Symposium on Collaborative Technologies and Systems (CTS 2009), Baltimore/MD, May 18-22, 2009.
- Henson, Cory A.; Thirunarayan, Krishnaprasad; Sheth, Amit (2012) „An Efficient Bit Vector Approach to Semantics-Based Machine Perception in Resource-Constrained Devices“, in: „The Semantic Web - ISWC 2012“, ed. by Cudré-Mauroux, Philippe et al., 11th International Semantic Web Conference, Boston, MA, USA, November 11-15, 2012, Proceedings, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 149-164.
- Hentz, Jean-Bernard et al. (2013) „An Enabling Digital Foundation Towards Smart Machining“, in: Procedia CIRP, Vol. 12, 2013, pp. 240-245.
- Hepp, Martin (2006a) „Products and Services Ontologies: A Methodology for Deriving OWL Ontologies from Industrial Categorization Standards“, in: International Journal on Semantic Web and Information Systems, Vol. 2, No. 1, 2006, pp. 72-99.
- Hepp, Martin (2006b) „Semantic Web and Semantic Web Services: Father and Son or Indivisible Twins?“, in: IEEE Internet Computing, Vol. 10, No. 2, 2006, pp. 85-88.
- Hepp, Martin (2007) „Possible Ontologies: How Reality Constrains the Development of Relevant Ontologies“, in: IEEE Internet Computing, Vol. 11, No. 1, 2007, pp. 90-96.
- Hepp, Martin (2008a) „GoodRelations: An Ontology for Describing Products and Services Offers on the Web“, in: „Knowledge Engineering: Practice and Patterns“, ed. by Gangemi, Aldo; Euzenat, Jérôme, 16th International Conference, EKAW 2008, Acitrezza, Italy, September 29-October 2, 2008, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 329-346.
- Hepp, Martin (2008b) „Ontologies: State of the Art, Business Potential, and Grand Challenges“, in: „Ontology Management. Semantic Web, Semantic Web Services, and Business Applications“, ed. by Hepp, Martin et al., New York/NY: Springer, 2008, pp. 3-22.
- Hepp, Martin; Roman, Dumitru (2007) „An Ontology Framework for Semantic Business Process Management“, in: „eOrganisation: Service-, Prozess-, Market-Engineering“, ed. by Oberweis, A. et al., Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik, Bd. 1, Karlsruhe: Univ.-Verl., 2007, S. 423-440.
- Hepperle, Clemens; Thanner, Stefan; Mortl, Markus; Lindemann, Udo (2010) „An Integrated Product Lifecycle Model and Interrelations In-between the Lifecycle Phases“, in: „Product Lifecycle Manage-

- ment“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 679-689.
- Herbert, Sandra (1971) „Darwin, Malthus, and Selection“, in: *Journal of the History of Biology*, Vol. 4, No. 1, 1971, pp. 209-217.
- Heredia, José Antonio; Estruch, Antonio; Coltell, Oscar; Pérez del Rey, David; De la Calle, Guillermo et al. (2005) „Service Oriented Architecture for Biomedical Collaborative Research“, in: „Biological and Medical Data Analysis“, ed. by Oliveira, José Luís et al., 6th International Symposium, ISBMDA 2005, Aveiro, Portugal, November 10-11, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 252-261.
- Hermes, Hans; Scholz, Heinrich (1952) „Mathematische Logik“, in: „Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften, Bd. II, Heft“ 1, Teil 1“, hrsg. v. Deuring, Max et al., 2., völlig neubearb. Aufl., Leipzig: Teubner, 1952.
- Hernes, Marcin (2015) „The Semantic Method for Agents' Knowledge Representation in the Cognitive Integrated Management Information System“, *Position Papers of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems, ACSIS*, Vol. 6, 2015, pp. 195-202.
- Herre, Heinrich (2010a) „General Formal Ontology (GFO): A Foundational Ontology for Conceptual Modelling“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 297-345.
- Herre, Heinrich (2010b) „The Ontology of Mereological Systems: A Logical Approach“, in: „Theory and Applications of Ontology: Philosophical Perspectives“, ed. by Poli, Roberto; Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 57-82.
- Herre, Heinrich (2010c) „The Ontology of Medical Terminological Systems: Towards the Next Generation of Medical Ontologies“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 373-391.
- Herre, Heinrich (2015a) „Formal Ontology - A New Discipline Between Philosophy, Formal Logic, and Artificial Intelligence“, in: „Kybernetik, Logik, Semiotik: Philosophische Sichtweisen“, hrsg. v. Fuchs-Kittowski, Klaus; Zimmermann, Rainer E., Tagung aus Anlass des 100. Geburtstages von Georg Klaus (2012, Berlin), Berlin: Trafo Wiss.-Verl., 2015, S. 375-389.
- Herre, Heinrich (2015b) „Persistence, Change, and the Integration of Objects and Processes in the Framework of the General Formal Ontology“, in: „Dynamic Being: Essays in Process-Relational Ontology“, ed. by Petrov, Vesselin; Scarfe, Adam C., Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, 2015, pp. 337-355.
- Herre, Heinrich; Benking, Heiner (2013) „Formal Ontology and Principles and Prospects of Knowledge Organisation: An Axiomatic Approach“, 2013.
- Herre, Heinrich; Heller, Barbara (2005) „Ontology of Time and Situations in Medical Conceptual Modeling“, in: „Artificial Intelligence in Medicine“, ed. by Miksch, Silvia et al., 10th Conference on Artificial Intelligence in Medicine, AIME 2005, Aberdeen, UK, July 23-27, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 266-275.
- Herre, Heinrich; Heller, Barbara (2006) „Semantic Foundations of Medical Information Systems Based on Top-level Ontologies“, in: *Knowledge-Based Systems*, Vol. 19, No. 2, 2006, pp. 107-115.
- Herre, Heinrich; Heller, Barbara; Burek, Patryk; Hoehndorf, Robert; Loebe, Frank; Michalek, Hannes (2006) „General Formal Ontology (GFO). Part I: Basic Principles“, Vers. 1.0, *Onto-Med Report*, Nr. 8. Research Group Ontologies in Medicine (Onto-Med), Univ. of Leipzig, 2006.
- Herre, Heinrich; Loebe, Frank (2005) „A Meta-ontological Architecture for Foundational Ontologies“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Vol. Part II, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 1398-1415.
- Herre, Heinrich; Wagner, Gerd (1997) „Stable Models are Generated by a Stable Chain“, in: *The Journal of Logic Programming*, Vol. 30, No. 2, 1997, pp. 165-177.
- Herrera, Carlos; Sanz, Ricardo (2016) „Heideggerian AI and the Being of Robots“, in: „Fundamental Issues of Artificial Intelligence“, ed. by Müller, Vincent C., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 495-511.
- Herrera, Susana I.; Pallioto, Diana; Tkachuk, Gregorio N.; Luna, Pedro A. (2005) „Ontological Modelling of Information Systems from Bunge's Contributions“, in: *Proceedings of CAiSE Workshops (2)*, 2005, pp. 571-581.
- Herrmann, Christoph; Kuntzky, Katrin; Mennenga, Mark; Royer-Torney, Meike; Bergmann, Lars (2010) „Joint Framework for Product Service Systems and Life Cycle Management“, ed. by Sakao, Tomohiko et al., *CIRP IPS² Conference*, Linköping, 14-15 April, 2010, pp. 453-459.

Bibliographie

- Herterich, Matthias M.; Uebernickel, Falk; Brenner, Walter (2015) „The Impact of Cyber-physical Systems on Industrial Services in Manufacturing“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 30, 2015, pp. 323-328.
- Hertz, Heinrich (1894) „Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt“, Leipzig: Barth, 1894.
- Herzberg, Nico; Meyer, Andreas; Khovalko, Oleh; Weske, Mathias (2013) „Improving Business Process Intelligence with Object State Transition Events“, in: „Conceptual Modeling“, ed. by Ng, Wilfred et al., 32th Int. Conference, ER 2013, Hong-Kong, China, November 11-13, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 146-160.
- Hess, Claudia; Lambertz, Julian; Syldatke, Thomas (2009) „Ontologien im Praxiseinsatz: Erfahrung bei der Audi AG“, in: *Objektspektrum*, Nr. 6, 2009, S. 46-51.
- Hesse, Mary B. (1955) „Action at a Distance in Classical Physics“, in: *Isis*, Vol. 46, No. 4, 1955, pp. 337-353.
- Hesse, Wolfgang (2002) „Ontologie(n)“, in: *Informatik Spektrum*, Vol. 25, No. 6, 2002, pp. 477-480.
- Hesse, Wolfgang (2008) „Engineers Discovering the ‘Real World’ - From Model-Driven to Ontology-Based Software Engineering“, in: „Information Systems and e-Business Technologies“, ed. by Kaschek, Roland et al., 2nd International United Information Systems Conference UNISCON 2008 Klagenfurt, Austria, April 22-25, 2008 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 136-147.
- Hessellund, Anders (2006) „Modeling Issues in REA“, 2006.
- Heußner, Alexander (2008) „Conceptual Graphs with Relators and Roles. A GFO Coined View onto CG's Relations“, in: „Supplementary Proceedings of ICCS'08“, ed. by Eklund, Peter; Haemmerlé, Ollivier, Supplementary Proceedings of the 16th International Conference on Conceptual Structures (ICCS'08), Toulouse, France, July 7-11, 2008, pp. 25-32.
- Hewlett Packard (2016) „The Internet of Things and Connected Cars: IoT on Board“, Hewlett Packard Enterprise (HPE), Business White Paper, 2016.
- Higginbotham, James; Pianesi, Fabio; Varzi, Achille C. (eds.) (2000) „Speaking of Events“, New York et al.: Oxford Univ. Pr., 2000.
- Higgins, Paul et al. (1991) „Production Management: State of the Art and Perspectives“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeingts, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 3-14.
- Hilbert, David; Ackermann, Wilhelm (1928) „Grundzüge der theoretischen Logik“, Berlin: Springer, 1928.
- Hilera, José R.; Ruiz, Francisco (2006) „Ontologies in Ubiquitous Computing“, in: „ICUC 2006. Ubiquitous Computing“, ed. by Hilera, José R. et al., Proceedings of the I International Conference on Ubiquitous Computing: Applications, Technology and Social Issues, Madrid/Spain, 2006.
- Hill, Archibald V. (1931) „Adventures in Biophysics“, London: Milford, 1931.
- Hiller, Jonathan; Lipson, Hod (2009) „Design and Analysis of Digital Materials for Physical 3D Voxel Printing“, in: *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 15, No. 2, 2009, pp. 137-149.
- Hinchliff, Mark (1996) „The Puzzle of Change“, in: *Noûs*, Vol. 30, Supplement: Philosophical Perspectives, 10, Metaphysics, 1996, pp. 119-136.
- Hinkelmann, Knut; Gerber, Aurlon; Karagiannis, Dimitris; Thoenssen, Barbara; Van der Merwe, Alta; Woitsch, Robert (2016) „A New Paradigm for the Continuous Alignment of Business and IT: Combining Enterprise Architecture Modelling and Enterprise Ontology“, in: *Computers in Industry*, Vol. 79, 2016, pp. 77-86.
- Hinkelmann, Knut; Maise, Michaela; Thönssen, Barbara (2013) „Connecting Enterprise Architecture and Information Objects Using an Enterprise Ontology“, Enterprise Systems Conference, Cape Town, November 2013, 2013, pp. 1-11.
- Hintenaus, Peter (2015) „Engineering Embedded Systems: Physics, Programs, Circuits“, Cham et al.: Springer, 2015.
- Hintikka, Jaakko (1962) „Knowledge and Belief“, Ithaca/NY: Cornell Univ. Pr., 1962.
- Hintikka, Jaakko (1970) „Information, Deduction, and the A Priori“, in: *Noûs*, Vol. 4, No. 2, 1970, pp. 135-152.
- Hintz, Howard W. (1955) „A.N. Whitehead and the Philosophical Synthesis“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 52, No. 9, 1955, pp. 225-243.
- Hiramatsu, Kaoru; Akahani, Jun-ichi; Satoh, Tetsuji (2004) „Querying Real World Services Through the Semantic Web“, in: „The Semantic Web - ISWC 2004“, ed. by McIlraith, Sheila A. et al., Third Interna-

Bibliographie

- tional Semantic Web Conference, Hiroshima/Japan, November 7-11, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 741-751.
- Hirsch, Eli (2002) „Against Revisionary Ontology“, in: *Philosophical Topics*, Vol. 30, No. 1, 2002, pp. 102-127.
- Hirschheim, Rudy; Klein, Heinz K.; Lyytinen, Kalle (1995) „Information Systems Development and Data Modeling: Conceptual and Philosophical Foundations“, Cambridge, New York: Cambridge Univ. Pr., 1995.
- Hirschman, Albert O. (1970) „Exit, Voice, and Loyalty. Responses to Decline in Firms, Organizations, and States“, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1970.
- Hirst, Graeme (1989) „Ontological Assumptions in Knowledge Representation“, in: „Proceedings of the First International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Brachman, Ronald J.; Levesque, Hector J.; Reiter, Raymond, (Toronto/Ont., May 15-18, 1989), San Mateo/Cal.: Morgan Kaufmann, 1989, pp. 157-169.
- Hirst, Graeme (1991) „Existence Assumptions in Knowledge Representation“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 49, 1991, pp. 199-242.
- Hirst, Graeme (2009) „Ontology and the Lexicon“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 269-292.
- Hitachi (2010) „How Financial Services Can Use Product Lifecycle Management to Ensure Regulatory Compliance“, White Paper, Hitachi Consulting, 2010.
- Hitzler, Pascal; Krötzsch, Markus; Rudolph, Sebastian (2009) „Foundations of Semantic Web Technologies“, Boca Raton/FL: Chapman and Hall, 2009.
- Hitzler, Pascal; Krötzsch, Markus; Rudolph, Sebastian; Sure, York (2008) „Semantic Web“, Berlin et al.: Springer, 2008.
- Hitzler, Pascal; Parsia, Bijan (2009) „Ontologies and Rules“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 111-132.
- Hnatkowska, Bogumila; Huzar, Zbigniew; Dubielewicz, Iwona; Tuzinkiewicz, Lech (2015) „Development of Domain Model Based on SUMO Ontology“, in: „Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability“, ed. by Zamojski, Wojciech et al., Proceedings of the Tenth International Conference on Dependability and Complex Systems DepCoS-RELCOMEX, June 29 - July 3 2015, Brunów/Poland, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 163-173.
- Hobbs, Jerry R. (1985a) „Introduction“, in: „Formal Theories of the Commonsense World“, ed. by Hobbs, Jerry R.; Moore, Robert C., Norwood/NJ: Ablex, 1985, pp. xi-xxii.
- Hobbs, Jerry R. (1985b) „Ontological Promiscuity“, Proceedings, 23rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Chicago/Illinois, 1985, pp. 61-69.
- Hobbs, Jerry R. (1995) „Sketch of an Ontology Underlying the Way We Talk About the World“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 819-830.
- Hobbs, Jerry R.; Croft, William; Davies, Todd; Edwards, Douglas; Laws, Kenneth (1987) „Commonsense Metaphysics and Lexical Semantics“, in: *Computational Linguistics*, Vol. 13, No. 3-4, 1987, pp. 241-250.
- Hobbs, Jerry R.; Gordon, Andrew (2010) „Goals in a Formal Theory of Commonsense Psychology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 59-72.
- Hobbs, Jerry R.; Sagae, Alicia; Wertheim, Suzanne (2012) „Toward a Commonsense Theory of Microsociology: Interpersonal Relationships“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 249-262.
- Hochberg, Herbert (2011) „Properties, Facts and Complexity“, in: „Ontological Categories“, ed. by Cumpa, Javier; Tegmeier, Erwin, Frankfurt/Main: Ontos, 2011, pp. 67-88.
- Hocking, William E. (1961) „Whitehead as I knew Him“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 58, No. 19, Whitehead Centennial Issue, 1961, pp. 505-516.
- Hodges, Andrew (1983) „Alan Turing: The Enigma“, New York: Simon and Schuster, 1983.
- Hodgson, Geoffrey M. (1993) „The Economy as an Organism - Not a Machine“, in: *Futures*, Vol. 25, No. 4, 1993, pp. 392-403.
- Hoffman, Joshua; Rosenkrantz, Gary S. (1991) „The Independence Criterion of Substance“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 51, No. 4, 1991, pp. 835-853.
- Hoffman, Joshua; Rosenkrantz, Gary S. (1994) „Substance among other Categories“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1994.

Bibliographie

- Hoffman, Joshua; Rosenkrantz, Gary S. (1997) „Substance. Its Nature and Existence“, London, New York: Routledge, 1997.
- Hofkirchner, Wolfgang (2001) „The Hidden Ontology: Real-World Evolutionary Systems Concept as Key to Information Science“, in: *Emergence*, Vol. 3, No. 3, 2001, pp. 22-41.
- Hofstadter, Douglas R. (1979) „Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid“, London et al.: Penguin, 1979.
- Hofstadter, Douglas R. (1985) „Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern“, New York: Basic Books, 1985.
- Hogarth, Robin M. (1980) „Judgement and Choice: The Psychology of Decision“, Chichester et al.: Wiley, 1980.
- Hois, Joana; Bhatt, Mehul; Kutz, Oliver (2009) „Modular Ontologies for Architectural Design“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Ferrario, Roberta; Oltramari, Alessandro, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2009, pp. 66-77.
- Hois, Joana; Kutz, Oliver (2008) „Counterparts in Language and Space: Similarity and S-Connection“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 266-279.
- Holl, Alfred; Auerochs, Robert (2004) „Analogisches Denken als Erkenntnisstrategie zur Modellbildung in der Wirtschaftsinformatik“, in: „Wissenschaftstheorie in Ökonomie und Wirtschaftsinformatik: Theoriebildung und -Bewertung, Ontologien, Wissensmanagement“, hrsg. v. Frank, Ulrich, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag, 2004, S. 367-389.
- Holland, John H. (1962) „Outline for a Logical Theory of Adaptive Systems“, in: *Journal of the ACM*, Vol. 9, No. 3, 1962, pp. 297-314.
- Holland, John H. (1975) „Adaptation in Natural and Artificial Systems“, Ann Arbor: Univ. of Michigan Pr., 1975.
- Holland, John H. (1986) „Escaping Brittleness: The Possibilities of General-Purpose Learning Algorithms Applied to Parallel Rule-Based Systems“, in: „Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach: Volume II“, ed. by Michalski, Ryszard S. et al., Los Altos/CA: Morgan Kaufmann, 1986, pp. 593-624.
- Holland, John H. (1987) „Complex Adaptive Systems: A Primer“, in: *Bulletin of the Santa Fe Institute*, Vol. 2, No. 1, 1987, pp. 8-11.
- Holland, John H. (1992) „Adaptation in Natural and Artificial Systems“, Rev. ed., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1992.
- Holland, John H. (1995a) „Can There Be a Unified Theory of Complex Adaptive Systems?“, in: „The Mind, The Brain, and Complex Adaptive Systems“, ed. by Morowitz, Harold J.; Singer, Jerome L., Reading/Mass. et al.: Addison-Wesley, 1995, pp. 45-50.
- Holland, John H. (1995b) „Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity“, New York: Helix Books, 1995.
- Holland, John H. (1999) „Emergence. From Chaos to Order“, Cambridge/Mass.: Perseus, 1999.
- Holland, John H. (2001) „Exploring the Evolution of Complexity in Signaling Networks“, in: *Complexity*, Vol. 7, No. 2, 2001, pp. 34-45.
- Holland, John H. (2002) „Complex Adaptive Systems and Spontaneous Emergence“, in: „Complexity and Industrial Clusters. Dynamics and Models in Theory and Practice“, ed. by Quadrio Curzio, Alberto; Fortis, Marco, Heidelberg, New York: Physica, 2002, pp. 25-34.
- Holland, John H. (2006) „Studying Complex Adaptive Systems“, in: *Journal of Systems Science and Complexity*, Vol. 19, No. 1, 2006, pp. 1-8.
- Holland, John H.; Holyoak, Keith J.; Nisbett, Richard E.; Thagard, Paul R. (1986) „Induction. Processes of Inference, Learning, and Discovery“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1986.
- Holland, John H.; Miller, John H. (1991) „Artificial Adaptive Agents in Economic Theory“, in: *American Economic Review, Papers and Proceedings*, Vol. 81, No. 2, 1991, pp. 365-370.
- Holler, Manuel; Stoekli, Emanuel; Uebernickel, Falk; Brenner, Walter (2016) „Towards Understanding Closed-loop PLM: The Role of Product Usage Data for Product Development Enabled by Intelligent Properties“, Proceedings of the 29th Bled eConference on Digital Economy, Bled/Slovenia, June 19-22, 2016, pp. 479-491.
- Hollick, Malcolm (2006) „The Science of Oneness. A Worldview for the Twenty-First Century“, Winchester et al.: O Books, 2006.
- Holmberg, Nicklas; Johansson, Björn (2012) „Viewing Enterprise Resource Planning Systems as Services: A Conceptual View, Based on Practical Experiences, of Designing Information Systems as Services“, in: „Advanced Information Systems Engineering Workshops“, ed. by Bajec, Marko; Eder, Johann, CAiSE

Bibliographie

- 2012 International Workshops, Gdansk, Poland, June 25-26, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 616-623.
- Holmström, Jan; Kajosaari, Risto; Främling, Kary; Langius, Erik (2009) „Roadmap to Tracking Based Business and Intelligent Products“, in: *Computers in Industry*, Vol. 60, No. 3, 2009, pp. 229-233.
- Holz, Harald (1984a) „Ein neues Paradigma: Whitehead Redivivus“, in: „Whitehead und der Prozessbegriff“, hrsg. v. Holz, Harald; Wolf-Gazo, Ernest, Beitr. zur Philosophie Alfred North Whiteheads auf d. 1. Int. Whitehead-Symposium 1981, Freiburg, München: Alber, 1984, S. 39-43.
- Holz, Harald (1984b) „Über den Begriff der Potenzialität bei Aristoteles, Schelling und Whitehead“, in: „Whitehead und der Prozessbegriff“, hrsg. v. Holz, Harald; Wolf-Gazo, Ernest, Beitr. zur Philosophie Alfred North Whiteheads auf d. 1. Int. Whitehead-Symposium 1981, Freiburg, München: Alber, 1984, S. 404-423.
- Holzhey, Helmut (1990) „Das Postulat eines neuen Naturbegriffs. Zur Kritik an der aristotelischen Naturphilosophie bei Leibniz und Whitehead“, in: „Natur, Subjektivität, Gott. Zur Prozeßphilosophie Alfred N. Whiteheads“, hrsg. v. Holzhey, Helmut; Rust, Alois; Wiehl, Reiner, 1. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1990, S. 18-40.
- Hooykaas, Reijer (2003) „The Rise of Modern Science: When and Why?“, in: „The Scientific Revolution. The Essential Readings“, ed. by Hellyer, Marcus, Malden/MA: Blackwell, 2003, pp. 19-43.
- Hopcroft, John E.; Ullman, Jeffrey D. (2000) „Einführung in die Automatentheorie, Formale Sprachen und Komplexitätstheorie“, 4., durchges. Aufl., München, Wien: Oldenbourg, 2000.
- Hoppe, Gerd (2017) „High Performance Automation verbindet IT und Produktion“, in: „Handbuch Industrie 4.0 Bd.2: Automatisierung“, hrsg. v. Vogel-Heuser, Birgit et al., Berlin et al.: Springer, 2017.
- Horgan, John (1995) „From Complexity to Perplexity“, in: *Scientific American*, Vol. 272, No. 6, 1995, pp. 74-79.
- Horgan, Terence (1978) „The Case Against Events“, in: *Philosophical Review*, Vol. 87, No. 1, 1978, pp. 28-47.
- Horrocks, Ian; Patel-Schneider, Peter F. (2001) „The Generation of DAML+OIL“, in: „Description Logics“, ed. by Goble, Carole A. et al., Working Notes of the 2001 International Description Logics Workshop (DL-2001), Stanford/CA, USA, August 1-3, 2001.
- Horrocks, Ian; Patel-Schneider, Peter F. (2004) „Reducing OWL Entailment to Description Logic Satisfiability“, in: *Journal of Web Semantics*, Vol. 1, No. 4, 2004, pp. 345-357.
- Hoßbach, Bastian; Seeger, Bernhard (2013) „Anomaly Management using Complex Event Processing: Extending Data Base Technology“, Proceedings of the 16th international conference on extending database technology (EDBT '13), New York: ACM, 2013, pp. 149-154.
- Houkes, Wybo (2006) „Knowledge of Artefact Functions“, in: *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 102-113.
- Houkes, Wybo (2009a) „Introduction to Part II“, in: „Handbook of Philosophy of Technology and Engineering Sciences“, ed. by Meijers, Anthonie, Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 187-189.
- Houkes, Wybo (2009b) „The Nature of Technological Knowledge“, in: „Handbook of Philosophy of Technology and Engineering Sciences“, ed. by Meijers, Anthonie, Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 309-350.
- Houkes, Wybo; Kroes, Peter; Meijers, Anthonie; Vermaas, Pieter E. (2011) „Dual-Nature and Collectivist Frameworks for Technical Artefacts: A Constructive Comparison“, in: *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Vol. 42, No. 1, 2011, pp. 198-205.
- Houkes, Wybo; Meijers, Anthonie (2006) „The Ontology of Artefacts: The Hard Problem“, in: *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 118-131.
- Houkes, Wybo; Vermaas, Pieter E. (2004) „Actions Versus Functions: A Plea for an Alternative Metaphysics of Artifacts“, in: *The Monist*, Vol. 87, No. 1, 2004, pp. 52-71.
- Houkes, Wybo; Vermaas, Pieter E. (2009a) „Artefacts in Analytic Metaphysics: Introduction“, in: *Techné*, Vol. 13, No. 2, 2009.
- Houkes, Wybo; Vermaas, Pieter E. (2009b) „Contemporary Engineering and the Metaphysics of Artefacts: Beyond the Artisan Model“, in: *The Monist*, Vol. 92, No. 3, 2009, pp. 403-419.
- Houkes, Wybo; Vermaas, Pieter E. (2014) „On What Is Made: Instruments, Products and Natural Kinds of Artefacts“, in: „Artefact Kinds. Ontology and the Human-Made World“, ed. by Franssen, Maarten et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 167-190.
- Howarth, Jeff T.; Couclelis, Helen (2005) „A Linguistics-Based Framework for Modeling Spatio-temporal Occurrences and Purposive Change“, in: „Spatial Information Theory“, ed. by Cohn, Anthony G.; Mark, David M., Int. Conference, COSIT 2005, Ellicottville, NY, USA, September 14-18, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 316-329.

Bibliographie

- Howe, J. Thomas (2009) „Response to David Conner's 'Whitehead The Naturalist'“, in: *American Journal of Theology and Philosophy*, Vol. 30, No. 2, 2009, pp. 187-190.
- Hoyer, Ulrich (1987) „Thermodynamics and Philosophy - Ludwig Boltzmann“, in: *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics*, Vol. 12, No. 1, 1987, pp. 11-26.
- Hoyningen-Huene, Paul (1990) „Inkommensurabilität bei Kuhn und Theorienvergleich“, in: „Die Vergleichbarkeit wissenschaftlicher Theorien“, hrsg. v. Agazzi, Evandro, Freiburg: Universitätsverl., 1990, S. 97-108.
- Hoyningen-Huene, Paul; Sankey, Howard (2001) „Introduction“, in: „Incommensurability and Related Matters“, ed. by Hoyningen-Huene, Paul; Sankey, Howard, Dordrecht et al.: Kluwer, 2001, pp. vii-xxxiv.
- Hribernik, Karl A.; Hans, Carl; Kramer, Christoph; Thoben, Klaus-Dieter (2011) „A Service-oriented, Semantic Approach to Data Integration for an Internet of Things Supporting Autonomous Cooperating Logistics Processes“, in: „Architecting the Internet of Things“, ed. by Uckelmann, Dieter et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 131-158.
- Hromic, Hugo; Le Phuoc, Danh; Serrano, Martin; Antonic, Aleksandar; Zarko, Ivana P.; Hayes, Conor; Decker, Stefan (2015) „Real Time Analysis of Sensor Data for the Internet of Things by Means of Clustering and Event Processing“, *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 8-12 June, 2015, pp. 685-691.
- Hruby, Pavel (2006) „Model-Driven Design Using Business Patterns“, Berlin et al.: Springer, 2006.
- Hu, Fei; Lu, Yu; Vasilakos, Athanasios; Hao, Qi; Ma, Rui; Patil, Yogendra; Zhang, Ting; Lu, Jiang; Li, Xin; Xiong, Neal (2016) „Robust Cyber-Physical Systems: Concept, Models, and Implementation“, in: *Future Generation Computer Systems*, Vol. 56, 2016, pp. 449-475.
- Hu, Yung-Li; Wang, Chu-Yu; Kao, Ching-Kai; Chang, Shao-Yu; Wei, David S.L.; Huang, Yennun; Chen, Ing-Yi; Kuo, Sy-Yen (2017) „Toward Fog-Based Event-Driven Services for Internet of Vehicles: Design and Evaluation“, in: „Internet of Vehicles. Technologies and Services for Smart Cities“, ed. by Peng, Sheng-Lung et al., *Proceedings 4th International Conference, IOV 2017, Kanazawa, Japan, November 22-25*, Cham et al.: Springer, 2017, pp. 201-212.
- Huaji, Zhu; Huarui, Wu; Xiang, Sun (2009) „Research on the Ontology-Based Complex Event Processing Engine of RFID Technology for Agricultural Products“, *International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence (AICI '09)*, Vol. 1, Shanghai, 7-8 Nov., 2009, pp. 328-333.
- Huang, George Q.; Mak, Kai-Ling (1997) „The DFX Shell: A Generic Framework for Developing Design for X Tools“, in: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 13, No. 3, 1997, pp. 271-280.
- Huang, George Q.; Mak, Kai-Ling (1999) „Design for Manufacture and Assembly on the Internet“, in: *Computers in Industry*, Vol. 38, 1999, pp. 17-30.
- Huang, Jingshan; Zavala Gutiérrez, Rosa Laura; Mendoza García, Benito; Huhns, Michael N. (2005) „A Schema-Based Approach Combined with Inter-Ontology Reasoning to Construct Consensus Ontologies“, *Proc. AAI Workshop on Contexts and Ontologies: Theory, Practice and Applications, Technical Report WS-05-01, Menlo Park/CA: AAI Pr.*, 2005, pp. 80-87.
- Huang, Joshua Z.; Tang, Feilong; Ye, Yunming; Huang, George; Li, Minglu (2005) „Ontology-based E-Catalog Matching for Integration of GDSN and EPCglobal Network“, *IEEE International Conference on E-Business Engineering (ICEBE 2005)*, 12-18 Oct., 2005, pp. 1-4.
- Huang, Zhaoqiang; Xuan, Wenling; Chen, Xiuwan (2007) „Spatial Temporal Geographic Ontology“, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Barcelona, 23-28 July, 2007, pp. 4627-4630.
- Huber, Anton S. (2013) „Das Ziel Digital Enterprise: die professionelle digitale Abbildung von Produktentwicklung und Produktion“, in: „Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM“, hrsg. v. Sandler, Ulrich, Berlin et al.: Springer, 2013, S. 111-124.
- Huber, Stefan; Carrez, Cyril; Suttner, Hannes (2011) „Development of Innovative Services Enhancing Interoperability in Cross-Organizational Business Processes“, in: „Enterprise Interoperability“, ed. by Van Sinderen, Marten; Johnson, Pontus, *Third International IFIP Working Conference, IWEI 2011, Stockholm, Sweden, March 23-24, 2011, Proceedings*, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 75-88.
- Hübner, Johannes (2007) „Komplexe Substanzen“, Berlin: De Gruyter, 2007.
- Hübner, Johannes (2012) „Die Neoaristotelische Ontologie von E.J. Lowe“, in: „Welt der Gründe“, hrsg. v. Nida-Rümelin, Julian; Özmen, Elif, XXII. Deutscher Kongress für Philosophie, 11.-15. September 2011 an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Hamburg: Meiner, 2012, S. 17-30.
- Hudson, Florence D.; Nichols, Emily W. (2016) „The Internet of Things and Cognitive Computing“, in: „Handbook of Statistics, Vol. 35. Cognitive Computing: Theory and Applications“, ed. by Gudivada, Venkat N. et al., Amsterdam et al.: North-Holland, 2016, pp. 341-373.

Bibliographie

- Hudson, Hud (1999) „Temporal Parts and Moral Personhood“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 93, No. 3, 1999, pp. 299-316.
- Hudson, Hud (2003) „Alexander's Dicta and Merricks' Dictum“, in: *Topoi*, Vol. 22, No. 2, 2003, pp. 173-182.
- Huemer, Christian; Schmidt, Alexander; Werthner, Hannes; Zapletal, Marco (2008) „A UML Profile for the e3-Value e-Business Model Ontology“, *Proceedings of the 3rd Int. Workshop on Business/IT Alignment and Interoperability (BUSITAL) at 20th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAISE'08)*, 2008, pp. 1-15.
- Hughes, George E.; Cresswell, Maxwell J. (1973) „An Introduction to Modal Logic“, Repr., London: Methuen, 1973.
- Hughes, George E.; Cresswell, Maxwell J. (1984) „A Companion to Modal Logic“, London et al.: Methuen, 1984.
- Hughes, Jesse (2009) „Practical Reasoning and Engineering“, in: „*Handbook of Philosophy of Technology and Engineering Sciences*“, ed. by Meijers, Anthonie, Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 375-402.
- Huhns, Michael N.; Singh, Munindar P. (1997) „Ontologies for Agents“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 1, No. 6, 1997, pp. 81-83.
- Huhns, Michael N.; Singh, Munindar P. (1998) „Cognitive Agents“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 2, No. 6, 1998, pp. 87-89.
- Huhns, Michael N.; Stephens, Larry M. (2003) „Semantic Bridging of Independent Enterprise Ontologies“, in: „*Enterprise Inter- and Intra-Organizational Integration: Building International Consensus*“, ed. by Kosanke, Kurt et al., Boston/MA: Kluwer, 2003, pp. 83-90.
- Huhns, Michael N.; Valtorta, Marco G.; Wang, Jingsong (2010) „Design Principles for Ontological Support of Bayesian Evidence Management“, in: „*Ontologies and Semantic Technologies for Intelligence*“, ed. by Obrst, Leo et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 163-178.
- Hui, Yuk (2014) „What Is a Digital Object?“, in: „*Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web*“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 52-67.
- Humble, Jan; Greenhalgh, Chris; Hamsphire, Alastair; Muller, Henk L.; Rennick Egglestone, Stefan (2005) „A Generic Architecture for Sensor Data Integration with the Grid“, in: „*Scientific Applications of Grid Computing*“, ed. by Herrero, Pilar et al., First International Workshop, SAG 2004, Beijing, China, September 20-24, 2004, Revised Selected and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 99-107.
- Hume, David (1739) „A Treatise of Human Nature“, London: Noon, 1739.
- Humphreys, Paul (1996) „Aspects of Emergence“, in: *Philosophical Topics*, Vol. 24, No. 1, 1996, pp. 53-70.
- Humphreys, Paul (1997a) „Emergence, Not Supervenience“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 64, Supplement. *Proceedings of the 1996 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers*, 1997, pp. S337-S345.
- Humphreys, Paul (1997b) „How Properties Emerge“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 64, No. 1, 1997, pp. 1-17.
- Hüning, Harald (2000) „A Search for Multiple Autocatalytic Sets in Artificial Chemistries based on Boolean Networks“, in: „*Artificial Life VII*“, ed. by Bedau, Mark A. et al., *Proceedings of the Seventh International Conference on Artificial Life*, Portland/OR, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 2000, pp. 64-72.
- Hunka, Frantisek; Hucka, Miroslav; Kasik, Josef; Vymetal, Dominik (2008a) „Could a Resource be Simultaneously a Schedule according to the REA Ontology“, 2008.
- Hunka, Frantisek; Hucka, Miroslav; Kasik, Josef; Vymetal, Dominik (2008b) „Enterprise Planning Model Using REA Ontology“, Working Paper, 2008.
- Hunka, Frantisek; Hucka, Miroslav; Kasik, Josef; Vymetal, Dominik (2009) „Some Ontological Issues of the REA Framework in Relation to Enterprise Business Process“, in: *Journal of Applied Economic Science*, Vol. 4, No. 2, 2009, pp. 203-209.
- Hunka, Frantisek; Hucka, Miroslav; Kasik, Josef; Vymetal, Dominik (2011) „Detail REA Production Planning Model Using Value Chain“, in: *Procedia Computer Science*, Vol. 3, 2011, pp. 408-413.
- Hurwitz, Judith; Kaufman, Marcia; Bowles, Adrian (2015) „*Cognitive Computing and Big Data Analytics*“, Indianapolis/IN: Wiley, 2015.
- Husejnagic, Damir; Sluga, Alojz (2015) „A Conceptual Framework for a Ubiquitous Autonomous Work System in the Engineer-To-Order Environment“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 78, No. 9, 2015, pp. 1971-1988.
- Hussain, Fatima (2017) „Internet of Everything“, in: „*Internet of Things: Building Blocks and Business Models*“, ed. by Hussain, Fatima, Cham et al.: Springer, 2017, pp. 1-11.

Bibliographie

- Hussain, Romana; Lockett, Helen; Annamalai, Gokula (2011) „Industry Practices and Challenges in Using Product in Use Data to Inform PSS Conceptual Design“, in: „Functional Thinking for Value Creation“, ed. by Hesselbach, Jürgen; Herrmann, Christoph, Proceedings of the 3rd CIRP International Conference on Industrial Product Service Systems, Technische Univ. Braunschweig, Braunschweig/Germany, May 5th-6th, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 242-247.
- Hussain, Romana; Lockett, Helen; Annamalai, Gokula (2012) „A Framework to Inform PSS Conceptual Design by Using System-in-Use Data“, in: Computers in Industry, Vol. 63, No. 4, 2012, pp. 319-327.
- Husserl, Edmund (1894) „Intentionale Gegenstände“, in: „Brentano-Studien 3“, hrsg. v. Schuhmann, Karl, rev. Ausg., 1990, S. 137-176.
- Husserl, Edmund (1901) „Logische Untersuchungen II/1: Untersuchungen zur Phänomenologie und Theorie der Erkenntnis“, hrsg. v. Panzer, Ursula, Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Bd. 19/1, The Hague: Nijhoff, 1984.
- Husserl, Edmund (1909) „Einführung in die Phänomenologie der Erkenntnis. Vorlesung 1909“, hrsg. v. Schuhmann, Elisabeth, Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Materialienband 7, Dordrecht: Springer, 2005.
- Husserl, Edmund (1913) „Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie“, in: Jahrbuch für Philosophie und phänomenologische Forschung, Bd. 1, Teil 1, 1913, S. 1-323.
- Husserl, Edmund (1917a) „Die reine Phänomenologie, ihr Forschungsgebiet und ihre Methode (Freiburger Antrittsrede 1917)“, in: „Aufsätze und Vorträge (1911-1921)“, hrsg. v. Nenon, Thomas; Sepp, Hans Rainer, Husserliana, Bd. 25, Dordrecht: Nijhoff, 1987, S. 68-81.
- Husserl, Edmund (1917b) „Phänomenologie und Psychologie“, in: „Aufsätze und Vorträge (1911- 1921)“, hrsg. v. Nenon, Thomas; Sepp, Hans Rainer, Husserliana, Bd. 25, Dordrecht: Nijhoff, 1987, S. 82-124.
- Husserl, Edmund (1917c) „Phänomenologie und Erkenntnistheorie“, in: „Aufsätze und Vorträge (1911-1921)“, hrsg. v. Nenon, Thomas; Sepp, Hans Rainer, Husserliana, Bd. 25, Dordrecht: Nijhoff, 1987, S. 125-206.
- Husserl, Edmund (1925) „Phänomenologische Psychologie“, hrsg. v. Biemel, Walter, 2. Aufl., Dordrecht et al.: Springer, 1968.
- Husserl, Edmund (1929) „Formale und transzendente Logik“, in: „Jahrbuch für Philosophie und phänomenologische Forschung, Bd. 10“, hrsg. v. Husserl, Edmund, Halle: Niemeyer, 1929, S. 1-298.
- Husserl, Edmund (1939) „Erfahrung und Urteil. Untersuchungen zur Genealogie der Logik“, hrsg. v. Landgrebe, Ludwig, Prag: Academia, 1939.
- Husserl, Edmund (1952) „Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie. Zweites Buch: Phänomenologische Untersuchungen zur Konstitution“, hrsg. v. Biemel, Marly, Husserliana, Bd. 4, Den Haag: Nijhoff, 1952.
- Husserl, Edmund (1954) „Die Krisis der Europäischen Wissenschaften und die Transzendente Phänomenologie. Eine Einleitung in die phänomenologische Philosophie“, hrsg. v. Biemel, Walter, 2. Aufl., Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Bd. 6, Den Haag: Nijhoff, 1962.
- Husserl, Edmund (1973a) „Zur Phänomenologie der Intersubjektivität. Erster Teil: 1905-1920“, hrsg. v. Kern, Iso, Husserliana, Bd. 13, Den Haag: Nijhoff, 1973.
- Husserl, Edmund (1973b) „Zur Phänomenologie der Intersubjektivität. Zweiter Teil: 1921-1928“, hrsg. v. Kern, Iso, Husserliana, Bd. 14, Den Haag: Nijhoff, 1973.
- Husserl, Edmund (2005) „Logische Untersuchungen. Ergänzungsband zweiter Teil“, hrsg. v. Melle, Ullrich, Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Bd. 20/2, Dordrecht: Springer, 2005.
- Husserl, Edmund (2006) „Späte Texte über Zeitkonstitution (1929-1934). Die C-Manuskripte“, hrsg. v. Lohmar, Dieter, Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Materialienband 8, Dordrecht: Springer, 2006.
- Husserl, Edmund (2008) „Die Lebenswelt. Auslegungen der vorgegebenen Welt und ihrer Konstitution: Texte aus dem Nachlass (1916-1937)“, hrsg. v. Sowa, Rochus, Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Bd. 39, Dordrecht: Springer, 2008.
- Husserl, Edmund (2009) „Untersuchungen zur Urteilstheorie. Texte aus dem Nachlass (1893-1918)“, hrsg. v. Rollinger, Robin D., Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Bd. 40, Dordrecht: Springer, 2009.
- Husserl, Edmund (2012a) „Zur Lehre vom Wesen und zur Methode der eidetischen Variation. Texte aus dem Nachlass (1891-1935)“, hrsg. v. Fonfara, Dirk, Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Bd. 41, Dordrecht et al.: Springer, 2012.
- Husserl, Edmund (2012b) „Einleitung in die Philosophie. Vorlesungen 1916-1920“, hrsg. v. Jacobs, Hanne, Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Materialienband 9, Dordrecht et al.: Springer, 2012.

Bibliographie

- Husserl, Edmund (2014) „Grenzprobleme der Phänomenologie. Analysen des Unbewusstseins und der Instinkte. Metaphysik. Späte Ethik: Texte aus dem Nachlass (1908-1937)“, hrsg. v. Sowa, Rochus; Vongehr, Thomas, Husserliana: Edmund Husserl - Gesammelte Werke, Bd. 42, Dordrecht et al.: Springer, 2014.
- Hutten, Ernest H. (1949) „A Note on Semantics“, in: *Philosophy*, Vol. 24, No. 91, 1949, pp. 381-383.
- Hutten, Ernest H. (1967) „The Ideas of Physics“, Edinburgh: Oliver and Boyd, 1967.
- Hutten, Ernest H. (1968) „Maturity, Depth and Objectivity in Science“, in: „Problems in the Philosophy of Science“, ed. by Lakatos, Imre; Musgrave, Alan, *Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science*, London, 1965, Vol. 3, Amsterdam: North-Holland, 1968, pp. 140-142.
- Hvam, Lars; Pape, Simon; Nielsen, Michael K. (2006) „Improving the Quotation Process with Product Configuration“, in: *Computers in Industry*, Vol. 57, 2006, pp. 607-621.
- Ibbotson, John; Gibson, Christopher; Wright, Joel; Waggett, Peter; Zerfos, Petros; Szymanski, Boleslaw; Thornley, David (2010) „Sensors as a Service Oriented Architecture: Middleware for Sensor Networks“, *Sixth International Conference on Intelligent Environments (IE)*, Kuala Lumpur/Malaysia, 19-21 July, 2010, pp. 209-214.
- IBM (2002a) „ENOVIA Life Cycle Applications V5.9: New Levels of Functionality and Collaboration for the ENOVIA Family of Products“, 2002.
- IBM (2002b) „ENOVIA Lifecycle Applications (LCA). For Product Innovations that Move Markets“, *IBM Product Lifecycle Management (PLM)*, 2002.
- IBM (2004) „PLM Challenges and Benefits“, *IBM Product Lifecycle Management*, 2004.
- IBM (2007) „Digital Manufacturing: Extending the Value of PLM“, *IBM Product Lifecycle Management*, 2007.
- IBM (2008a) „Realizing the Full Scope of PLM with Business Process Management“, 2008.
- IBM (2008b) „DELMIA Digital Manufacturing Portfolio“, *IBM Product Lifecycle Management*, 2008.
- IBM (2008c) „SOA Approach to Enterprise Integration for Product Lifecycle Management“, *IBM Corporation, International Technical Support Organization*, 2008.
- IBM (2009a) „Asset Management to Support Product Lifecycle Management (PLM)“, *IBM Product Lifecycle Management*, 2009.
- IBM (2009b) „V6 brings PLM 2.0 to Life“, *IBM Product Lifecycle Management*, 2009.
- IBM (2010) „Effective Configuration Management for Complex Assets“, 2010.
- IBM (2013) „Foundational Ontologies for Smarter Industries“, *IBM Redpaper*, 2013.
- IBM (2014) „IBM Watson Content Analytics. Discovering Actionable Insight from Your Content“, 3rd ed., 2014.
- IBM (2015a) „Computing, Cognition and the Future of Knowing. How Humans and Machines are Forging a New Age of Understanding“, 2015.
- IBM (2015b) „Watson IoT“, 2015.
- IBM (2017) „Building Cognitive Applications with IBM Watson Services: Volume 3 Visual Recognition“, Armonk/NY: IBM, 2017.
- IFIP-IFAC (1999) „GERAM: Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology“, *IFIP-IFAC Task Force on Architectures for Enterprise Integration*, Vers. 1.6.3, 1999.
- Iivari, Juhani (2007) „A Paradigmatic Analysis of Information Systems as a Design Science“, in: *Scandinavian Journal of Information Systems*, Vol. 19, No. 2, 2007, pp. 39-64.
- Ijiri, Yuji (1967) „The Foundations of Accounting Measurement: A Mathematical, Economic, and Behavioral Inquiry“, Englewood Cliffs/NJ: Prentice-Hall, 1967.
- Ijiri, Yuji (1975) „Theory of Accounting Measurement“, Sarasota/FL: American Accounting Association, 1975.
- Ikeda, Mitsuru; Seta, Kazuhisa; Kakusho, Osamu; Mizoguchi, Riichiro (1998) „Task Ontology: Ontology for Building Conceptual Problem Solving Models“, *Proceedings of ECAI98 Workshop on Applications of Ontologies and Problem-Solving Models*, 1998, pp. 126-133.
- Ikeda, Yoshiaki (2005) „Das Denken in komplexen Systemen und seine philosophische Relevanz für eine Integrative Wissenschaft“, in: „1. Symposium zur Gründung einer Deutsch-Japanischen Akademie für integrative Wissenschaft“, hrsg. v. Daiseion-ji e.V. und der Leibniz-Gemeinschaft e.V., Dettelbach: Röll, 2005, S. 79-86.
- Illies, Christian; Meijers, Anthonie (2009) „Artefacts Without Agency“, in: *The Monist*, Vol. 92, No. 3, 2009, pp. 420-440.

Bibliographie

- Im, Jangwan; Kim, Seonghoon; Kim, Daeyoung (2013) „IoT Mashup as a Service: Cloud-Based Mashup Service for the Internet of Things“, IEEE International Conference on Services Computing (SCC), Santa Clara/CA, 28 June-3 July, 2013, pp. 462-469.
- Imran, Muhammad (2013) „Towards an Assembly Reference Ontology for Assembly Knowledge Sharing“, Ph.D., Loughborough Univ., 2013.
- Infosys (2015) „Architecting the Real-Time Enterprise“, White Paper, 2015.
- Infosys (2016) „Interoperability between IIC Architecture & Industry 4.0 Reference Architecture for Industrial Assets“, White Paper, 2016.
- Ingarden, Roman (1964) „Der Streit um die Existenz der Welt. Bd. 1: Existentialontologie“, Tübingen: Niemeyer, 1964.
- Ingarden, Roman (1965) „Der Streit um die Existenz der Welt. Bd. 2: Formalontologie“, Tübingen: Niemeyer, 1965.
- Ingarden, Roman (1974) „Über die kausale Struktur der realen Welt. Der Streit um die Existenz der Welt III“, Tübingen: Niemeyer, 1974.
- Ingerson, Thomas E.; Buvel, Raymond L. (1984) „Structure in Asynchronous Cellular Automata“, in: „Cellular Automata: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, Los Alamos March 7-11, 1983 (Physica D, Vol. 10, Nos. 1/2)“, ed. by Farmer, J. Doyné; Toffoli, Tommaso; Wolfram, Stephen, Amsterdam et al.: North-Holland, 1984, pp. 59-68.
- InterSystems (2010) „Advancing SOA with an Event-Driven Architecture“, White Paper, 2010.
- Iordache, Octavian (2011) „Modeling Multi-Level Systems“, Berlin et al.: Springer, 2011.
- IoT-A (2013) „Event Representation and Processing“, Project Deliverable D2.6, Final Vers., 2013.
- Isaac, Antoine; Troncy, Raphaël (2004) „Designing and Using an Audio-Visual Description Core Ontology“, in: „Core Ontologies in Ontology Engineering 2004. (Un)Successful Cases and Best Practices for Ontology Engineering: Reusing Well-founded Ontologies for Domain Content Specification“, ed. by Gangemi, Aldo; Borgo, Stefano, Proceedings of the EKAW*04 Workshop on Core Ontologies in Ontology Engineering, Northamptonshire (UK), October 8, 2004.
- Isenberg, Marc-André; Werthmann, Dirk; Morales-Kluge, Ernesto; Scholz-Reiter, Bernd (2011) „The Role of the Internet of Things for Increased Autonomy and Agility in Collaborative Production Environments“, in: „Architecting the Internet of Things“, ed. by Uckelmann, Dieter et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 195-228.
- Israel, David (1985) „A Short Companion to the Naive Physics Manifesto“, in: „Formal Theories of the Commonsense World“, ed. by Hobbs, Jerry R.; Moore, Robert C., Norwood/NJ: Ablex, 1985, pp. 427-447.
- Issarny, Valérie; Bouloukakakis, Georgios; Georgantas, Nikolaos; Billet, Benjamin (2016) „Revisiting Service-Oriented Architecture for the IoT: A Middleware Perspective“, in: „Service-Oriented Computing“, ed. by Sheng, Quan Z. et al., 14th International Conference, ICSOC 2016, Banff, AB, Canada, October 10-13, 2016, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 3-17.
- Ito, Sohei; Vymetal, Dominik (2011) „Formal REA Model at Operational Level“, 2011.
- ITU (2005) „ITU Internet Reports: The Internet of Things“, International Telecommunication Union (ITU), Geneva, 2005.
- Ivanova, Olga; Williams, Christopher; Campbell, Thomas (2013) „Additive Manufacturing (AM) and Nanotechnology: Promises and Challenges“, in: Rapid Prototyping Journal, Vol. 19, No. 5, 2013, pp. 353-364.
- Iwamura, Kazuaki; Muro, Keiro; Ishimaru, Nobuhiro; Fukushima, Manabu (2011) „4D-GIS (4 Dimensional GIS) as Spatial-Temporal Data Mining Platform and its Application to Management and Monitoring of Large-Scale Infrastructures“, IEEE International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services (ICSMDM), Fuzhou, June 29-July 1, 2011, pp. 38-43.
- Iwamura, Koji; Taimizu, Yoshitaka; Sugimura, Nobuhiro (2005) „A Study on Real-Time Scheduling Methods in Holonic Manufacturing Systems“, in: „Knowledge and Skill Chains in Engineering and Manufacturing“, ed. by Arai, Eiji et al., Fifth International Working Conference of Information Infrastructure Systems for Manufacturing 2002 (DIIDM2002), November 18-20, 2002, Osaka/Japan, New York/NY: Springer, 2005, pp. 301-312.
- IWGN (1999) „Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report“, National Science and Technology Council, Committee on Technology, Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology (IWGN), 1999.
- Izza, Saïd; Vincent, Lucien; Burlat, Patrick; Lebrun, Pierre; Solignac, Hugues (2007) „Extending OWL-S to Solve Enterprise Application Integration Issues“, in: „Enterprise Interoperability. New Challenges and Approaches“, ed. by Doumeings, Guy et al., London et al.: Springer, 2007, pp. 253-263.

Bibliographie

- Jaber, Alaa Abdulhady (2017) „Design of an Intelligent Embedded System for Condition Monitoring of an Industrial Robot“, Cham et al.: Springer, 2017.
- Jabeur, Nafaâ; McCarthy, James D.; Xing, Xitao; Graniero, Phil A. (2009) „A Knowledge-oriented Meta-Framework for Integrating Sensor Network Infrastructures“, in: *Computers & Geosciences*, Vol. 35, No. 4, 2009, pp. 809-819.
- Jackendoff, Ray (1990) „Semantic Structures“, Cambridge/Mass. et al.: MIT Pr., 1990.
- Jackendoff, Ray (1991) „The Problem of Reality“, in: *Noûs*, Vol. 25, No. 4, 1991, pp. 411-433.
- Jackson, Frank (1994) „Armchair Metaphysics“, in: „Philosophy in Mind“, ed. by Michael, Michaelis; O'Leary-Hawthorne, John, *Philosophical Studies Series Vol. 60*, Dordrecht: Springer, 1994, pp. 23-42.
- Jackson, Howard (1960) „Frege's Ontology“, in: *Philosophical Review*, Vol. 69, No. 3, 1960, pp. 394-395.
- Jackson, Michael (1978) „Information Systems: Modelling, Sequencing and Transformations“, *Proceedings of the 3rd International Conference on Software Engineering (ICSE '78)*, Piscataway/NJ: IEEE Pr., 1978, pp. 72-81.
- Jackson, Michael (1995) „The World and the Machine“, *Proceedings of the 17th International Conference on Software Engineering (ICSE'95)*, Seattle, Washington, USA, 1995, pp. 283-292.
- Jacquette, Dale (2002) „Ontology“, Chesham: Acumen, 2002.
- Jaeger, Werner (1955) „Aristoteles. Grundlegung einer Geschichte seiner Entwicklung“, 2., veränd. Aufl., Berlin: Weidmannsche Buchhdlg., 1955.
- Jaekel, Frank Walter; Perry, Nicolas; Cristina Campos; Mertins, Kai; Chalmers, Ricardo (2005) „Interoperability Supported by Enterprise Modelling“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 552-561.
- Jafarinasab, Sara; Bushehrian, Omid (2013) „E3-value to BPOM Model Transformation“, in: *International Journal of Computer Applications*, Vol. 83, No. 2, 2013, pp. 29-33.
- Jain, Pooja; Dahiya, Deepak (2012) „An Architecture of a Multi Agent Enterprise Knowledge Management System Based on Service Oriented Architecture“, in: *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9, Issue 2, No. 3, 2012, pp. 395-404.
- Jain, Prateek; Yeh, Peter Z.; Verma, Kunal; Vasquez, Reymond G.; Damova, Mariana; Hitzler, Pascal; Sheth, Amit P. (2011) „Contextual Ontology Alignment of LOD with an Upper Ontology: A Case Study with Proton“, in: „The Semantic Web: Research and Applications“, ed. by Antoniou, Grigoris et al., 8th Extended Semantic Web Conference, ESWC 2011, Heraklion, Crete/Greece, May 29-June 2, 2011, *Proceedings, Part I*, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 80-92.
- Jain, Ramesh (2007) „Toward EventWeb“, in: *IEEE Distributed Systems Online*, Vol. 8, No. 9, 2007, pp. 1-6.
- Jain, Ramesh (2008) „EventWeb: Developing a Human-Centered Computing System“, in: *IEEE Computer*, Vol. 41, No. 2, 2008, pp. 42-50.
- Jain, Ramesh (2013) „EventWeb: Towards Social Life Networks“, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 371, No. 1987, 2013.
- Jamart, Géraldine (1996) „Logique, Mathématique et Ontologie: La Ramée, Précurseur de Descartes“, in: *Les Études Philosophiques*, No. 1/2, 1996, p. 17-28.
- James, William (1886) „The Perception of Time“, in: *Journal of Speculative Philosophy*, Vol. 20, No. 4, 1886, pp. 374-407.
- James, William (1909) „A Pluralistic Universe“, New York et al.: Longmans, Green, 1909.
- James, William (1911) „Some Problems of Philosophy. A Beginning of an Introduction to Philosophy“, Repr., New York: Greenwood Pr., 1968.
- Jammes, Francois; Smit, Harm (2005) „Service-Oriented Paradigms in Industrial Automation“, in: *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 62-70.
- Jammes, Francois; Smit, Harm; Martinez Lastra, Jose L.; Delamer, Ivan M. (2005) „Orchestration of Service-Oriented Manufacturing Processes“, *Proceedings of Emerging Technologies and Factory (ETFA'05)*, *Facolta' di Ingegneria, Catania/Italy*, 19-22 September, 2005, pp. 617-624.
- Jamnal, Gopal Singh; Liu, Xiaodong; Fan, Lu; Ramachandran, Muthu (2017) „Cognitive Internet of Everything (CIoE): State of the Art and Approaches“, in: „Emerging Trends and Applications of the Internet of Things“, ed. by Kocovic, Petar et al., Hershey/PA: IGI Global, 2017, pp. 277-309.
- Janich, Peter (1996) „Konstruktivismus und Naturerkenntnis. Auf dem Weg zum Kulturalismus“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1996.

Bibliographie

- Janich, Peter (2000) „Szientismus und Naturalismus. Irrwege der Naturwissenschaft als philosophisches Programm?“, in: „Naturalismus. Philosophische Beiträge“, hrsg. v. Keil, Geert; Schnädlebach, Herbert, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 2000, S. 289-309.
- Janich, Peter (2001) „Wozu Ontologie für Informatiker? Objektbezug durch Sprachkritik“, in: „Informatik 2001 - Tagungsband der GI/OCG-Jahrestagung, Bd. II“, hrsg. v. Bauknecht, K. et al., Österr. Computer-Gesellschaft, 2001, S. 765-769.
- Janiesch, Christian; Matzner, Martin; Müller, Oliver (2011) „A Blueprint for Event-Driven Business Activity Management“, in: „Business Process Management“, ed. by Rinderle-Ma, Stefanie et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 17-28.
- Janis, Vladimír; Riečanová, Zdenka (1992) „Completeness in Sums of Boolean Algebras and Logics“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 31, No. 9, 1992, pp. 1689-1697.
- Janlert, Lars-Erik (1985) „Studies in Knowledge Representation. Modeling Change - the Frame Problem: Pictures and Words“, Diss., Univ. of Umeå, Institute of Information Processing, Report UMINF-127.85, 1985.
- Janlert, Lars-Erik (1987) „Modeling Change - The Frame Problem“, in: „The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1987, pp. 1-40.
- Janlert, Lars-Erik (1996) „The Frame Problem: Freedom or Stability? With Pictures We Can Have Both“, in: „The Robot's Dilemma Revisited: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Ford, Kenneth M.; Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1996, pp. 35-48.
- Janowicz, Krzysztof (2012) „Observation-Driven Geo-Ontology Engineering“, Proceedings of T. GIS., 2012, pp. 351-374.
- Janowicz, Krzysztof; Compton, Michael (2010) „The Stimulus-Sensor-Observation Ontology Design Pattern and its Integration into the Semantic Sensor Network Ontology“, The 3rd International workshop on Semantic Sensor Networks 2010 (SSN10) in conjunction with the 9th International Semantic Web Conference (ISWC 2010), 7-11 November 2010, Shanghai, 2010.
- Jansen, Ludger (2008a) „Kategorien: Die top level Ontologie“, in: „Biomedizinische Ontologie. Wissen strukturieren für den Informatik-Einsatz“, hrsg. v. Jansen, Ludger; Smith, Barry, Zürich: Vdf-Hochsch.-Verl., 2008, S. 85-112.
- Jansen, Ludger (2008b) „Klassifikationen“, in: „Biomedizinische Ontologie. Wissen strukturieren für den Informatik-Einsatz“, hrsg. v. Jansen, Ludger; Smith, Barry, Zürich: Vdf-Hochsch.-Verl., 2008, S. 67-83.
- Jansen, Ludger (2010) „What is a Formal Ontology? Some Meta-Ontological Remarks“, in: „VIII European Conference on Computing and Philosophy (ECAP10)“, ed. by Mainzer, Klaus, 4-6 October 2010, TU München, München: Verl. Dr. Hut, 2010, pp. 256-260.
- Janssen, Terry; Basik, Herbert; Dean, Mike; Smith, Barry (2010) „A Multi-INT Semantic Reasoning Framework for Intelligence Analysis Support“, in: „Ontologies and Semantic Technologies for Intelligence“, ed. by Obrst, Leo et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 57-69.
- Janssen, Terry; Obrst, Leo; Ceusters, Werner (2010) „Introduction: Ontologies, Semantic Technologies, and Intelligence“, in: „Ontologies and Semantic Technologies for Intelligence“, ed. by Obrst, Leo et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 1-12.
- Jansson, Kim; Thoben, Klaus-Dieter (2005) „The Extended Products Paradigm, An Introduction“, in: „Knowledge and Skill Chains in Engineering and Manufacturing“, ed. by Arai, Eiji et al., Fifth International Working Conference of Information Infrastructure Systems for Manufacturing 2002 (DIIDM2002), November 18-20, 2002, Osaka/Japan, New York/NY: Springer, 2005, pp. 39-47.
- Jantsch, Erich (1970) „Inter- and Transdisciplinary University: A Systems Approach to Education and Innovation“, in: Policy Sciences, Vol. 1, 1970, pp. 403-428.
- Jantsch, Erich (1972) „Towards Interdisciplinarity and Transdisciplinarity in Education and Innovation“, in: „Interdisciplinarity. Problems of Teaching and Research in Universities“, ed. by Apostel, Léo et al., Report, based on the results of a Seminar on Interdisciplinarity in Universities which was organised by CERI (Centre for Educational Research and Innovation), Sept. 7th-12th, 1970, Paris: OECD, 1972, pp. 97-121.
- Jantsch, Erich (1975) „Design for Evolution. Self-Organization and Planning in the Life of Human Systems“, New York: Braziller, 1975.
- Jantsch, Erich (1979) „Die Selbstorganisation des Universums. Vom Urknall zum menschlichen Geist“, München, Wien: Hanser, 1979.
- Jantsch, Erich (1980) „The Unifying Paradigm Behind Autopoiesis, Dissipative Structures, Hyper- and Ultracycles“, in: „Autopoiesis, Dissipative Structures, and Spontaneous Social Orders“, ed. by Zeleny, Milan, Boulder/Col.: Westview Pr., 1980, pp. 81-87.

Bibliographie

- Jantsch, Erich (1981a) „Introduction“, in: „The Evolutionary Vision. Toward a Unifying Paradigm of Physical, Biological, and Sociocultural Evolution“, ed. by Jantsch, Erich, Boulder/Col.: Westview Pr., 1981, pp. 1-14.
- Jantsch, Erich (1981b) „Unifying Principles of Evolution“, in: „The Evolutionary Vision. Toward a Unifying Paradigm of Physical, Biological, and Sociocultural Evolution“, ed. by Jantsch, Erich, Boulder/Col.: Westview Pr., 1981, pp. 83-115.
- Jantsch, Erich (1981c) „Concluding Remarks: Outlook“, in: „The Evolutionary Vision. Toward a Unifying Paradigm of Physical, Biological, and Sociocultural Evolution“, ed. by Jantsch, Erich, Boulder/Col.: Westview Pr., 1981, pp. 209-214.
- Jantsch, Erich (1981d) „Autopoiesis: A Central Aspect of Dissipative Self-Organization“, in: „Autopoiesis. A Theory of Living Organization“, ed. by Zeleny, Milan, New York, Oxford: North Holland, 1981, pp. 65-88.
- Jantsch, Erich (1982) „From Self-Reference to Self-Transcendence: The Evolution of Self-Organization Dynamics“, in: „Self-Organization and Dissipative Structures. Applications in the Physical and Social Sciences“, ed. by Schieve, William C.; Allen, Peter M., Austin: Univ. of Texas Pr., 1982, pp. 344-353.
- Jantsch, Erich (1989a) „Struktur“, in: „Handlexikon zur Wissenschaftstheorie“, hrsg. v. Seiffert, Helmut; Radnitzky, Gerard, 2. Aufl. (unveränd. Nachdr. des 1989 im Verl. Ehrenwirth erschienenen Werkes), München: Dt. Taschenbuch-Verl., 1994, S. 326-329.
- Jantsch, Erich (1989b) „System, Systemtheorie“, in: „Handlexikon zur Wissenschaftstheorie“, hrsg. v. Seiffert, Helmut; Radnitzky, Gerard, 2. Aufl. (unveränd. Nachdr. des 1989 im Verl. Ehrenwirth erschienenen Werkes), München: Dt. Taschenbuch-Verl., 1994, S. 329-338.
- Janzen, Sabine; Maass, Wolfgang (2008) „Smart Product Description Object (SPDO)“, in: „Formal Ontology in Information Systems. Fifth International Conference (FOIS 2008)“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Saarbrücken: DFKI, 2008, pp. 25-30.
- Jara, Antonio J.; Ladid, Latif; Skarmeta, Antonio (2013) „The Internet of Everything through IPv6: An Analysis of Challenges, Solutions and Opportunities“, in: Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, Vol. 4, No. 3, 2013, pp. 97-118.
- Jara, Antonio J.; Olivieri, Alex C.; Bocchi, Yann; Jung, Markus; Kastner, Wolfgang; Skarmeta, Antonio F. (2014) „Semantic Web of Things: An Analysis of the Application Semantics for the IoT Moving towards the IoT Convergence“, in: International Journal of Web and Grid Services, Vol. 10, No. 2-3, 2014, pp. 244-272.
- Jaradat, Manar; Jarrah, Moath; Boushelham, Abdelkader; Jararweh, Yaser; Al-Ayyoub, Mahmoud (2015) „The Internet of Energy: Smart Sensor Networks and Big Data Management for Smart Grid“, in: Procedia Computer Science, Vol. 56, 2015, pp. 592-597.
- Jardim-Goncalves, Ricardo; Grilo, Antonio; Steiger-Garcia, Steiger-Garcia (2006) „Challenging the Interoperability between Computers in Industry with MDA and SOA“, in: Computers in Industry, Vol. 57, No. 8-9, 2006, pp. 679-689.
- Jardine, Donald A. (ed.) (1976) „The ANSI/SPARC DBMS Model“, in: Proceedings of the Second SHARE Working Conference on Data Base Management Systems, Montreal, Canada, April 26-30 1976, Amsterdam et al.: North-Holland, 1977.
- Jarmakiewicz, Jacek; Parobczak, Krzysztof; Maslanka, Krzysztof (2016) „On the Internet of Nano Things in Healthcare Network“, International Conference on Military Communications and Information Systems (ICMCIS), Brussels/Belgium, 23-24 May, 2016, pp. 1-6.
- Jarrar, Mustafa (2005) „Modularization and Automatic Composition of Object-Role Modeling (ORM) Schemes“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 613-625.
- Jarrar, Mustafa; Demey, Jan; Meersman, Robert (2003) „On Using Conceptual Data Modeling for Ontology Engineering“, in: „Journal on Data Semantics I (LNCS 2800)“, ed. by Spaccapietra, Stefano, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 185-207.
- Jarvis, Jacqueline; Jarvis, Dennis; Rönquist, Ralph; Jain, Lakhmi C. (2008) „Holon Execution: A BDI Approach“, Berlin et al.: Springer, 2008.
- Jaworski, William (2008) „Rescher's Metaphysics“, in: „Rescher Studies: A Collection of Essays on the Philosophical Work of Nicholas Rescher“, ed. by Almeder, Robert F., Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 141-149.
- Jaworski, William (2011) „Philosophy of Mind“, Malden/MA et al.: Wiley-Blackwell, 2011.

Bibliographie

- Jayasekara, Sachini; Kannangara, Sameera; Dahanayakage, Tishan; Ranawaka, Isuru; Perera, Srinath; Nanayakkara, Vishaka (2015) „WiHidum: Distributed Complex Event Processing“, in: *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Vol. 79/80, May, 2015, pp. 42-51.
- Jean, Stéphane; Pierra, Guy; Ait-Ameur, Yamine (2006) „Domain Ontologies: A Database-Oriented Analysis“, 2006.
- Jeffery, Shawn R.; Franklin, Michael J.; Garofalakis, Minos (2008) „An Adaptive RFID Middleware for Supporting Metaphysical Data Independence“, in: *The VLDB Journal*, Vol. 17, No. 2, 2008, pp. 265-289.
- Jen, Erica (1986a) „Global Properties of Cellular Automata“, in: *Journal of Statistical Physics*, Vol. 43, No. 1/2, 1986, pp. 219-242.
- Jen, Erica (1986b) „Invariant Strings and Pattern-Recognizing Properties of One-Dimensional Cellular Automata“, in: *Journal of Statistical Physics*, Vol. 43, No. 1/2, 1986, pp. 243-265.
- Jenner, Richard A. (1994) „Schumpeterian Growth, Chaos, and the Formation of Dissipative Structures“, in: *Journal of Evolutionary Economics*, Vol. 4, No. 2, 1994, pp. 125-139.
- Jenner, Richard A. (1998) „Dissipative Enterprises, Chaos, and the Principles of Lean Organizations“, in: *Omega*, Vol. 26, No. 3, 1998, pp. 397-407.
- Jennings, Nicholas R.; Faratin, Peyman; Johnson, Mark J.; Norman, Timothy J.; O'Brien, Paul D.; Wiegand, Mark E. (1996) „Agent-Based Business Process Management“, in: *International Journal of Cooperative Information Systems*, Vol. 5, No. 2-3, 1996, pp. 105-130.
- Jennings, Nicholas R.; Norman, Timothy J.; Faratin, Peyman; O'Brien, Paul D.; Odgers, Brian (2000) „Autonomous Agents for Business Process Management“, in: *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 14, No. 2, 2000, pp. 145-189.
- Jennings, Nicholas R.; Wooldridge, Michael J. (1996) „Software Agents“, in: *IEEE Review*, Vol. 42, No. 1, 1996, pp. 17-20.
- Jeong, KwanSeong; Choi, ByungSeon; Moon, JeiKwon; Hyun, DongJun; Lee, JongHwan; Kim, IkJune; Kim, GeunHo; Seo, JaeSeok (2014) „The Digital Mock-up System to Simulate and Evaluate the Dismantling Scenarios for Decommissioning of a NPP“, in: *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 69, 2014, pp. 238-245.
- Jesse, Norbert (2016) „Internet of Things and Big Data - The Disruption of the Value Chain and the Rise of New Software Ecosystems“, in: *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 49, No. 29, 2016, pp. 275-282.
- Jeston, John; Craig, Gina (2015) „The Internet of Everything and BPM“, in: *BPTrends*, October, 2015.
- Jevons, W. Stanley (1870) „On the Mechanical Performance of Logical Inference“, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Vol. 160, 1870, pp. 497-518.
- Jiang, Pingyu; Ding, Kai; Leng, Jiewu (2016a) „Towards a Cyber-Physical-Social-Connected and Service-Oriented Manufacturing Paradigm: Social Manufacturing“, in: *Manufacturing Letters*, Vol. 7, 2016, pp. 15-21.
- Jiang, Pingyu; Leng, Jiewu; Ding, Kai (2016b) „Social Manufacturing: A Survey of the State-of-the-Art and Future Challenges“, *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Beijing/China, 10-12 July, 2016, pp. 12-17.
- Jimenez-Narvaez, Luz-Maria; Dalkir, Kimiz; Gardoni, Mickaël (2012) „Managing Knowledge Needs during New Product Lifecycle Design on Quick-term Project Development QPD: Case Study of 24 Hours of Innovation - ETS Montreal“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, *IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012*, Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 25-34.
- Jiménez, Manuel; Palomera, Rogelio; Couvertier, Isidoro (2014) „Introduction to Embedded Systems: Using Microcontrollers and the MSP430“, New York et al.: Springer, 2014.
- Jin, Peiquan; Wan, Shouhong; Yue, Lihua (2007) „Ontology-driven Conceptual Modeling for Spatiotemporal Database Applications“, *First International Symposium on Data, Privacy and E-Commerce*, Chengdu, 2007, pp. 110-112.
- Johannesson, Paul (2007) „The Role of Business Models in Enterprise Modelling“, in: „Conceptual Modelling in Information Systems Engineering“, ed. by Krogstie, John et al., Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 123-140.
- Johannesson, Paul; Andersson, Birger; Bergholtz, Maria; Weigand, Hans (2008) „Enterprise Modelling for Value Based Service Analysis“, in: „The Practice of Enterprise Modeling“, ed. by Stirna, Janis; Persson, Anne, *First IFIP WG 8.1 Working Conference, PoEM 2008*, Stockholm, Sweden, November 12-13, 2008, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 153-167.
- Johansson, Ingvar (1989) „Ontological Investigations. An Inquiry into the Categories of Nature, Man and Society“, London et al.: Routledge, 1989.

Bibliographie

- Johansson, Ingvar (1998) „Pattern as an Ontological Category“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Guarino, Nicola, Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), Amsterdam et al.: IOS Pr., 1998, pp. 86-94.
- Johansson, Ingvar (2000) „Determinables as Universals“, in: *The Monist*, Vol. 83, No. 1, 2000, pp. 101-121.
- Johansson, Ingvar (2002) „Critical Notice of Armstrong's and Lewis' Concepts of Supervenience“, in: *Sats - Nordic Journal of Philosophy*, Vol. 3, No. 1, 2002, pp. 118-122.
- Johansson, Ingvar (2003) „Ontologies and Concepts. Two Proposals“, in: „Reference Ontologies and Application Ontologies“, ed. by Grenon, Pierre; Menzel, Christopher; Smith, Barry, Proceedings of the KI2003 Workshop on Reference Ontologies and Application Ontologies, Hamburg, Germany, September 16, 2003, 2003.
- Johansson, Ingvar (2005) „Qualities, Quantities, and the Endurant-Perdurant Distinction in Top-Level Ontologies“, in: „WSPI '05. Second International Workshop on Philosophy and Informatics“, ed. by Büchel, Gregor et al., Proceedings, organized by the SIG Philosophy and Informatics at the Third Conference Professional Knowledge Management, Kaiserslautern (Germany), April 11-13, 2005.
- Johansson, Ingvar (2006) „Inference Rules, Emergent Wholes and Supervenient Properties“, in: *tripleC*, Vol. 4, No. 2, 2006, pp. 127-135.
- Johansson, Ingvar (2008a) „Bioinformatics and Biological Reality“, in: „Applied Ontology. An Introduction“, ed. by Munn, Katherine; Smith, Barry, Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 285-309.
- Johansson, Ingvar (2008b) „Four Kinds of 'Is_A' Relation“, in: „Applied Ontology. An Introduction“, ed. by Munn, Katherine; Smith, Barry, Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 235-253.
- Johansson, Ingvar (2011) „Order, Direction, Logical Priority and Ontological Categories“, in: „Ontological Categories“, ed. by Cumpa, Javier; Tegtmeier, Erwin, Frankfurt/Main: Ontos, 2011, pp. 89-108.
- Johnson, Allison H. (1943) „The Intelligibility of Whitehead's Philosophy“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 10, No. 1, 1943, pp. 47-55.
- Johnson, Allison H. (1959) „Leibniz and Whitehead“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 19, No. 3, 1959, pp. 285-305.
- Johnson, Major L., Jr. (1975) „Events as Recurrables“, in: „Analysis and Metaphysics“, ed. by Lehrer, Keith, Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1975, pp. 209-226.
- Johnson, Orace (1970) „Toward an 'Events' Theory of Accounting“, in: *The Accounting Review*, Vol. 45, No. 4, 1970, pp. 641-653.
- Johnson, William E. (1892) „The Logical Calculus“, in: *Mind*, N.S., Vol. 1, No. 3, 1892, pp. 340-357.
- Johnson, William E. (1921) „Logic. Part I“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1921.
- Johnson, William E. (1924) „Logic. Part III“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1924.
- Johnston, Mark (1983) „Particulars and Persistence“, Ph.D. thesis, Princeton Univ., Princeton/N.J., 1983.
- Johnston, Mark (1987) „Is There a Problem about Persistence?“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes*, Vol. 61, 1987, pp. 107-135.
- Johnston, Mark (1992) „Constitution Is Not Identity“, in: *Mind*, N.S., Vol. 101, No. 401, 1992, pp. 89-105.
- Johnston, Robert B.; Milton, Simon K. (2002) „The Foundation Role for Theories of Agency in Understanding Information Systems Design“, in: *Australasian Journal of Information Systems*, Vol. 10, No. 1, Special Issue, 2002, pp. 40-49.
- Jonas, Hans (1951) „General System Theory: A New Approach to Unity of Science“, in: *Human Biology*, Vol. 23, No. 4, 1951, pp. 328-336.
- Jones, Greta (1980) „Social Darwinism and English Thought. The Interaction between Biological and Social Theory“, Brighton: Harvester Pr., 1980.
- Jones, Nicola (2014) „Computer Science: The Learning Machines“, in: *Nature*, Vol. 505, No. 7482, 2014, pp. 146-148.
- Jones, Stephen (2003) „Organizing Relations and Emergence“, in: „Artificial Life VIII. Proceedings of the Eighth International Conference on Artificial Life“, ed. by Standish, Russell K.; Bedau, Mark A.; Abbass, Hussein A., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2003, pp. 418-422.
- Jonquet, Clement; Dugenie, Pascal; Cerri, Stefano A. (2008) „Service-Based Integration of Grid and Multi-Agent Systems Models“, in: „Service-Oriented Computing: Agents, Semantics, and Engineering“, ed. by Kowalczyk, Ryszard et al., AAMAS 2008 International Workshop, SOCASE 2008, Estoril, Portugal, May 12, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 56-68.
- Joos, Erich (1987) „Time Arrow in Quantum Theory“, in: *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics*, Vol. 12, No. 1, 1987, pp. 27-44.

Bibliographie

- Joos, Erich (2006) „The Emergence of Classicality from Quantum Theory“, in: „The Re-Emergence of Emergence. The Emergentist Hypothesis from Science to Religion“, ed. by Clayton, Philip; Davies, Paul, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2006, pp. 53-78.
- Jordan, Andreas; Selway, Matt; Grossmann, Georg; Mayer, Wolfgang; Stumptner, Markus (2014) „Re-engineering the ISO 15926 Data Model: A Multi-level Metamodel Perspective“, in: „Service-Oriented Computing - ICSOC 2013 Workshops“, ed. by Lomuscio, Alessio R. et al., CCSA, CSB, PASCEB, SWESE, WESOA, and PhD Symposium, Berlin, Germany, December 2-5, 2013, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 248-255.
- Jorge, Vitor A.M. et al. (2015) „Exploring the IEEE Ontology for Robotics and Automation for Heterogeneous Agent Interaction“, in: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 33, 2015, pp. 12-20.
- Jornet, Josep M.; Akyildiz, Ian F. (2012) „The Internet of Multimedia Nano-Things“, in: *Nano Communication Networks*, Vol. 3, No. 4, 2012, pp. 242-251.
- Jorysz, H.R.; Vernadat, F. (1991) „Defining CIM Enterprise Requirements Using CIM-OSA“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeingts, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 723-730.
- Joshi, Anupam; Ramakrishnan, Narendran; Houstis, Elias N. (1997) „MultiAgent Systems to Support Networked Scientific Computing“, Purdue Univ., Department of Computer Science, Computer Science Technical Reports, Paper 1358, 1997.
- Joshi, Anupam; Singh, Munindar P. (1999) „Multiagent Systems on the Net“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 42, No. 3, 1999, pp. 38-40.
- Jost, Wolfram; Wagner, Karl (2003) „Geschäftsprozessmanagement als Basis für ein effizientes Real-Time Enterprise“, in: „Real-Time Enterprise. Mit beschleunigten Managementprozessen Zeit und Kosten sparen“, hrsg. v. Scheer, August-Wilhelm et al., Berlin et al.: Springer, 2003, S. 103-122.
- Jubien, Michael (1993) „Ontology, Modality, and the Fallacy of Reference“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1993.
- Jubien, Michael (1997) „Contemporary Metaphysics“, Oxford: Basil Blackwell, 1997.
- Julián, Vicente; Rebollo, Miguel; Argente, Estefania; Botti, Vicente J.; Carrascosa, Carlos; Giret, Adriana (2009) „Using THOMAS for Service Oriented Open MAS“, in: „Service-Oriented Computing: Agents, Semantics, and Engineering“, ed. by Kowalczyk, Ryszard et al., AAMAS 2009 International Workshop SOCASE 2009, Budapest, Hungary, May 11, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 56-70.
- Jun, Chen; Chi, Chen (2014) „Design of Complex Event-Processing IDS in Internet of Things“, Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), Zhangjiajie/China, 10-11 Jan., 2014, pp. 226-229.
- Jun, Hong-Bae; Kiritsis, Dimitris (2012) „Several Aspects of Information Flows in PLM“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 14-24.
- Jun, Hong-Bae; Kiritsis, Dimitris; Xirouchakis, Paul (2007a) „A Primitive Ontology Model for Product Lifecycle Meta Data in the Closed-loop PLM“, in: „Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches“, ed. by Gonçalves, Ricardo J. et al., London: Springer, 2007, pp. 729-740.
- Jun, Hong-Bae; Kiritsis, Dimitris; Xirouchakis, Paul (2007b) „Research Issues on Closed-loop PLM“, in: *Computers in Industry*, Vol. 58, No. 8-9, 2007, pp. 855-868.
- Jun, Hong-Bae; Shin, Jong-Ho; Kim, Young-Seok; Kiritsis, Dimitris; Xirouchakis, Paul (2009) „A Framework for RFID Applications in Product Lifecycle Management“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 22, No. 7, 2009, pp. 595-615.
- Jun, Hong-Bae; Shin, Jong-Ho; Kiritsis, Dimitris; Xirouchakis, Paul (2007) „System Architecture for Closed-loop PLM“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 20, No. 7, 2007, pp. 684-698.
- Jung, Jae-Yoon; Rosales, Pablo; Oh, Kyuhyup; Kim, Kyuri (2012) „edUFlow: An Event-Driven Ubiquitous Flow Management System“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Daniel, Florian et al., BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011, Revised Selected Papers, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 427-432.
- Jung, Jisoo; Choi, Injun; Song, Minseok (2007) „An Integration Architecture for Knowledge Management Systems and Business Process Management Systems“, in: *Computers in Industry*, Vol. 58, 2007, pp. 21-34.

Bibliographie

- Junkkari, Marko (2012) „Mereological View to Intensional Containment“, in: „Information Modelling and Knowledge Bases XXIII“, ed. by Henno, Jaak et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 204-218.
- Jureta, Ivan J. (2011) „Analysis and Design of Advice“, Berlin et al.: Springer, 2011.
- Jureta, Ivan J.; Faulkner, Stéphane (2005) „An Agent-Oriented Meta-model for Enterprise Modelling“, in: „Perspectives in Conceptual Modeling“, ed. by Akoka, Jacky et al., ER 2005 Workshop AOIS, BP-UML, CoMoGIS, eCOMO, and QoIS, Klagenfurt, Austria, October 24-28, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 151-161.
- Jureta, Ivan J.; Faulkner, Stéphane; Kolp, Manuel (2006) „Formalizing Agent-Oriented Enterprise Models“, in: „Agent-Oriented Information Systems III“, ed. by Kolp, Manuel et al., 7th International Bi-Conference Workshop, AOIS 2005, Utrecht, Netherlands, July 26, 2005, and Klagenfurt, Austria, October 27, 2005, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 184-199.
- Jureta, Ivan J.; Mylopoulos, John; Faulkner, Stéphane (2009) „A Core Ontology for Requirements“, in: Applied Ontology, Vol. 4, 2009, pp. 169-244.
- Juric, Matjaz B.; Loganathan, Ramesh; Sarang, Poornachandra; Jennings, Frank (2007) „SOA Approach to Integration. XML, Web Services, ESB, and BPEL in Real-World SOA Projects“, Birmingham, Mumbai: Packt, 2007.
- Juristo, Natalia; Moreno, Ana M. (2000) „Introductory Paper: Reflections on Conceptual Modelling“, in: Data & Knowledge Engineering, Vol. 33, 2000, pp. 103-117.
- Jussupova-Mariethoz, Yelena; Probst, Andre-Rene (2007) „Business Concepts Ontology for an Enterprise Performance and Competences Monitoring“, in: Computers in Industry, Vol. 58, No. 2, 2007, pp. 118-129.
- Kabbaj, Adil; Bouzouba, Karim; El Hachimi, Khalid; Ourdani, Nabil (2006) „Ontologies in Amine Platform: Structures and Processes“, in: „Conceptual Structures: Inspiration and Application“, ed. by Schärfe, Henrik et al., 14th Int. Conference on Conceptual Structures, ICCS 2006, Aalborg, Denmark, July 16-21, 2006, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 300-313.
- Kabilan, Vandana; Johannesson, Paul; Ruohomaa, Sini; Moen, Pirjo; Herrmann, Andrea; Ahlfeldt, Rose-Mharie; Weigand, Hans (2007) „Introducing the Common Non-Functional Ontology“, in: „Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches“, ed. by Gonçalves, Ricardo J. et al., London: Springer, 2007, pp. 633-645.
- Kaczmarek, Monika (2015) „Ontologies in the Realm of Enterprise Modeling - A Reality Check“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Cuel, Roberta; Young, Robert, 7th International Workshop, FOMI 2015, Berlin, Germany, August 5, 2015, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 39-50.
- Kaddoum, Elsy; Georgé, Jean-Pierre (2012) „Collective Self-Tuning for Complex Product Design“, IEEE Sixth International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO), Lyon, 10-14 Sept., 2012, pp. 193-198.
- Kaiser, Mathias (1988) „Ein kritischer Kommentar zu Hartmut Bernhard: ‘Was bedeutet Poppers Drei-Welten-Lehre?’“, in: Zeitschrift für philosophische Forschung, Bd. 42, Nr. 1, 1988, S. 107-111.
- Kalfoglou, Yannis; Schorlemmer, Marco (2010) „The Information Flow Approach to Ontology-Based Semantic Alignment“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 101-114.
- Kallfelz, William (2009) „Physical Emergence and Process Ontology“, in: World Futures, Vol. 65, No. 1, 2009, pp. 42-60.
- Kamada, Aqueo; Governatori, Guido; Sadiq, Shazia (2010) „SBVR based Business Contract and Business Rule IDE“, 2010.
- Kamal, Hamaz; Fouzia, Benchikha (2013) „From Relational Databases to Ontology-Based Databases“, in: „Proceedings of the 15th International Conference on Enterprise Information Systems, Vol. 1“, ed. by Hammoudi, Slimane et al., Angers/France, Setúbal: Scitepress, 2013, pp. 289-297.
- Kamaruddin, Lina Azleny; Shen, Jun; Beydoun, Ghassan (2012) „Evaluating Usage of WSMO and OWL-S in Semantic Web Services“, Proceedings of the Eighth Asia-Pacific Conference on Conceptual Modelling (APCCM 2012), Melbourne/Australia, 2012, pp. 53-58.
- Kamlah, Wilhelm; Lorenzen, Paul (1984) „Logical Propaedeutic: Pre-School of Reasonable Discourse“, Lanham/MD: Univ. Pr. of America, 1984.
- Kamouch, Ali; Chaoub, Abdelaali; Guennoun, Zouhair (2018) „Mobile Big Data in Vehicular Networks: The Road to Internet of Vehicles“, in: „Mobile Big Data: A Roadmap from Models to Technologies“, ed. by Skourletopoulos, Georgios et al., Cham et al.: Springer, 2018, pp. 129-143.
- Kanade, Takeo; Narayanan, P.J. (2006) „Historical Perspectives on 4D Virtualized Reality“, Proceedings of the 2006 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop (CVPRW'06), 2006, pp. 165-176.

Bibliographie

- Kanade, Takeo; Narayanan, P.J. (2007) „Virtualized Reality: Perspectives on 4D Digitization of Dynamic Events“, in: IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 27, No. 3, 2007, pp. 32-40.
- Kaneiwa, Ken; Iwazume, Michiaki; Fukuda, Ken (2007) „An Upper Ontology for Event Classifications and Relations“, in: „AI 2007: Advances in Artificial Intelligence“, ed. by Orgun, Mehmet A.; Thornton, John, 20th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, Gold Coast, Australia, December 2-6, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 394-403.
- Kang, Dongwoo; Lee, Jeongsoo; Choi, Sungchul; Kim, Kwangsoo (2010b) „An Ontology-based Enterprise Architecture“, in: Expert Systems with Applications, Vol. 37, No. 2, 2010, pp. 1456-1464.
- Kang, Dongwoo; Lee, Jeongsoo; Kim, Kwangsoo (2010a) „Alignment of Business Enterprise Architectures using Fact-based Ontologies“, in: Expert Systems with Applications, Vol. 37, No. 4, 2010, pp. 3274-3283.
- Kang, Seung; Lau, Sim (2007) „Ontology Revision. An Application of Belief Revision Approach“, in: „Ontologies. A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems“, ed. by Sharman, Raj et al., Boston/Mass.: Springer, 2007, pp. 297-318.
- Kangassalo, Hannu (1990a) „Foundations of Conceptual Modelling: A Theory Construction View“, in: „Information Modelling and Knowledge Bases“, ed. by Kangassalo, Hannu et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 1990, pp. 19-35.
- Kangassalo, Hannu (1990b) „Computations in a CONCEPT D Conceptual Schema“, in: „Information Modelling and Knowledge Bases“, ed. by Kangassalo, Hannu et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 1990, pp. 329-357.
- Kangassalo, Hannu (1992/93) „COMIC: A System and Methodology for Conceptual Modelling and Information Construction“, in: Data & Knowledge Engineering, Vol. 9, 1992, pp. 287-319.
- Kangassalo, Hannu (1999) „Are Global Understanding, Communication, and Information Management in Information Systems Possible?“, in: „Conceptual Modeling. Current Issues and Future Directions“, ed. by Chen, Peter P. et al., Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 105-122.
- Kangassalo, Hannu; Viitanen, Arto (1990) „A Concept Data Base for Conceptual Schemata“, in: „Information Modelling and Knowledge Bases“, ed. by Kangassalo, Hannu et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 1990, pp. 264-291.
- Kanitscheider, Bernulf (1996) „Im Innern der Natur“, Darmstadt: Wiss. Buchges., 1996.
- Kanitscheider, Bernulf (2006) „Naturalismus und logisch-mathematische Grundlagenprobleme“, in: Erwägen Wissen Ethik, 17. Jg., Nr. 3, 2006, S. 325-338.
- Kannengiesser, Udo (2008) „Subsuming the BPM Life Cycle in an Ontological Framework of Designing“, in: „Advances in Enterprise Engineering I“, ed. by Dietz, Jan L.G. et al., 4th Int. Workshop CIAO! and 4th Int. Workshop EOMAS, held at CAiSE 2008, Montpellier, France, June 16-17, 2008, Proceedings, Berlin et al. et al.: Springer, 2008, pp. 31-45.
- Kannengiesser, Udo; Müller, Harald (2013) „Towards Agent-Based Smart Factories. A Subject-Oriented Modeling Approach“, 2013, pp. 83-86.
- Kant, Immanuel (1755) „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“, Nachdr. d. Ausg. Königberg, Leipzig: Petersen, Erlangen: Fischer, 1988.
- Kant, Immanuel (1781) „Kritik der reinen Vernunft“, nach der ersten und zweiten Originalausgabe hrsg. v. Jens Timmermann, Hamburg: Meiner, 2003.
- Kant, Immanuel (1783a) „Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können“, hrsg. v. Vorländer, Karl, 6. Aufl., Leipzig: Meiner, 1920.
- Kant, Immanuel (1783b) „Prolegomena to Any Future Metaphysics that Will be Able to Present Itself as a Science“, (A Translation from the German Based on the Original Editions by Peter G. Lucas), Manchester: Manchester Univ. Pr., 1953.
- Kant, Immanuel (1784) „Beantwortung der Frage: Was ist Aufklärung?“, in: „Immanuel Kant: Was ist Aufklärung?“, hrsg. v. Zehbe, Jürgen, (Wiederabdr., Berlinische Monatsschrift, Dezember 1784), Göttingen: Vandenhoeck u. Ruprecht, 1967, S. 55-61.
- Kant, Immanuel (1786a) „Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft“, Nachdr. d. Ausg. Riga: Hartknoch, 1786, Erlangen: Fischer, 1984.
- Kant, Immanuel (1786b) „Was heißt: sich im Denken orientieren?“, in: „Immanuel Kants Kleinere Schriften zur Logik und Metaphysik“, hrsg. v. Vorländer, Karl, 2. Aufl., zweite Abteilung: Die Schriften von 1766-86, Leipzig: Dürr, 1905, S. 145-163.
- Kant, Immanuel (1787) „Kritik der reinen Vernunft“, 2., hin und wieder verb. Aufl., Riga: Hartknoch, 1787.
- Kant, Immanuel (1788) „Kritik der praktischen Vernunft“, Hamburg: Meiner, 2003.
- Kant, Immanuel (1790) „Kritik der Urteilskraft“, Hamburg: Meiner, 2003.

Bibliographie

- Kant, Immanuel (1800) „Logik. Ein Handbuch zu Vorlesungen“, hrsg. v. Jäsche, Gottlob Benjamin, 2. Aufl., Leipzig: Koschny, 1876.
- Kant, Immanuel (1804) „Über die von der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin für das Jahr 1791 ausgesetzte Preisfrage: Welches sind die wirklichen Fortschritte, die die Metaphysik seit Leibnizens, und Wolf's Zeiten in Deutschland gemacht hat?“, Königsberg, 1804.
- Kantarci, Burak; Erol-Kantarci, Melike; Schuckers, Stephanie (2015) „Towards Secure Cloud-Centric Internet of Biometric Things“, IEEE 4th International Conference on Cloud Networking (CloudNet), 5-7 Oct., 2015, pp. 81-83.
- Kantor, Frederick W. (1982) „An Informal Partial Overview of Information Mechanics“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, Nos 6/7, 1982, pp. 525-535.
- Kanzian, Christian (2009) „Ding - Substanz - Person: Eine Alltagsontologie“, Berlin et al.: De Gruyter, 2009.
- Kanzian, Christian (2010) „Farewell to Tropes!': Ein Abschied, frei nach Otto Muck“, in: „Metaphysische Integration. Essays zur Philosophie von Otto Muck“, hrsg. v. Löffler, Winfried, Frankfurt et al.: Ontos, 2010, S. 31-52.
- Kanzian, Christian; Wang, Joseph (2008) „Substanzen in der analytischen Ontologie“, in: „Substantia - sic et non. eine Geschichte des Substanzbegriffs von der Antike bis zur Gegenwart in Einzelbeiträgen“, hrsg. v. Gutschmidt, Holger, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2008, S. 521-542.
- Kaplan, Abraham (1964) „The Conduct of Inquiry. Methodology for Behavioral Science“, San Francisco/CA: Chandler, 1964.
- Kaplan, David (1975) „How to Russell a Frege-Church“, in: Journal of Philosophy, Vol. 72, No. 19, 1975, pp. 716-729.
- Kaplan, Robert S. (1983) „Measuring Manufacturing Performance: A New Challenge for Managerial Accounting Research“, in: Accounting Review, Vol. 58, No. 4, 1983, pp. 686-705.
- Kaplan, Robert S. (1984) „The Evolution of Management Accounting“, in: Accounting Review, Vol. 59, No. 3, 1984, pp. 390-418.
- Kaplan, Robert S. (ed.) (1990) „Measures for Manufacturing Excellence“, Boston/Mass.: Harvard Business School Pr., 1990.
- Kaplan, Robert S.; Norton, David P. (1996) „The Balanced Scorecard“, Boston/Mass.: Harvard Business School Pr., 1996.
- Karakostas, Vassilios; Loucopoulos, Pericles (1989) „A Language and Method for Constructing and Validating Conceptual Models of Office Information Systems“, in: „Proceedings of the IFIP 8.4 Working Conference on Office Information Systems: The Design Process, Linz, Austria, August 1988“, ed. by Pernici, Barbara; Verrijn-Stuart, Adolf Alexander, Amsterdam: North-Holland, 1989, pp. 223-237.
- Kärkkäinen, Hannu; Pels, Henk Jan; Silventoinen, Anneli (2012) „Defining the Customer Dimension of PLM Maturity“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montréal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 623-634.
- Karnouskos, Stamatis; Colombo, Armando W.; Bangemann, Thomas; Manninen, Keijo; Camp, Roberto; Tilly, Marcel et al. (2014) „The IMC-AESOP Architecture for Cloud-Based Industrial Cyber-Physical Systems“, in: „Industrial Cloud-Based Cyber-Physical Systems. The IMC-AESOP Approach“, ed. by Colombo, Armando W. et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 49-88.
- Karnouskos, Stamatis; Guinard, Dominique; Savio, Dommic; Spiess, Patrik; Baecker, Oliver et al. (2009) „Towards the Real-Time Enterprise: Service-based Integration of Heterogeneous SOA-ready Industrial Devices with Enterprise Applications“, in: IFAC Proceedings Volumes, Vol. 42, No. 4, 2009, pp. 2131-2136.
- Karnouskos, Stamatis; Savio, Dommic; Spiess, Patrik; Guinard, Dominique; Trifa, Vlad; Baecker, Oliver (2010) „Real-World Service Interaction with Enterprise Systems in Dynamic Manufacturing Environments“, in: „Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management“, ed. by Benyoucef, Lyes; Grabot, Bernard, London: Springer, 2010, pp. 423-457.
- Karp, Peter D. (1992) „The Design Space of Frame Knowledge Representation Systems“, Technical Note No. 520, SRI International, Menlo Park, CA, 1992.
- Karp, Peter D.; Myers, Karen L.; Gruber, Thomas R. (1995) „The Generic Frame Protocol“, Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 95, Montréal Québec/Canada, August 20-25 1995, 2 Vols., Vol. 1, San Francisco/CA: Morgan Kaufmann, 1995, pp. 768-774.

Bibliographie

- Karpovic, Jaroslav; Nemuraite, Lina (2011) „Transforming SBVR Business semantics into Web Ontology Language OWL2: Main Concepts“, Proc. 17th International Conference on Information and Software Technologies (IT 2011), 2011.
- Karray, Mohamed Hedi; Chebel-Morello, Brigitte; Zerhouni, Noureddine (2011) „A Formal Ontology for Industrial Maintenance“, Terminology & Ontology: Theories and Applications, TOTh Conference 2011, Annecy, France, 2011.
- Kaschek, Roland; Delcambre, Lois (eds.) (2011) „The Evolution of Conceptual Modeling“, Berlin et al.: Springer, 2011.
- Kasik, Josef; Hunka, Frantisek (2011) „Business Process Modelling Using REA Ontology“, in: Economics and Management, Vol. 16, 2011, pp. 1047-1053.
- Kassel, Gilles (2010) „A Formal Ontology of Artefacts“, in: Applied Ontology, Vol. 5, No. 3-4, 2010, pp. 223-246.
- Kassner, Laura; Gröger, Christoph; Mitschang, Bernhard; Westkämper, Engelbert (2015) „Product Life Cycle Analytics - Next Generation Data Analytics on Structured and Unstructured Data“, in: Procedia CIRP, Vol. 33, 2015, pp. 35-40.
- Kattenstroth, Heiko; Heise, David (2011) „Towards a Method for IT Service Management“, in: „The Practice of Enterprise Modeling“, ed. by Johannesson, Paul et al., 4th IFIP WG 8.1 Working Conference, PoEM 2011 Oslo, Norway, November 2-3, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 178-192.
- Katz, Jerrold J. (1981) „Language and Other Abstract Objects“, Totowa/NJ: Rowman and Littlefield, 1981.
- Katz, Richard N. (2002) „Bits and Atoms. An Interview with Neil Gershenfeld“, in: Educause Review, March/April, 2002, pp. 34-38.
- Katzan, Harry, Jr. (2007) „Ontological Elements for Information Systems Architecture“, in: „Proceedings of the 2007 Southern Association for Information Systems Conference“, ed. by Weistroffer, H. Roland, 2007, pp. 239-244.
- Kauffman, Stuart A. (1969) „Metabolic Stability and Epigenesis in Randomly Constructed Genetic Nets“, in: Journal of Theoretical Biology, Vol. 22, No. 3, 1969, pp. 437-467.
- Kauffman, Stuart A. (1984) „Emergent Properties in Random Complex Automata“, in: „Cellular Automata: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, Los Alamos March 7-11, 1983 (Physica D, Vol. 10, Nos. 1/2)“, ed. by Farmer, J. Doyné; Toffoli, Tommaso; Wolfram, Stephen, Amsterdam et al.: North-Holland, 1984, pp. 145-156.
- Kauffman, Stuart A. (1988a) „One Biologist's Galapagos: Origins of Order in Evolution“, in: Bulletin of the Santa Fe Institute, Vol. 3, No. 1, 1988, pp. 9-11.
- Kauffman, Stuart A. (1988b) „The Evolution of Economic Webs“, in: „The Economy as an Evolving Complex System“, ed. by Anderson, Philip W.; Arrow, Kenneth J.; Pines, David, Redwood City/Cal.: Addison-Wesley, 1988, pp. 125-146.
- Kauffman, Stuart A. (1989a) „Adaptation on Rugged Fitness Landscapes“, in: „Lectures in the Sciences of Complexity“, ed. by Stein, Daniel L., Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Lectures Vol. 1, Redwood City/Calif. et al.: Addison-Wesley, 1989, pp. 527-618.
- Kauffman, Stuart A. (1989b) „Principles of Adaptation in Complex Systems“, in: „Lectures in the Sciences of Complexity“, ed. by Stein, Daniel L., Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Lectures Vol. 1, Redwood City/Calif. et al.: Addison-Wesley, 1989, pp. 619-712.
- Kauffman, Stuart A. (1993) „The Origins of Order. Self-Organization and Selection in Evolution“, New York, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1993.
- Kauffman, Stuart A. (1995a) „At Home in the Universe. The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity“, New York, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1995.
- Kauffman, Stuart A. (1995b) „Technology and Evolution: Escaping the Red Queen Effect“, in: McKinsey Quarterly, No. 1, 1995, pp. 119-129.
- Kauffman, Stuart A. (1996) „Autonomous Agents, Self-Constructing Biospheres, and Science“, in: Complexity, Vol. 2, No. 2, 1996, pp. 16-17.
- Kauffman, Stuart A. (1997) „'Was ist Leben?' - hatte Schrödinger recht?“, in: „Was ist Leben? Die Zukunft der Biologie. Eine alte Frage in neuem Licht - 50 Jahre nach Erwin Schrödinger“, hrsg. v. Murphy, Michael P.; O'Neill, Luke A.J., Heidelberg et al.: Spektrum Akad. Verl., 1997, S. 99-133.
- Kauffman, Stuart A. (2000a) „Investigations“, Oxford, New York: Oxford Univ. Pr., 2000.
- Kauffman, Stuart A. (2000b) „The Global Dynamics of Cellular Automata, by Andrew Wuensche and Mike Lesser“, in: Complexity, Vol. 5, No. 6, 2000, pp. 47-48.

Bibliographie

- Kauffman, Stuart A. (2003) „The Emergence of Autonomous Agents“, in: „From Complexity to Life. On the Emergence of Life and Meaning“, ed. by Gregersen, Niels Henrik, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2003, pp. 47-71.
- Kauffman, Stuart A. (2004) „Autonomous Agents“, in: „Science and Ultimate Reality. Quantum Theory, Cosmology, and Complexity“, ed. by Barrow, John D.; Davies, Paul C.W.; Harper, Charles L., Jr., Repr., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2005, pp. 654-666.
- Kauffman, Stuart A. (2008) „Reinventing the Sacred. A New View of Science, Reason and Religion“, New York: Basic Books, 2008.
- Kauffman, Stuart A.; Lobo, José; Macready, William G. (2000) „Optimal Search on a Technology Landscape“, in: *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 43, No. 2, 2000, pp. 141-166.
- Kauffman, Stuart A.; Macready, William G. (1995) „Technological Evolution and Adaptive Organizations“, in: *Complexity*, Vol. 1, No. 2, 1995, pp. 26-43.
- Kauffman, Stuart A.; Smith, Robert G. (1986) „Adaptive Automata Based on Darwinian Selection“, in: *Physica D*, Vol. 22, Nos. 1/3, 1986, pp. 68-82.
- Kaufmann, Timothy (2015) „Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge. Der Weg vom Anspruch in die Wirklichkeit“, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- Kaulbach, Friedrich (1965) „Der philosophische Begriff der Bewegung. Studien zu Aristoteles, Leibniz und Kant“, Köln, Graz: Böhlau, 1965.
- Kawamoto, Yuichi; Nishiyama, Hiroki; Kato, Nei; Yoshimura, Naoko; Yamamoto, Shinichi (2014) „Internet of Things (IoT): Present State and Future Prospects“, in: *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E97-D, No. 10, 2014, pp. 2568-2575.
- Kay, Paul; Kempton, Willett (1984) „What Is the Sapir-Whorf Hypothesis?“, in: *American Anthropologist*, N.S., Vol. 86, No. 1, 1984, pp. 65-79.
- Kayed, Ahmad; Colomb, Robert M. (2005) „Using BWW Model to Evaluate Building Ontologies in CGs Formalism“, in: *Information Systems*, Vol. 30, 2005, pp. 379-398.
- Kazmierczak, Edmund; Milton, Simon K. (2005) „Using a Common-Sense Realistic Ontology: Making Data Models Better Map the World“, in: „Business Systems Analysis with Ontologies“, ed. by Green, Peter; Rosemann, Michael, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2005, pp. 218-248.
- Keberle, Natalya; Ermolayev, Vadim; Matzke, Wolf-Ekkehard (2007) „Evaluating PSI Ontologies by Mapping to the Common Sense“, in: „Information Systems Technology and its Applications“, ed. by Mayr, Heinrich C.; Karagiannis, Dimitris, 6th International Conference ISTA'2007, May 23-25, 2007, Kharkiv, Ukraine, LNI 107, GI, 2007, pp. 91-104.
- Keeley, Brian L. (1994) „Against the Global Replacement: On the Application of the Philosophy of Artificial Intelligence to Artificial Life“, in: „Artificial Life III“, ed. by Langton, Christopher G., Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1994, pp. 569-587.
- Keeley, Brian L. (1997) „Evaluating Artificial Life and Artificial Organisms“, in: „Artificial Life V. Proceedings of the Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Langton, Christopher G.; Shimohara, Katsunori, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1997, pp. 264-271.
- Keeley, Brian L. (1998) „Artificial Life for Philosophers“, in: *Philosophical Psychology*, Vol. 11, No. 2, 1998, pp. 251-260.
- Keeley, Brian L.; Bonabeau, Eric W. (1993) „Is there Room for Philosophy in the Science(s) of Complexity?“, in: „1992 Lectures in Complex Systems“, ed. by Nadel, Lynn; Stein, Daniel L., Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Lecture Vol. 5, Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1993, pp. 615-622.
- Keen, Emily; Milton, Simon K.; Keen, Chris (2013) „Providing for Perspectives: The Role of Discourse Analysis in Ontology Concept Formulation and Development“, ed. by Deng, Hepu; Standing, Craig, ACIS 2013, Information systems: Transforming the Future, Proceedings of the 24th Australasian Conference on Information Systems, Melbourne, Australia, 4-6 December, 2013, pp. 1-12.
- Keet, C. Maria (2005) „Using Abstractions to Facilitate Management of Large ORM Models and Ontologies“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 603-612.
- Keet, C. Maria (2011) „The Use of Foundational Ontologies in Ontology Development: An Empirical Assessment“, in: „The Semantic Web: Research and Applications“, ed. by Antoniou, Grigoris et al., 8th Extended Semantic Web Conference, ESWC 2011, Heraklion, Crete, Greece, May 29-June 2, 2011, Proceedings, Part I, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 321-335.

Bibliographie

- Keet, C. Maria (2012) „Transforming Semi-structured Life Science Diagrams into Meaningful Domain Ontologies with DiDOn“, in: *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 45, No. 3, 2012, pp. 482-494.
- Keet, C. Maria; Artale, Alessandro (2008) „Representing and Reasoning over a Taxonomy of Part-Whole Relations“, in: *Applied Ontology*, Vol. 3, No. 1-2, 2008, pp. 91-110.
- Keeton, Hank (2004) „Whitehead as Mathematical Physicist“, in: „Physics and Whitehead. Quantum, Process, and Experience“, ed. by Eastman, Timothy E.; Keeton, Hank, Albany: State Univ. of New York Pr., 2004, pp. 31-46.
- Keil, Geert (1993) „Kritik des Naturalismus“, Berlin et al.: De Gruyter, 1993.
- Keinänen, Markku (2008) „Revisionary and Descriptive Metaphysics“, in: *Philosophica*, Vol. 81, No. 1, 2008, pp. 23-58.
- Kekes, John (1966) „Physicalism, the Identity Theory, and the Doctrine of Emergence“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 33, No. 4, 1966, pp. 360-375.
- Keller, Gerhard; Nüttgens, Markus; Scheer, August-Wilhelm (1992) „Semantische Prozeßmodellierung auf der Grundlage Ereignisgesteuerter Prozeßketten (EPK)“, *Veröffentlichungen des Instituts für Wirtschaftsinformatik (IWi)*, Universität des Saarlandes, hrsg. v. A.-W. Scheer, Heft 89, 1992.
- Kelly, Derek A. (1977) „The Categorical Structure of Popper's Metaphysics“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 38, No. 1, 1977, pp. 82-99.
- Kelly, John E., III; Hamm, Steve (2013) „Smart Machines. IBM's Watson and the Era of Cognitive Computing“, New York/NY et al.: Columbia Univ. Pr., 2013.
- Kenaw, Setargew (2008) „Hubert L. Dreyfus's Critique of Classical AI and its Rationalist Assumptions“, in: *Minds and Machines*, Vol. 18, No. 2, 2008, pp. 227-238.
- Kennedy, Bart F. (1974) „Whitehead's Doctrine of Eternal Objects and its Interpretations“, in: „Studies in Process Philosophy I“, ed. by Whittlemore, Robert C., The Hague: Martinus Nijhoff, 1974, pp. 60-86.
- Kenny, Anthony (1963) „Action, Emotion and Will“, London et al.: Routledge & Kegan Paul, 1963.
- Kent, Robert E. (1999) „Conceptual Knowledge Markup Language: The Central Core“, *Modeling and Management, KAW'99: Proceedings of the Twelfth Workshop on Knowledge Acquisition, 1999*.
- Kent, Robert E. (2006) „The Information Flow Framework: New Architecture“, Working Paper, 2006.
- Kent, William (1978) „Data and Reality. Basic Assumptions in Data Processing Reconsidered“, New York et al.: North Holland, 1978.
- Keramidas, Georgios; Voros, Nikolaos; Hübner, Michael (eds.) (2017) „Components and Services for IoT Platforms: Paving the Way for IoT Standards“, Cham et al.: Springer, 2017.
- Kernschmidt, Konstantin; Preißner, Stephanie; Raasch, Christina; Vogel-Heuser, Birgit (2016) „From Selling Products to Providing User Oriented Product-Service Systems - Exploring Service Orientation in the German Machine and Plant Manufacturing Industry“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 280-290.
- Keskisärkkä, Robin (2014) „Semantic Complex Event Processing for Decision Support“, in: „The Semantic Web - ISWC 2014“, ed. by Mika, Peter et al., 13th International Semantic Web Conference, Riva del Garda, Italy, October 19-23, 2014. Proceedings, Part II, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 529-536.
- Keskisärkkä, Robin; Blomqvist, Eva (2013) „Semantic Complex Event Processing for Social Media Monitoring - A Survey“, in: „SMILE 2013. Social Media and Linked Data for Emergency Response“, ed. by Lanfranchi, Vitaveska et al., Proceedings of the Workshop on Social Media and Linked Data for Emergency Response, co-located with 10th Extended Semantic Web Conference (ESWC 2013), Montpellier, France, May 26, 2013.
- Keskisärkkä, Robin; Blomqvist, Eva (2015) „Supporting Real-Time Monitoring in Criminal Investigations“, in: „The Semantic Web: ESWC 2015 Satellite Events“, ed. by Gandon, Fabien et al., ESWC 2015 Satellite Events, Portoroz, Slovenia, May 31 - June 4, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 82-86.
- Keto, Harri; Palomäki, Jari (2007) „Applying the Process-Ontological Model in Practice“, in: „ONTOSE 2007“, ed. by Micucci, Daniela et al., 2nd International Workshop on Ontology, Conceptualization and Epistemology for Software and System Engineering, Milan, June 27-28, 2007.
- Keto, Harri; Palomäki, Jari; Jaakkola, Hannu (2010) „Towards the Process-Ontological Modelling“, in: „Information Modelling and Knowledge Bases XXI“, ed. by Welzer Druzovec, Tatjana et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 299-306.
- Keyser, Daniel (2000) „Emergent Properties and Behavior of the Atmosphere“, in: „Unifying Themes in Complex Systems“, Proceedings of the first International Conference on Complex Systems, New Hampshire, 1997, ed. by Bar-Yam, Yaneer, Cambridge/Mass.: Perseus Books, 2000, pp. 33-41.

Bibliographie

- Khaleghi, Bahador; Khamis, Alaa; Karray, Fakhreddine O.; Razavi, Saiedeh N. (2013) „Multisensor Data Fusion: A Review of the State-of-the-Art“, in: *Information Fusion*, Vol. 14, No. 1, 2013, pp. 28-44.
- Khan, Rafiullah; Khan, Sarmad U.; Zaheer, Rifaqat; Khan, Shahid (2012) „Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges“, 10th International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT), 17-19 Dec., 2012, pp. 257-260.
- Khan, Zubeida C. (2013) „Foundational Ontology Interchangeability with the Repository of Ontologies for MULTIPLE USES (ROMULUS)“, 2013.
- Khan, Zubeida C.; Keet, C. Maria (2013a) „Addressing Issues in Foundational Ontology Mediation“, 5th International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development (KEOD'13), Vilamoura, Portugal, 19-22 September, 2013.
- Khan, Zubeida C.; Keet, C. Maria (2013b) „Toward Semantic Interoperability with linked Foundational Ontologies in ROMULUS“, Seventh International Conference on Knowledge Capture (K-CAP'13), ACM proceedings. 23-26 June 2013, Banff, Canada, 2013.
- Khatri, Vijay; Vessey, Iris; Ram, Sudha; Ramesh, Venkataraman (2006) „Cognitive Fit Between Conceptual Schemas and Internal Problem Representations: The Case of Geospatio-Temporal Conceptual Schema Comprehension“, in: *IEEE Transactions on Professional Communication*, Vol. 49, No. 2, 2006, pp. 109-127.
- Khazraee, Emad; Lin, Xia (2011) „Demystifying Ontology“, in: „Classification & Ontology. Formal Approaches and Access to Knowledge“, ed. by Slavic, Aida; Civallo, Edgardo, Proceedings of the International UDC Seminar 19-20 September 2011, The Hague, The Netherlands, Würzburg: Ergon, 2011, pp. 41-53.
- Khodadadi, Farzad; Dastjerdi, Amir V.; Buyya, Rajkumar (2016) „Internet of Things: An Overview“, in: „Internet of Things: Principles and Paradigms“, ed. by Buyya, Rajkumar; Dastjerdi, Amir V., Amsterdam et al.: Morgan Kaufmann, 2016, pp. 3-27.
- Khoo, Zhong Xun; Teoh, Joanne Ee Mei; Liu, Yong; Chua, Chee Kai; Yang, Shoufeng; An, Jia; Leong, Kah Fai; Yeong, Wai Yee (2015) „3D Printing of Smart Materials: A Review on Recent Progresses in 4D Printing“, in: *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 10, No. 3, 2015, pp. 103-122.
- Khoshafian, Setrag (2007) „Service Oriented Enterprises“, Boca Raton/FL: Auerbach Publications, 2007.
- Kiirikki, J.; Haag, M. (2013) „Ubiquitous Assembly Cell Concept and Requirements“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 12, 2013, pp. 157-162.
- Kim, Gun Yeon; Noh, Sang Do; Rim, Yong Hoon; Mun, Joung Hwan (2008) „XML-based Concurrent and Integrated Ergonomic Analysis in PLM“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 39, No. 9, 2008, pp. 1045-1060.
- Kim, Jaegwon (1969) „Events and Their Descriptions“, in: „Essays in Honor of Carl Hempel“, ed. by Rescher, Nicholas, Dordrecht: D. Reidel, 1969, pp. 197-215.
- Kim, Jaegwon (1973) „Causation, Nomic Subsumption, and the Concept of Event“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 70, No. 8, 1973, pp. 217-236.
- Kim, Jaegwon (1976) „Events as Property Exemplifications“, in: „Action Theory“, ed. by Brand, Myles; Walton, Douglas, Dordrecht, Boston: Reidel, 1976, pp. 159-177.
- Kim, Jaegwon (1991) „Events: Their Metaphysics and Semantics“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 51, No. 3, 1991, pp. 641-646.
- Kim, Jaegwon (1992) „'Downward Causation' in Emergentism and Nonreductive Physicalism“, in: „Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism“, ed. by Beckermann, Ansgar et al., Berlin, New York: De Gruyter, 1992, pp. 119-138.
- Kim, Jaegwon (1993) „Supervenience and Mind“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1993.
- Kim, Jaegwon (1996) „Philosophy of Mind“, Boulder/Col.: Westview Pr., 1996.
- Kim, Jaegwon (1999) „Making Sense of Emergence“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 95, No. 1/2, 1999, pp. 3-36.
- Kim, Jaegwon (2000) „Making Sense of Downward Causation“, in: „Downward Causation. Minds, Bodies and Matter“, ed. by Andersen, Peter Bøgh et al., Aarhus: Aarhus Univ. Pr., 2000, pp. 305-321.
- Kim, Jaegwon (2001) „Mental Causation and Consciousness: The Two Mind-Body Problems for the Physicalist“, in: „Physicalism and Its Discontents“, ed. by Gillett, Carl; Loewer, Barry, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2001, pp. 271-283.
- Kim, Jaegwon (2006a) „Emergence: Core Ideas and Issues“, in: *Synthese*, Vol. 151, No. 3, 2006, pp. 547-559.

Bibliographie

- Kim, Jaegwon (2006b) „Being Realistic about Emergence“, in: „The Re-Emergence of Emergence. The Emergentist Hypothesis from Science to Religion“, ed. by Clayton, Philip; Davies, Paul, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2006, pp. 189-202.
- Kim, Jaegwon; Korman, Daniel Z.; Sosa, Ernest (eds.) (2012) „Metaphysics. An Anthology“, 2nd ed., Chichester: Wiley-Blackwell, 2012.
- Kim, Jeong-Hee; Kwon, Hoon; Kim, Do-Hyeun; Kwak, Ho-Young; Lee, Sang-Joon (2008) „Building a Service-Oriented Ontology for Wireless Sensor Network“, Seventh IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 08), 14-16 May, 2008.
- Kim, Kyoung-Yun et al. (2006) „Ontology-based Assembly Design and Information Sharing for Collaborative Product Development“, in: Computer-Aided Design, Vol. 38, 2006, pp. 1233-1250.
- Kim, Kyung-Joong; Cho, Sung-Bae (2006) „A Comprehensive Overview of the Applications of Artificial Life“, in: Artificial Life, Vol. 12, No. 1, 2006, pp. 153-182.
- Kindberg, Tim; Barton, John; Morgan, Jeff et al. (2002) „People, Places, Things: Web Presence for the Real World“, in: Mobile Networks and Applications, Vol. 7, No. 5, 2002, pp. 365-376.
- Kindler, Ekkart (2006) „On the Semantics of EPCs: Resolving the Vicious Circle“, in: Data & Knowledge Engineering, Vol. 56, No. 1, 2006, pp. 23-40.
- King, Lesley S. (2004) „The Origins of the Santa Fe Institute“, in: Bulletin of the Santa Fe Institute, Vol. 19, No. 2, 2004, pp. 3-13.
- Kirikova, Marite (2000) „Explanatory Capability of Enterprise Models“, in: Data & Knowledge Engineering, Vol. 33, No. 2, 2000, pp. 119-136.
- Kiritsis, Dimitris (2009) „Product Lifecycle Management and Embedded Information Devices“, in: „Springer Handbook of Automation“, ed. by Nof, Shimon Y., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 749-765.
- Kiritsis, Dimitris (2011) „Closed-loop PLM for Intelligent Products in the Era of the Internet of Things“, in: Computer-Aided Design, Vol. 43, No. 5, 2011, pp. 479-501.
- Kiritsis, Dimitris; Bufardi, Ahmed; Xirouchakis, Paul (2003) „Research Issues on Product Lifecycle Management and Information Tracking Using Smart Embedded Systems“, in: Advanced Engineering Informatics, Vol. 17, 2003, pp. 189-202.
- Kiritsis, Dimitris; El Kadiri, Soumaya; Perdikakis, Apostolos; Milicic, Ana; Alexandrou, Dimitris; Pardalis, Kostas (2013) „Design of Fundamental Ontology for Manufacturing Product Lifecycle Applications“, in: „Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services“, ed. by Emmanouilidis, Christos, IFIP WG 5.7 Int. Conference, APMS 2012, Rhodes, Greece, September 24-26, 2012, Revised Selected Papers, Part I, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 376-382.
- Kiritsis, Dimitris; Rolstadås, Asbjørn (2007) „Ubiquitous PLM Using Product Embedded Information Devices“, in: „Advanced Manufacturing“, ed. by Taisch, Marco et al., Boca Raton/FL: Taylor & Francis, 2007, pp. 65-78.
- Kiryakov, Atanas K.; Dimitrov, Marin; Simov, Kiril Iv. (2001) „OntoMap - the Guide to the Upper-Level“, 2001.
- Kiryakov, Atanas K.; Simov, Kiril Iv. (2000) „Mapping of EuroWordnet Top Ontology into Upper Cyc Ontology“, 2000.
- Kiryakov, Atanas K.; Simov, Kiril Iv.; Dimitrov, Marin (2001) „OntoMap: Portal for Upper-Level Ontologies“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01), New York: ACM Pr., 2001, pp. 47-58.
- Kiselev, Igor; Alhajj, Reda (2008) „An Adaptive Multi-agent System for Continuous Learning of Streaming Data“, IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT '08), Vol. 2, Sydney, 9-12 Dec., 2008, pp. 148-153.
- Kishore, Rajiv; Sharman, Raj; Ramesh, Ram (2004) „Computational Ontologies and Information Systems: I. Foundations“, in: Communications of the Association for Information Systems, Vol. 14, 2004, pp. 158-183.
- Kiss, George R. (1968) „Words, Associations, and Networks“, in: Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, Vol. 7, No. 4, 1968, pp. 707-713.
- Kiss, George R. (1969a) „A Computer Model for Certain Classes of Verbal Behaviour“, IJCAI'69 Proceedings of the 1st international joint conference on Artificial intelligence, San Francisco/CA: Morgan Kaufmann, 1969, pp. 703-714.
- Kiss, George R. (1969b) „Steps Towards a Model of Word Selection“, in: „Machine Intelligence 4“, ed. by Meltzer, Bernard; Michie, Donald; Swann, Michael, New York: American Elsevier, 1969, pp. 315-336.

Bibliographie

- Kiss, George R. (1991) „Autonomous Agents, AI and Chaos Theory“, in: „From Animals to Animats: Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour, Paris, 1990“, ed. by Meyer, Jean-Arcady; Wilson, Stewart W., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1991, pp. 518-524.
- Kistasamy, Christopher; Van der Merwe, Alta; De La Harpe, Andre (2010) „The Relationship between Service Oriented Architecture and Enterprise Architecture“, Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops (EDOCW), 2010 14th IEEE International, 2010, pp. 129-137.
- Kistler, Max (2002) „The Causal Criterion of Reality and the Necessity of Laws of Nature“, in: *Metaphysica*, Vol. 3, No. 1, 2002, pp. 57-86.
- Kistler, Max (2006) „Reduction and Emergence in the Physical Sciences: Reply to Rueger“, in: *Synthese*, Vol. 151, 2006, pp. 347-354.
- Kitamura, Yoshinobu (2006) „Roles of Ontologies of Engineering Artifacts for Design Knowledge Modeling“, Proc. of the 5th International Seminar and Workshop Engineering Design in Integrated Product Development (EDIPrOD 2006), 21-23 September 2006, Gronów, Poland, 2006, pp. 59-69.
- Kitamura, Yoshinobu; Mizoguchi, Riichiro (1998) „Functional Ontology for Functional Understanding“, Twelfth International Workshop on Qualitative Reasoning (QR-98), Cape Cod, USA, May 26-29, AAAI Pr., 1998, pp. 77-87.
- Kitamura, Yoshinobu; Mizoguchi, Riichiro (2010) „Characterizing Functions Based on Ontological Models from an Engineering Point of View“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 301-314.
- Kitchenham, Barbara A. et al. (1999) „Towards an Ontology of Software Maintenance“, 1999, pp. 365-389.
- Kiverstein, Julian (2012) „What Is Heideggerian Cognitive Science?“, in: „Heidegger and Cognitive Science“, ed. by Kiverstein, Julian; Wheeler, Michael, Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2012, pp. 1-61.
- Kiwelekar, Arvind W.; Joshi, Rushikesh K. (2010) „An Object-Oriented Metamodel for Bunge-Wand-Weber Ontology“, 2010.
- Klabunde, Steffen (2003) „Wissensmanagement in der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung“, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 2003.
- Klaes, Matthias (2004) „Ontological Issues in Evolutionary Economics: Introduction“, in: *Journal of Economic Methodology*, Vol. 11, No. 2, 2004, pp. 121-124.
- Klaus, Georg; Liebscher, Heinz (Hrsg.) (1976) „Wörterbuch der Kybernetik“, 4., völlig überarb. Aufl., Berlin: Dietz, 1976.
- Klausner, Samuel Z. (1983) „Whitehead and Social Sciences: The Use of Social Science Knowledge“, Paper presented at the Annual Meeting of the American Sociological Association (Detroit/MI, August 31-September 4, 1983), 1983.
- Klee, Robert L. (1984) „Micro-Determinism and Concepts of Emergence“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 51, No. 1, 1984, pp. 44-63.
- Kleene, Stephen C. (1956) „Representation of Events in Nerve Nets and Finite Automata“, in: „Automata Studies“, ed. by Shannon, Claude E.; McCarthy, John, Princeton Univ. Pr., 1956, pp. 3-41.
- Klein, Bertin; Roth-Berghofer, Thomas R. (2003) „Philosophy for IT for Knowledge Management“, in: „Knowledge Management and Philosophy“, ed. by Freyberg, Klaus et al., Proceedings of the WM 2003 Workshop on Knowledge Management and Philosophy, Luzern, April 3rd and 4th, 2003.
- Klein, Hermann (1872) „Die Principien der Mechanik“, Leipzig: Teubner, 1872.
- Klein, Rüdiger; Rilling, Stefan; Usov, Andriy; Xie, Jingquan (2013) „Using Complex Event Processing for Modelling and Simulation of Cyber-physical Systems“, in: *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 9, No. 1-2, 2013, pp. 148-172.
- Klein, Rüdiger; Xie, Jingquan; Usov, Andriy (2011) „Complex Events and Actions to Control Cyber-Physical Systems“, ed. by Eysers, David et al., Proceedings of the 5th ACM International Conference on Distributed Event-Based System (DEBS '11), New York/NY: ACM, 2011, pp. 29-38.
- Klemke, E.D. (1959) „Professor Bergmann and Frege's 'Hidden Nominalism'“, in: *Philosophical Review*, Vol. 68, No. 4, 1959, pp. 507-514.
- Klempner, Geoffrey V. (1994) „Naive Metaphysics. A Theory of Subjective and Objective Worlds“, Aldershot et al.: Avebury, 1994.
- Kless, Daniel; Lindenthal, Jutta; Milton, Simon; Kazmierczak, Edmund (2011) „Interoperability of Knowledge Organization Systems with and through Ontologies“, in: „Classification & Ontology. Formal Approaches and Access to Knowledge“, ed. by Slavic, Aida; Civallero, Edgardo, Proceedings of the International UDC Seminar 19-20 September 2011, The Hague, The Netherlands, Würzburg: Ergon, 2011, pp. 55-74.

Bibliographie

- Kline, George L. (1990) „Begriff und Konkreszenz: über einige Gemeinsamkeiten in den Ontologien Hegels und Whiteheads“, in: „Whitehead und der deutsche Idealismus - Whitehead and German Idealism“, ed. by Lucas, George R., Jr.; Braeckman, Antoon, Bern et al.: Peter Lang, 1990, S. 145-161.
- Kline, Ronald R. (2011) „Cybernetics, Automata Studies, and the Dartmouth Conference on Artificial Intelligence“, in: IEEE Annals of the History of Computing, Vol. 33, No. 4, 2011, pp. 5-16.
- Klir, George J. (1969) „An Approach to General Systems Theory“, New York et al.: Van Nostrand Reinhold, 1969.
- Klir, George J. (1985) „Architecture of Systems Problem Solving“, New York: Plenum Pr., 1985.
- Klir, George J. (1991) „Facets of Systems Science“, New York, London: Plenum Pr., 1991.
- Klose, Joachim (2009) „Process Ontology from Whitehead to Quantum Physics“, in: „Recasting Reality“, ed. by Atmanspacher, Harald; Primas, Hans, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 151-170.
- Knaian, Ara N.; Cheung, Kenneth C.; Lobovsky, Maxim B.; Oines, Asa J.; Schmidt-Neilsen, Peter; Gershenfeld, Neil A. (2012) „The Milli-Motein: A Self-Folding Chain of Programmable Matter with a One Centimeter Module Pitch“, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Vilamoura/Portugal, 7-12 Oct., 2012, pp. 1447-1453.
- Kneale, William C. (1940) „The Notion of a Substance“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, Vol. 40, 1940, pp. 103-134.
- Kneale, William C. (1948) „Boole and the Revival of Logic“, in: Mind, N.S., Vol. 57, No. 226, 1948, pp. 149-175.
- Kneale, William C.; Kneale, Martha (1962) „The Development of Logic“, Oxford: Clarendon Pr., 1962.
- Kneebone, Geoffrey T. (1963) „Mathematical Logic and the Foundations of Mathematics“, London et al.: Van Nostrand, 1963.
- Knight, Kevin; Luk, Steve K. (1994) „Building a Large-Scale Knowledge Base for Machine Translation“, Proceedings of American Association of Artificial Intelligence Conference (AAAI-94), Seattle/WA, 1994, pp. 773-778.
- Koehler, Jana (2011) „The Process-Rule Continuum - How can the BPMN and SBVR Standards interplay?“, 2011.
- Koestler, Arthur (1967) „The Ghost in the Machine“, London: Hutchinson, 1967.
- Koestler, Arthur (1969a) „Opening Remarks“, in: „Beyond Reductionism. New Perspectives in the Life Sciences“, ed. by Koestler, Arthur; Smythies, John R., The Alpbach Symposium 1968, London: Hutchinson, 1969, pp. 1-2.
- Koestler, Arthur (1969b) „Beyond Atomism and Holism - The Concept of the Holon“, in: „Beyond Reductionism. New Perspectives in the Life Sciences“, ed. by Koestler, Arthur; Smythies, John R., The Alpbach Symposium 1968, London: Hutchinson, 1969, pp. 192-216.
- Kohne, Jens (2014) „Ontology, its Origins and its Meaning in Information Science“, in: „Philosophy, Computing and Information Science“, ed. by Hagengruber, Ruth; Riss, Uwe V., London: Pickering & Chatto, 2014, pp. 85-89.
- Kokar, Mieczyslaw M.; Matheus, Christopher J.; Baclawski, Kenneth (2009) „Ontology-based Situation Awareness“, in: Information Fusion, Vol. 10, No. 1, 2009, pp. 83-98.
- Kokar, Mieczyslaw M.; Ng, Gee Wah (2009) „High-level Information Fusion and Situation Awareness“, in: Information Fusion, Vol. 10, No. 1, 2009, pp. 2-5.
- Kokla, Margarita; Kavouras, Marinos (2001) „Fusion of Top-level and Geographical Domain Ontologies Based on Context Formation and Complementarity“, in: International Journal of Geographical Information Science, Vol. 15, No. 7, 2001, pp. 679-687.
- Kolin, Konstantin (2011) „Philosophy of Information and Fundamental Problems of Modern Informatics“, in: tripleC, Vol. 9, No. 2, 2011, pp. 454-459.
- Kolodziej, Joanna; Correia, Luís; Molina, José Manuel (2016) „Intelligent Agents in Data-intensive Computing“, Cham et al.: Springer, 2016.
- Koltko-Rivera, Mark E. (2004) „The Psychology of Worldviews“, in: Review of General Psychology, Vol. 8, No. 1, 2004, pp. 3-58.
- Kopácsi, Sándor; Kovács, György; Anufriev, Alexander; Michelini, Rinaldo C. (2007) „Ambient Intelligence as Enabling Technology for Modern Business Paradigms“, in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 23, 2007, pp. 242-256.
- Kopetz, Hermann (2011) „Real-Time Systems. Design Principles for Distributed Embedded Applications“, 2nd ed., New York/NY: Springer, 2011.

Bibliographie

- Koppelberg, Dirk (2000) „Was ist Naturalismus in der gegenwärtigen Philosophie?“, in: „Naturalismus. Philosophische Beiträge“, hrsg. v. Keil, Geert; Schnädelbach, Herbert, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 2000, S. 68-91.
- Koppelberg, Dirk (2007) „Normative versus naturalistische Erkenntnistheorie - ein unüberbrückbarer Gegensatz?“, in: „Naturalismus: Positionen, Perspektiven, Probleme“, hrsg. v. Sukopp, Thomas; Vollmer, Gerhard, Tübingen: Mohr Siebeck, 2007, S. 49-64.
- Korb, Kevin B. (1998) „The Frame Problem: An AI Fairy Tale“, in: *Minds and Machines*, Vol. 8, No. 3, 1998, pp. 317-351.
- Körner, Stephan (1967) „Kant“, Göttingen: Vandenhoeck u. Ruprecht, 1967.
- Körner, Stephan (1970) „Categorical Frameworks“, Oxford: Basil Blackwell, 1970.
- Körner, Stephan (1984) „Metaphysics: Its Structure and Function“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1984.
- Kornysheva, Elena; Deneckère, Rébecca (2010) „Decision-Making Ontology for Information System Engineering“, in: „Conceptual Modeling - ER 2010“, ed. by Parsons, Jeffrey et al., 29th International Conference on Conceptual Modeling, Vancouver, BC, Canada, November 1-4, 2010, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 104-117.
- Korotkiy, Maksym (2005) „Towards an Ontology-enabled Service Oriented Architecture“, in: „IBM PhD Student Symposium at ICSOC 2005“, ed. by Hanemann, Andreas, Proceedings of the IBM PhD Student Symposium at the 3rd International Conference on Service Oriented Computing (ICSOC 2005), Amsterdam/The Netherlands, December 12, 2005.
- Kortuem, Gerd; Kawsar, Fahim; Fitton, Daniel; Sundramoorthy, Vasughi (2010) „Smart Objects as Building Blocks for the Internet of Things“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 14, No. 1, 2010, pp. 44-51.
- Koskela, Lauri; Kagioglou, Mike (2005) „On the Metaphysics of Production“, 13th Int. Group for Lean Construction Conference, 19-21 July 2005, Sydney, Australia, 2005, pp. 37-45.
- Kota, Venkata Krishna et al. (2017) „Secure Complex Event Processing Framework“, IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC), Hyderabad/India, 5-7 Jan. 2017, 2017, pp. 156-160.
- Kotsev, Alexander; Pantisano, Francesco; Schade, Sven; Jirka, Simon (2015) „Architecture of a Service-Enabled Sensing Platform for the Environment“, in: *Sensors*, Vol. 15, 2015, pp. 4470-4495.
- Koubarakis, Manolis; Kyzirakos, Kostis; Sioutis, Michael; Vassos, Stavros (2012) „A Data Model and Query Language for an Extension of RDF with Time and Space“, TELEIOS, FP7-257662, Deliverable D2.1, 2012.
- Koubarakis, Manolis; Mylopoulos, John; Stanley, M.; Borgida, Alex (1989) „Telos: Features and Formalization“, Computer Science Department Univ. of Toronto, Technical Reports on Knowledge Representation and Reasoning, 89-4: KRR-TR, Toronto, 1989.
- Koukias, Andreas; Nadoveza, Drazen; Kiritsis, Dimitris (2013) „Semantic Data Model for Operation and Maintenance of the Engineering Asset“, in: „Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services“, ed. by Emmanouilidis, Christos, IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2012, Rhodes, Greece, September 24-26, 2012, Revised Selected Papers, Part II, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 49-55.
- Kovács, György; Kopácsi, Sándor; Haidegger, Geza; Michelini, Rinaldo C. (2006) „Ambient Intelligence in Product Life-cycle Management“, in: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 19, No. 8, 2006, pp. 953-965.
- Kovács, György; Van Bommel, Patrick (1998) „Conceptual Modelling-based Design of Object-oriented Databases“, in: *Information and Software Technology*, Vol. 40, 1998, pp. 1-14.
- Kowalski, Robert; Sergot, Marek (1986) „A Logic-based Calculus of Events“, in: *New Generation Computing*, Vol. 4, No. 1, 1986, pp. 67-95.
- Krafzig, Dirk; Banke, Karl; Slama, Dirk (2004) „Enterprise SOA. Service-Oriented Architecture Best Practices“, Upper Saddle River/NJ: Prentice Hall, 2004.
- Kratzer, Angelika (1998) „Scope or Pseudoscope? Are there Wide-Scope Indefinites?“, in: „Events and Grammar“, ed. by Rothstein, Susan, Dordrecht: Springer, 1998, pp. 163-196.
- Kraus, Elizabeth M. (1998) „The Metaphysics of Experience. A Companion to Whitehead's Process and Reality“, 2nd ed., New York: Fordham Univ. Pr., 1998.
- Kreger, Heather; Estefan, Jeff (2009) „Navigating the SOA Open Standards Landscape Around Architecture“, White Paper, June, 2009.
- Kriegel, Uriah (2013) „The Epistemological Challenge of Revisionary Metaphysics“, in: *Philosophers' Imprint*, Vol. 13, No. 12, 2013, pp. 1-30.

Bibliographie

- Krima, Sylvere; Barbau, Raphael; Fiorentini, Xenia; Rachuri, Sudarsan; Foufou, Sebti; Sriram, Ram D. (2010) „OntoSTEP: OWL-DL Ontology for STEP“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 770-780.
- Krima, Sylvere; Barnard Feeney, Allison; Foufou, Sebti (2014) „Dynamic Customisation, Validation and Integration of Product Data Models Using Semantic Web Tools“, in: International Journal of Product Lifecycle Management, Vol. 7, No. 1, 2014, pp. 38-53.
- Kripke, Saul A. (1963) „Semantical Analysis of Modal Logic I Normal Modal Propositional Calculi“, in: Zeitschrift für mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik, Bd. 9, Nr. 5-6, 1963, S. 67-96.
- Kripke, Saul A. (1971) „Semantical Considerations on Modal Logic“, in: „Reference and Modality“, ed. by Linsky, Leonard, London et al.: Oxford Univ. Pr., 1971, pp. 63-72.
- Kripke, Saul A. (1972) „Naming and Necessity“, in: „Semantics of Natural Language“, ed. by Davidson, Donald; Harman, Gilbert, Dordrecht: D. Reidel, 1972, pp. 253-355.
- Kripke, Saul A. (2013) „Reference and Existence. The John Locke Lectures“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 2013.
- Krisnadh, Adila; Hu, Yingjie; Janowicz, Krzysztof; Hitzler, Pascal; Arko, Robert; Carbotte, Suzanne et al. (2015) „The GeoLink Modular Oceanography Ontology“, in: „The Semantic Web - ISWC 2015“, ed. by Arenas, Marcelo et al., 14th International Semantic Web Conference, Bethlehem, PA, USA, October 11-15, 2015, Proceedings, Part II, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 301-309.
- Kroes, Peter (2002) „Design Methodology and the Nature of Technical Artefacts“, in: Design Studies, Vol. 23, No. 3, 2002, pp. 287-302.
- Kroes, Peter (2006) „Coherence of Structural and Functional Descriptions of Technical Artefacts“, in: Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 137-151.
- Kroes, Peter; Meijers, Anthonie (2006) „The Dual Nature of Technical Artefacts“, in: Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 1-4.
- Krogstie, John (2006) „Discussion on the Article "On Ontological Foundations of Conceptual Modelling" by Boris Wyssusek“, in: Scandinavian Journal of Information Systems, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 107-116.
- Krohn, Wolfgang; Küppers, Günther (1989) „Self-organization: A New Approach to Evolutionary Epistemology“, in: „Issues in Evolutionary Epistemology“, ed. by Hahlweg, Kai; Hooker, Clifford A., Albany/NY: State Univ. of New York Pr., 1989, pp. 151-170.
- Krommenacker, Nicolas; Charpentier, Patrick; Berger, Thierry; Sallez, Yves (2016) „On the Usage of Wireless Sensor Networks to Facilitate Composition/Decomposition of Physical Internet Containers“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 81-90.
- Kröner, Franz (1929) „Die Anarchie der philosophischen Systeme“, Leipzig: Meiner, 1929.
- Krueger, Felix (1924) „Der Strukturbegriff in der Psychologie“, Jena: Fischer, 1924.
- Krumeich, Julian; Jacobi, Sven; Werth, Dirk; Loos, Peter (2014) „Towards Planning and Control of Business Processes Based on Event-Based Predictions“, in: „Business Information Systems“, ed. by Abramowicz, Witold; Kokkinaki, Angelika, Proceedings 17th International Conference, BIS 2014, Larnaca/Cyprus, May 22-23, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 38-49.
- Kryvinska, Natalia; Strauss, Christine (2013) „Conceptual Model of Business Services Availability vs. Interoperability on Collaborative IoT-enabled eBusiness Platforms“, in: „Internet of Things and Inter-cooperative Computational Technologies for Collective Intelligence“, ed. by Bessis, Nik et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 167-187.
- Kubík, Ales (2003) „Toward a Formalization of Emergence“, in: Artificial Life, Vol. 9, No. 1, 2003, pp. 41-65.
- Kubler, Sylvain; William Derigent; Kary Främling; André Thomas; Éric Rondeau (2015) „Enhanced Product Lifecycle Information Management Using ‘Communicating Materials’“, in: Computer-Aided Design, Vol. 59, 2015, pp. 192-200.
- Kuhn, Thomas S. (1962) „The Structure of Scientific Revolutions“, 2nd ed., enl., Chicago: Univ. of Chicago Pr., 1970.
- Kuhn, Thomas S. (1974) „Second Thoughts on Paradigms“, in: „The Structure of Scientific Theories“, ed. by Suppe, Frederick, Urbana et al.: Univ. of Illinois Pr., 1974, pp. 459-482.
- Kuhn, Thomas S. (1982) „Commensurability, Comparability, Communicability“, in: PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Vol. 1982, Volume Two: Symposia and Invited Papers, 1982, pp. 669-688.

Bibliographie

- Kühnle, Hermann; Bitsch, Günter (2015) „Foundations & Principles of Distributed Manufacturing. Elements of Manufacturing Networks, Cyber-Physical Production Systems and Smart Automation“, Cham et al.: Springer, 2015.
- Kujur, Pranay; Chhetri, Bijoy (2015) „Evolution of World Wide Web: Journey From Web 1.0 to Web 4.0“, in: *International Journal of Computer Science and Technology*, Vol. 6, No. 1-2, 2015, pp. 134-138.
- Kumar, Anand; Ciccicarese, Paolo; Smith, Barry; Piazza, Matteo (2004) „Context-Based Task Ontologies for Clinical Guidelines“, in: „*Ontologies in Medicine*“, ed. by Pisanelli, Domenico M., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 81-94.
- Kumar, Harshit; Park, Pil Seong (2010) „Know-Ont: A Knowledge Ontology for an Enterprise in an Industrial Domain“, in: *International Journal of Database Theory and Application*, Vol. 3, No. 1, 2010, pp. 23-32.
- Kumar, Santhosh; Sumathi, A. (2016) „Comparative Study of Upper Ontologies in Interoperability View“, in: *International Journal of Advanced Research Trends in Engineering and Technology*, Vol. 3, Special Issue 20, 2016, pp. 707-709.
- Kung, Chenho H.; Sølvyberg, Arne (1986) „Activity Modelling and Behaviour Modelling“, in: „*Information Systems Design Methodologies: Improving the Practice*“, ed. by Olle, T. William et al., Amsterdam: North-Holland, 1986, pp. 145-171.
- Kunii, Toshiyasu L.; Ma, Jianhua; Huang, Runhe (1997) „Towards Direct Mapping between Visual Information Worlds and Real Worlds“, in: „*Visual Information Systems*“, ed. by Leung, Clement, Berlin et al.: Springer, 1997, pp. 27-39.
- Künne, Wolfgang (2003) „Conceptions of Truth“, Oxford et al.: Clarendon Pr., 2003.
- Künne, Wolfgang (2007) „Abstrakte Gegenstände: Semantik und Ontologie“, 2., um einen Anh. erw. Aufl., Frankfurt/Main: Klostermann, 2007.
- Kunz, Steffen; Fickinger, Tobias; Prescher, Johannes; Spengler, Klaus (2010) „Managing Complex Event Processes with Business Process Modeling Notation“, in: „*Business Process Modeling Notation*“, ed. by Mendling, Jan et al., Second International Workshop, BPMN 2010, Potsdam, Germany, October 13-14, 2010, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 78-90.
- Küppers, Bernd-Olaf (1986) „Zur Selbstorganisation informationstragender Systeme“, in: „*Die Welt als offenes System. Eine Kontroverse um das Werk von Ilya Prigogine*“, hrsg. v. Altner, Günter, Frankfurt/Main: Fischer, 1986, S. 70-84.
- Küppers, Bernd-Olaf (1991) „Chaos und Komplexität - Über eine Revolution in der Wissenschaft“, in: „*Evolutionäre Wege in die Zukunft. Wie lassen sich komplexe Systeme managen?*“, hrsg. v. Balck, Henning; Kreibich, Rolf, Weinheim, Basel: Beltz, 1991, S. 92-98.
- Küppers, Bernd-Olaf (1992) „Understanding Complexity“, in: „*Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*“, ed. by Beckermann, Ansgar et al., Berlin, New York: De Gruyter, 1992, pp. 241-256.
- Küppers, Bernd-Olaf (2000) „Die Strukturwissenschaften als Bindeglied zwischen Natur- und Geisteswissenschaften“, in: „*Die Einheit der Wirklichkeit. Zum Wissenschaftsverständnis der Gegenwart*“, hrsg. v. Küppers, Bernd-Olaf, München: Fink, 2000, S. 89-105.
- Küppers, Bernd-Olaf (2003) „Information und Kommunikation als Organisationsprinzipien des Lebendigen“, in: „*Kommunikation und Netzwerke. Europäisches Forum Alpbach 2002*“, hrsg. v. Busek, Erhard, Wien: Verl. Österreich, 2003, S. 12-25.
- Küppers, Bernd-Olaf (2008) „Nur Wissen kann Wissen beherrschen“, Köln: Fackelträger Verl., 2008.
- Kürschner, Chris; Condea, Cosmin; Kasten, Oliver; Thiesse, Frédéric (2008) „Discovery Service Design in the EPCglobal Network“, in: „*The Internet of Things*“, ed. by Floerkemeier, Christian et al., First International Conference, IOT 2008, Zurich/Switzerland, March 26-28, 2008, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 19-34.
- Kurt Salmon (2012) „PLM 2.0: Achieving PLM's Promised Value“, 2012.
- Kuscu, Murat; Akan, Ozgur B. (2016) „The Internet of Molecular Things Based on FRET“, in: *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 3, No. 1, 2016, pp. 4-17.
- Kusnierczyk, Waclaw (2006) „Nontological Engineering“, in: „*Formal Ontology in Information Systems*“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 39-50.
- Küster, Tobias; Lützenberger, Marco; Albayrak, Sahin (2015) „A Formal Description of a Mapping from Business Processes to Agents“, in: „*Engineering Multi-Agent Systems*“, ed. by Baldoni, Matteo et al., Third International Workshop, EMAS 2015, Istanbul, Turkey, May 5, 2015, Revised, Selected, and Invited Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 153-170.

Bibliographie

- Kutschera, Franz von (1975) „Sprachphilosophie“, 2., völlig neu bearb. u. erw. Aufl., München: Fink, 1975.
- Kutschera, Franz von (1989) „Gottlob Frege: Eine Einführung in sein Werk“, Berlin, Boston: De Gruyter, 1989.
- Kutschera, Franz von (1993) „Die falsche Objektivität“, Berlin, New York: De Gruyter, 1993.
- Kutz, Oliver; Hois, Joana (2012) „Modularity in Ontologies“, in: *Applied Ontology*, Vol. 7, No. 2, 2012, pp. 109-112.
- Kwak, Jung-Ae; Yong, Hwan-Seung (2008) „An Approach to Ontology-Based Semantic Integration for PLM Object“, IEEE International Workshop on Semantic Computing and Applications, 2008 (IWSCA '08), Incheon, 10-11 July, 2008, pp. 19-26.
- Kwon, Ki-Young; Wong, Kin L.; Pawin, Greg; Bartels, Ludwig; Stolbov, Sergey; Rahman, Talat S. (2005) „Unidirectional Adsorbate Motion on a High-Symmetry Surface: 'Walking' Molecules Can Stay the Course“, in: *Physical Review Letters*, Vol. 95, No. 16, 2005, pp. 166101.1-166101.4.
- Kwon, Soon Jae (2011) „Conceptual Modeling of Causal Map: Object Oriented Causal Map“, in: *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, No. 1, 2011, pp. 360-370.
- Kyburg, Henry (1998) „Epistemology and Computing“, in: „The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy“, ed. by Bynum, Terrell W.; Moor, James H., Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 37-47.
- Kyriazis, Dimosthenis; Varvarigou, Theodora (2013) „Smart, Autonomous and Reliable Internet of Things“, in: *Procedia Computer Science*, Vol. 21, 2013, pp. 442-448.
- La Mettrie, Julien Offray de (1748) „L'Homme Machine“, Leyde: E. Luzac, Fils, 1748.
- LaBossiere, Michael C. (1994) „Substances and Substrata“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 72, No. 3, 1994, pp. 360-370.
- Lacour, Philippe (2012) „Web Metaphysics Between Logic and Ontology“, in: „PhiloWeb 2012. Web and Philosophy: Why and What For?“, ed. by Monnin, Alexandre; Halpin, Harry; Carr, Leslie, Proceedings of the WWW2012 Conference Workshop PhiloWeb 2012: "Web and Philosophy, Why and What For?", Paper 5, Lyon/France, Apr 17, 2012.
- Ladyman, James (1998) „What is Structural Realism?“, in: *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Vol. 29, No. 3, 1998, pp. 409-424.
- Ladyman, James (2001) „Science, Metaphysics and Structural Realism“, in: „The Metaphysics of Science“, ed. by Christiaens, Wim, *Philosophica*, Vol. 67, No. 1, 2001, pp. 57-76.
- Ladyman, James (2002) „Understanding Philosophy of Science“, London: Routledge, 2002.
- Ladyman, James (2007) „Ontological, Epistemological, and Methodological Positions“, in: „General Philosophy of Science“, ed. by Kuipers, Theo A.F., Amsterdam et al.: Elsevier, 2007, pp. 303-376.
- Ladyman, James; Ross, Don (2007) „Every Thing Must Go. Metaphysics Naturalized“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2007.
- Lagoze, Carl; Hunter, Jane (2001) „The ABC Ontology and Model“, DCMi Int. Conference on Dublin Core and Metadata Applications, DC-2001, Tokyo, Japan, 24-26 October 2001, Proceedings, 2001, pp. 160-176.
- Laird, John E. (2008) „Extending the Soar Cognitive Architecture“, in: *Artificial General Intelligence Conference, Proceedings of the 2008 Conference on Artificial General Intelligence*, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 224-235.
- Laird, John E.; Hucka, Mike; Huffman, Scott; Rosenbloom, Paul S. (1991) „An Analysis of Soar as an Integrated Architecture“, in: *ACM SIGART Bulletin*, Vol. 2, No. 4, 1991, pp. 98-103.
- Laird, John E.; Newell, Allen; Rosenbloom, Paul S. (1987) „SOAR: An Architecture for General Intelligence“, Carnegie-Mellon Univ. Pittsburgh/PA, Artificial Intelligence and Psychology Project, Technical Report AIP-9, 1987.
- Laird, John E.; Rosenbloom, Paul S.; Newell, Allen (1986) „Chunking in Soar: The Anatomy of a General Learning Mechanism“, in: *Machine Learning*, Vol. 1, No. 1, 1986, pp. 11-46.
- Lakatos, Imre (1978) „The Methodology of Scientific Research Programmes“, ed. by Worrall, John; Currie, Gregory, (Philosophical Papers, Vol. 1), Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1978.
- Lakoff, George (1986) „Women, Fire, and Dangerous Things. What Categories Reveal About the Mind“, Chicago et al.: Univ. of Chicago Pr., 1986.
- Laliwala, Zakir; Chaudhary, Sanjay (2008) „Event-driven Service-Oriented Architecture“, International Conference on Service Systems and Service Management, Melbourne/VIC, June 30-July 2, 2008, pp. 1-6.
- Lamarck, Jean-Baptiste de (1809) „Philosophie Zoologique“, nouvelle Édition, Paris: Savy, 1873.

Bibliographie

- Lambert, Dale A. (1996) „Engineering Machines With Commonsense: Representation Revisited: An Essay on the Foundations of Artificial Intelligence“, PhD thesis, Flinders Univ. of South Australia, unpublished, 1996.
- Lambert, Dale A. (1999) „Ubiquitous Command and Control“, Proceedings IEEE Information, Decision and Control Conference, Feb., Adelaide Australia, 1999, pp. 35-40.
- Lambert, Dale A. (2001) „Situations for Situation Awareness“, Proceedings of Fusion'2001, 4th Int. Conference on Information Fusion, 2001, pp. 545-552.
- Lambert, Dale A. (2003) „Grand Challenges of Information Fusion“, Proceedings of the Sixth Int. Conference of Information Fusion (Vol. 1), 2003, Cairns, Queensland, Australia, 8-11 July, 2003, pp. 213-220.
- Lambert, Dale A. (2006) „A Unification of Sensor and Higher-Level Fusion“, 9th Int. Conference on Information Fusion, 2006, Florence, 10-13 July, 2006, pp. 1-8.
- Lambert, Dale A. (2007) „STDF Model Based Maritime Situation Assessments“, 10th Int. Conference on Information Fusion, 2007, Quebec, Que., 9-12 July, 2007, pp. 1-8.
- Lambert, Dale A. (2009) „A Blueprint for Higher-level Fusion Systems“, in: Information Fusion, Vol. 10, No. 1, 2009, pp. 6-24.
- Lambert, Dale A.; Nowak, Chris (2008) „The Mephisto Conceptual Framework“, Defence Science and Technology Organisation (Australia). Command, Control, Communications and Intelligence Division, Edinburgh/S. Aust.: DSTO, 2008.
- Lambert, Dale A.; Saulwick, Adam; Nowak, Chris; Oxenhan, Martin; O'Dea, Damien (2009) „An Overview of Conceptual Frameworks“, Command, Control, Communications and Intelligence Division, DSTO Defence Science and Technology Organisation, Edinburgh South Australia, 2009.
- Lambert, Dale A.; Scholz, Jason (2007) „Ubiquitous Command and Control“, in: Intelligent Decision Technologies, Vol. 1, No. 3, 2007, pp. 157-173.
- Lamp, John; Milton, Simon K. (2005) „The Reality of Information Systems Research“, in: „Information Systems Foundations: Constructing and Criticising“, ed. by Hart, Dennis N.; Gregor, Shirley D., Canberra: ANU E Pr., 2005, pp. 25-33.
- Lamparter, Steffen; Legat, Christoph; Lepratti, Raffaello; Scharnagl, Joachim; Jordan, Lars (2011) „Event-based Reactive Production Order Scheduling for Manufacturing Execution Systems“, 18th IFAC World Congress, 2011, pp. 2722-2730.
- Lampathaki, Fenareti; Alvertis, Iosif; Koussouris, Sotiris et al. (2014) „Future Enterprise, a Roadmap for the Sensing Enterprise“, in: „IWEI 2015 Workshops - New Requirements and Innovative Solutions to Enterprise Interoperability“, ed. by Zelm, Martin, Proceedings of the Workshops of the IWEI 2015 Conference, co-located with the 6th International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability IWEI 2015, Nîmes, France, 2014.
- Lampe, James C. (2002) „Discussion of an Ontological Analysis of the Economic Primitives of the Extended-REA Enterprise Information Architecture“, in: International Journal of Accounting Information Systems, Vol. 3, No. 1, 2002, pp. 17-34.
- Lan, Lina; Li, Fei; Wang, Bai; Zhang, Lei; Shi, Ruisheng (2014) „An Event-Driven Service-Oriented Architecture for the Internet of Things“, Asia-Pacific Services Computing Conference (APSCC), Fuzhou, 4-6 Dec., 2014, pp. 68-73.
- Lander, Susan E.; Lesser, Victor R. (1993) „Understanding the Role of Negotiation in Distributed Search Among Heterogeneous Agents“, Proceedings of the Thirteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-93), Vol. 1, 1993, pp. 438-444.
- Lane, David; Brown, Keith; Petillot, Yvan; Miguelanez, Emilio; Patron, Pedro (2013) „An Ontology-Based Approach to Fault Tolerant Mission Execution for Autonomous Platforms“, in: „Marine Robot Autonomy“, ed. by Seto, Mae L., New York/NY: Springer, 2013, pp. 225-255.
- Lang, Ewald (1991) „The LILOG Ontology from a Linguistic Point of View“, Text Understanding in LILOG, Integrating Computational Linguistics and Artificial Intelligence, Final Report on the IBM Germany LILOG-Project, London: Springer, 1991, pp. 464-481.
- Lang, Walter; Jedermann, Reiner; Mrugala, Damian; Jabbari, Amir; Krieg-Brückner, Bernd; Schill, Kerstin (2011) „The 'Intelligent Container'-A Cognitive Sensor Network for Transport Management“, in: IEEE Sensors Journal, Vol. 11, No. 3, 2011, pp. 688-698.
- Lange, Joachim (1734) „Hundert und dreyßig Fragen aus der neuen Mechanischen Philosophie“, (Nachdr. der Ausg. Halle/Saale 1734), Hildesheim et al.: Olms, 1999.
- Lange, Marc (1996) „Life, 'Artificial Life,' and Scientific Explanation“, in: Philosophy of Science, Vol. 63, No. 2, 1996, pp. 225-244.

Bibliographie

- Langermeier, Melanie; Rosina, Peter; Oberkampff, Heiner; Driessen, Thomas; Bauer, Bernhard (2014) „Management of Variability in Modular Ontology Development“, in: „Service-Oriented Computing - ICSOC 2013 Workshops“, ed. by Lomuscio, Alessio R. et al., CCSA, CSB, PASCEB, SWESE, WESOA, and PhD Symposium, Berlin, Germany, December 2-5, 2013, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 225-239.
- Langley, Pat (2006) „Cognitive Architectures and General Intelligent Systems“, in: AI Magazine, Vol. 27, No. 2, 2006, pp. 33-44.
- Langley, Pat; McKusick, Kathleen B.; Allen, John A.; Iba, Wayne F.; Thompson, Kevin (1991) „A Design for the ICARUS Architecture“, in: ACM SIGART Bulletin, Vol. 2, No. 4, 1991, pp. 104-109.
- Langley, Pat; Simon, Herbert A.; Bradshaw, Gary L.; Zytkow, Jan M. (1987) „Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Processes“, Cambridge/Mass. et al.: MIT Pr., 1987.
- Langley, Pat; Zytkow, Jan M.; Simon, Herbert A.; Bradshaw, Gary L. (1986) „The Search for Regularity: Four Aspects of Scientific Discovery“, in: „Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach: Volume II“, ed. by Michalski, Ryszard S. et al., Los Altos/CA: Morgan Kaufmann, 1986, pp. 425-469.
- Lango, John W. (2003) „Relational Particulars and Whitehead's Metaphysics“, in: „Process and Analysis. Whitehead, Hartshorne, and the Analytic Tradition“, ed. by Shields, George W., Albany: State Univ. of New York Pr., 2003, pp. 119-137.
- Langton, Christopher G. (1984) „Self-Reproduction in Cellular Automata“, in: „Cellular Automata: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, Los Alamos March 7-11, 1983 (Physica D, Vol. 10, Nos. 1/2)“, ed. by Farmer, J. Doyne; Toffoli, Tommaso; Wolfram, Stephen, Amsterdam et al.: North-Holland, 1984, pp. 135-144.
- Langton, Christopher G. (1986) „Studying Artificial Life with Cellular Automata“, in: Physica D, Vol. 22, Nos. 1/3, 1986, pp. 120-149.
- Langton, Christopher G. (1989) „Artificial Life“, in: „Artificial Life“, ed. by Langton, Christopher G., Proceedings of an Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems, Los Alamos, 1987 (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Vol. 6), Redwood City/CA et al.: Addison-Wesley, 1989, pp. 1-47.
- Langton, Christopher G. (1990) „Computation at the Edge of Chaos: Phase Transitions and Emergent Computation“, in: Physica D, Vol. 42, 1990, pp. 12-37.
- Langton, Christopher G. (1992a) „Preface“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. xiii-xviii.
- Langton, Christopher G. (1992b) „Introduction“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. 3-23.
- Langton, Christopher G. (1992c) „Life at the Edge of Chaos“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. 41-91.
- Langton, Christopher G. (1996) „Artificial Life“, in: „The Philosophy of Artificial Life“, ed. by Boden, Margaret A., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 39-94.
- Lankhorst, Marc M. (2004) „Enterprise Architecture Modelling - the Issue of Integration“, in: Advanced Engineering Informatics, Vol. 18, 2004, pp. 205-216.
- Lankhorst, Marc M. (ed.) (2012) „Agile Service Development. Combining Adaptive Methods and Flexible Solutions“, Berlin et al.: Springer, 2012.
- Lansing, J. Stephen (2002) „'Artificial Societies' and the Social Sciences“, in: Artificial Life, Vol. 8, No. 3, 2002, pp. 279-292.
- Lapalme, James; Gerber, Auroa; Van der Merwe, Alta; Zachman, John; De Vries, Marne; Hinkelmann, Knut (2016) „Exploring the Future of Enterprise Architecture: A Zachman Perspective“, in: Computers in Industry, Vol. 79, 2016, pp. 103-113.
- Lara, Rubén; Roman, Dumitru; Polleres, Axel; Fensel, Dieter (2004) „A Conceptual Comparison of WSMO and OWL-S“, in: „Web Services“, ed. by Zhang, Liang-Jie; Jeckle, Mario, European Conference, ECOWS 2004, Erfurt, Germany, September 27-30, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 254-269.
- Lasersohn, Peter (1990) „A Semantics for Groups and Events“, New York et al.: Garland, 1990.
- Laszlo, Ervin (1972a) „Introduction to Systems Philosophy. Toward a New Paradigm of Contemporary Thought“, New York et al.: Gordon and Breach, 1972.

Bibliographie

- Laszlo, Ervin (1972b) „Introduction: The Origins of General Systems Theory in the Work of Von Bertalanffy“, in: „The Relevance of General Systems Theory“, ed. by Laszlo, Ervin, New York: Braziller, 1972, pp. 1-11.
- Laszlo, Ervin (1976) „Metaphysics as Anticipation of Science“, in: „Science et Métaphysique“, ed. by Dockx, Stanislas I., Paris: Beauchesne, 1976, pp. 47-64.
- Laszlo, Ervin (1987) „Evolution: The Grand Synthesis“, Boston/Mass.: New Science Library-Shambhala, 1987.
- Laszlo, Ervin (1994) „From GUT to GETs: Prospects for a Unified Evolution Theory“, in: World Futures, Vol. 42, Nos. 3/4, 1994, pp. 233-239.
- Laszlo, Ervin (1998) „Systems and Societies: The Logic of Sociocultural Evolution“, in: „Systems. New Paradigms for the Human Sciences“, ed. by Altmann, Gabriel; Koch, Walter A., Berlin, New York: De Gruyter, 1998, pp. 104-125.
- Laszlo, Ervin (2008) „The Concept of Physical Reality: Metaphysical, Theological, and Human Implications“, in: „Researching with Whitehead: System and Adventure“, ed. by Riffert, Franz; Sander, Hans-Joachim, Freiburg, München: Alber, 2008, pp. 403-418.
- Laszlo, Ervin; Margenau, Henry (1972) „The Emergence of Integrative Concepts in Contemporary Science“, in: Philosophy of Science, Vol. 39, No. 2, 1972, pp. 252-259.
- Latour, Bruno (2005) „What Is Given in Experience?“, in: Boundary 2, Vol. 32, No. 1, 2005, pp. 223-237.
- Laughlin, Robert B. (2005) „A Different Universe. Reinventing Physics from the Bottom Down“, New York: Basic Books, 2005.
- Laurence, Stephen; MacDonald, Cynthia (1998) „Introduction: Metaphysics and Ontology“, in: „Contemporary Readings in the Foundations of Metaphysics“, ed. by Laurence, Stephen; MacDonald, Cynthia, Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 1-7.
- Laurier, Wim; Poels, Geert (2008) „Applying Guarino's Aufbau Principle for Ontologies to REA-based Applications“, 2008.
- Laurier, Wim; Poels, Geert (2009a) „A Simulation Model Articulation of the REA Ontology“, in: „OTM 2009 Workshops“, ed. by Meersman, Robert et al., Confederated International Workshops and Posters, ADI, CAMS, EI2N, ISDE, IWSSA, MONET, OnToContent, ODIS, ORM, OTM Academy etc., Proceedings, Vilamoura/Portugal, November 1-6, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 554-563.
- Laurier, Wim; Poels, Geert (2009b) „Extending REA Models with a Reference Model for Abstraction Mechanisms“, 4th International Workshop on Value Modeling and Business Ontologies, 2009.
- Lawson, Tony (2003) „Reorienting Economics“, London: Routledge, 2003.
- Lawson, Tony (2004) „Reorienting Economics: On Heterodox Economics, Themata and the Use of Mathematics in Economics“, in: Journal of Economic Methodology, Vol. 11, No. 3, 2004, pp. 329-340.
- Lazaro, Oscar; Gonzalez, Ainara; Sola, June (2014) „FITMAN Future Internet Enablers for the Sending Enterprise: a FIWARE Approach & Industrial Trialing“, in: „IWEI 2015 Workshops - New Requirements and Innovative Solutions to Enterprise Interoperability“, ed. by Zelm, Martin, Proceedings of the Workshops of the IWEI 2015 Conference, co-located with the 6th International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability IWEI 2015, Nîmes, France, 2014.
- Le Duigou, Julien; Bernard, Alain; Perry, Nicolas; Delplace, Jean-Charles (2009) „Specification of a Generic PLM System Dedicated to SMEs Based on a PPRO Meta-model“, 16th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 04-06 May 2009, Cairo, Egypt, 2009.
- Le Moigne, Jean-Louis (1985) „The Intelligence of Complexity“, in: „The Science and Praxis of Complexity“, ed. by Aida, Shuhei et al., Contributions to the Symposium Held at Montpellier, France, 9-11 May, 1984, Tokyo: The United Nations Univ., 1985, pp. 35-61.
- Le Poidevin, Robin (1991) „Change, Cause and Contradiction: A Defence of the Tenseless Theory of Time“, New York: St. Martin's Pr., 1991.
- Le Poidevin, Robin (2000) „Continuants and Continuity“, in: The Monist, Vol. 83, No. 3, 2000, pp. 381-398.
- Le-Phuoc, Danh; Hauswirth, Manfred (2009) „Linked Open Data in Sensor Data Mashups“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 2nd International Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN09), co-located with the 8th Int. Semantic Web Conference (ISWC-2009), Washington DC/USA, Oct. 26, 2009, pp. 1-16.
- Le-Phuoc, Danh; Hauswirth, Manfred (2018) „Linked Data for Internet of Everything“, in: „Integration, Interconnection, and Interoperability of IoT Systems“, ed. by Gravina, Raffaele et al., Cham et al.: Springer, 2018, pp. 129-148.
- Leblanc, Hugues (1961) „The Algebra of Logic and the Theory of Deduction“, in: Journal of Philosophy, Vol. 58, No. 19, Whitehead Centennial Issue, 1961, pp. 553-558.

Bibliographie

- Leclerc, Ivor (1953) „Whitehead's Transformation of the Concept of Substance“, in: *Philosophical Quarterly*, Vol. 3, No. 12, 1953, pp. 225-243.
- Leclerc, Ivor (1984) „Process and Order in Nature“, in: „Whitehead und der Prozessbegriff“, hrsg. v. Holz, Harald; Wolf-Gazo, Ernest, Beitr. zur Philosophie Alfred North Whiteheads auf d. 1. Int. Whitehead-Symposium 1981, Freiburg, München: Alber, 1984, S. 119-136.
- Leclerc, Ivor (1986) „Whitehead and the Dichotomy of Rationalism and Empiricism“, in: „Whiteheads Metaphysik der Kreativität“, hrsg. v. Rapp, Friedrich; Wiehl, Reiner, Int. Whitehead-Symposium Bad Homburg 1983, Freiburg, München: Alber, 1986, S. 13-31.
- Lee, Byeong-Eon; Suh, Suk-Hwan (2009) „An Architecture for Ubiquitous Product Life Cycle Support System and its Extension to Machine Tools with Product Data Model“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 42, No. 5-6, 2009, pp. 606-620.
- Lee, Edward A. (2007) „Computing Foundations and Practice for Cyber-Physical Systems: A Preliminary Report“, Technical Report UCB/EECS-2007-72, EECS Department, Univ. of California, Berkeley, 2007.
- Lee, Edward A. (2008) „Cyber Physical Systems: Design Challenges“, 11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), Orlando/FL, 5-7 May, 2008, pp. 363-369.
- Lee, Edward A. (2010) „CPS Foundations“, Proceedings of the 47th Design Automation Conference (DAC '10), 2010, pp. 737-742.
- Lee, In; Lee, Kyoochun (2015) „The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises“, in: *Business Horizons*, Vol. 58, No. 4, 2015, pp. 431-440.
- Lee, Jay (2001) „Smart Products and Service Systems for E-Business Transformation“, 3e Conférence Francophone de MODélisation et SIMulation 'Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels' (MOSIM'01), 25 au 27 avril, Troyes/France, 2001, pp. 33-38.
- Lee, Jay (2015) „Smart Factory Systems“, in: *Informatik Spektrum*, Vol. 38, No. 3, 2015, pp. 230-235.
- Lee, Jay; AbuAli, Mohamed (2011) „Innovative Product Advanced Service Systems (I-PASS): Methodology, Tools, and Applications for Dominant Service Design“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 52, No. 9, 2011, pp. 1161-1173.
- Lee, Jay; Bagheri, Behrad; Kao, Hung-An (2015) „A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-based Manufacturing Systems“, in: *Manufacturing Letters*, Vol. 3, 2015, pp. 18-23.
- Lee, Jay; Kao, Hung-An (2014) „Dominant Innovation Design for Smart Products-Service Systems (PSS): Strategies and Case Studies“, Annual SRII Global Conference, 23-25 April 2014, San Jose/CA, 2014, pp. 305-310.
- Lee, Jay; Kao, Hung-An; Yang, Shanhu (2014) „Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 16, 2014, pp. 3-8.
- Lee, Jay; Lapira, Edzel; Bagheri, Behrad; Kao, Hung-An (2013) „Recent Advances and Trends in Predictive Manufacturing Systems in Big Data Environment“, in: *Manufacturing Letters*, Vol. 1, No. 1, 2013, pp. 38-41.
- Lee, Jeongsoo; Chae, Heekwon; Kim, Cheol-Han; Kim, Kwangsoo (2009) „Design of Product Ontology Architecture for Collaborative Enterprises“, in: *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 2, 2009, pp. 2300-2309.
- Lee, Jia; Adachi, Susumu; Peper, Ferdinand (2007) „Reliable Self-Replicating Machines in Asynchronous Cellular Automata“, in: *Artificial Life*, Vol. 13, No. 4, 2007, pp. 397-413.
- Lee, Jia; Adachi, Susumu; Peper, Ferdinand; Mashiko, Shinro (2005) „Delay-Insensitive Computation in Asynchronous Cellular Automata“, in: *Journal of Computer and System Sciences*, Vol. 70, 2005, pp. 201-220.
- Lee, Jian-Yuan; An, Jia; Chua, Chee Kai (2017) „Fundamentals and Applications of 3D Printing for Novel Materials“, in: *Applied Materials Today*, Vol. 7, 2017, pp. 120-133.
- Lee, Ju Yeon; Choi, Sang Su; Kim, Gun Yeon; Noh, Sang Do (2011) „Ubiquitous Product Life Cycle Management (u-PLM): A Real-Time and Integrated Engineering Environment Using Ubiquitous Technology in Product Life Cycle Management (PLM)“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 24, No. 7, 2011, pp. 627-649.
- Lee, Ju Yeon; Kim, Gun Yeon; Noh, Sang Do (2011) „Integration Framework and PPR+H Hub for DiFac“, in: „Digital Factory for Human-oriented Production Systems“, ed. by Canetta, Luca; Redaelli, Claudia; Flores, Myrna, London: Springer, 2011, pp. 59-72.
- Lee, Stephen G.; Ma, Yongsheng S.; Thimm, Georg L.; Verstraeten, J.G. (2008) „Product Lifecycle Management in Aviation Maintenance, Repair and Overhaul“, in: *Computers in Industry*, Vol. 59, No. 2-3, 2008, pp. 296-303.

Bibliographie

- Leemans, Sander J.J.; Fahland, Dirk; Van der Aalst, Wil M.P. (2014) „Discovering Block-Structured Process Models from Event Logs Containing Infrequent Behaviour“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Lohmann, Niels et al., BPM 2013 International Workshops, Beijing, China, August 26, 2013, Revised Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 66-78.
- Legat, Christoph; Lamparter, Steffen; Vogel-Heuser, Birgit (2013) „Knowledge-Based Technologies for Future Factory Engineering and Control“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 355-374.
- Legat, Christoph; Schütz, Daniel; Vogel-Heuser, Birgit (2014) „Automatic Generation of Field Control Strategies for Supporting (Re-)Engineering of Manufacturing Systems“, in: Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 25, No. 5, 2014, pp. 1101-1111.
- Legat, Christoph; Seitz, Christian; Lamparter, Steffen; Feldmann, Stefan (2014) „Semantics to the Shop Floor: Towards Ontology Modularization and Reuse in the Automation Domain“, 19th IFAC World Congress, Cape Town, South Africa, 2014, pp. 3444-3449.
- Legat, Christoph; Seitz, Christian; Vogel-Heuser, Birgit (2011) „Unified Sensor Data Provisioning with Semantic Technologies“, 16th IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation, Toulouse, 5-9 Sept., 2011, pp. 1-8.
- Legg, Shane (2008) „Machine Super Intelligence“, PhD, Department of Informatics, Univ. of Lugano, 2008.
- Legg, Shane; Hutter, Marcus (2007) „Universal Intelligence: A Definition of Machine Intelligence“, in: Minds and Machines, Vol. 17, No. 4, 2007, pp. 391-444.
- Leggieri, Myriam; Passant, Alexandre; Hauswirth, Manfred (2010) „A Contextualised Cognitive Perspective for Linked Sensor Data“, in: „SSN10 - Semantic Sensor Networks 2010“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 3rd Int. Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN10), Workshop at the 9th Int. Semantic Web Conference (ISWC2010) - ISWC 2010 Workshops Vol. V, Shanghai, China, 2010.
- Lehmann, Fritz (1996) „Machine-Negotiated, Ontology-Based EDI (Electronic Data Interchange)“, in: „Electronic Commerce. Current Research Issues and Applications“, ed. by Adam, Nabil R.; Yesha, Yelena, Berlin et al.: Springer, 1996, pp. 27-45.
- Lehmann, Jos; Borgo, Stefano; Masolo, Claudio; Gangemi, Aldo (2004) „Causality and Causation in DOLCE“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 273-284.
- Lehn, Jean-Marie (2002) „Toward Complex Matter: Supramolecular Chemistry and Self-Organization“, in: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 99, No. 8, 2002, pp. 4763-4768.
- Lehn, Jean-Marie (2007) „From Supramolecular Chemistry Towards Constitutional Dynamic Chemistry and Adaptive Chemistry“, in: Chemical Society Reviews, Vol. 36, No. 2, 2007, pp. 151-160.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1683a) „De Artis Combinatoriae Usu in Scientia Generali“, in: Philosophische Schriften, Bd. 4: 1677-1690, Teil A, Berlin: Akademie-Verl., 1999, S. 510-512.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1683b) „Elementa Nova Matheseos Universalis“, in: Philosophische Schriften, Bd. 4: 1677-1690, Teil A, Berlin: Akademie-Verl., S. 513-524.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1683c) „Introductio ad Encyclopaediam Arcanam; Sive Initia et a et Specimina Scientiae Generalis, de Instauratione et Augmentis Scientiarum, Deque Perficienda Mente, et Rerum Inventionibus, ad Publicam Felicitatem“, in: „Die Philosophischen Schriften, Bd. 7“, hrsg. v. Gerhardt, Carl Immanuel, Berlin: Weidmann, 1890.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1686) „Guilielmi Pacidii Plus Ultra“, in: Philosophische Schriften, Bd. 4: 1677-1690, Teil A, Berlin: Akademie-Verl., pp. 673-686.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1710) „Die Theodizee“, 2. Aufl. (2 Bde.), Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1999.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1714a) „Monadologie“, (2., verb. Aufl. der Meiner Ausg.), Hamburg: Meiner, 1982.
- Leibniz, Gottfried Wilhelm (1714b) „Vernunftprinzipien der Natur und der Gnade“, (2., verb. Aufl. der Meiner Ausg.), Hamburg: Meiner, 1982.
- Leidinger, Lucas; Taylor, Kerry (2011) „Demonstration: Defining and Detecting Complex Events in Sensor Networks“, in: „SSN11 - Semantic Sensor Networks 2011“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 4th International Workshop on Semantic Sensor Networks, A workshop of the 10th International Semantic Web Conference ISWC 2011, Bonn, Germany, October 23, 2011, pp. 111-113.
- Leinfellner, Elisabeth; Leinfellner, Werner (1978) „Ontologie, Systemtheorie und Semantik“, Berlin: Dunccker und Humblot, 1978.

Bibliographie

- Leinfellner, Werner (1982) „Ontology of Evolution: Ontology of Becoming or Becoming of an Ontology?“, in: „Language and Ontology“, ed. by Leinfellner, Werner, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky, 1982, pp. 367-376.
- Leinfellner, Werner (1992) „Schrödinger, the Self and the Genes“, in: „Erwin Schrödinger's World View: The Dynamics of Knowledge and Reality“, ed. by Götschl, Johann, Dordrecht et al.: Springer, 1992, pp. 87-98.
- Leino, Simo-Pekka; Jokinen, Lauri; Anttila, Juha-Pekka; Pulkkinen, Antti (2016) „Case Study on Engineering Change Management and Digital Manufacturing“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 591-600.
- Leist, Steven K.; Zhou, Jack (2016) „Current Status of 4D Printing Technology and the Potential of Light-Reactive Smart Materials as 4D Printable Materials“, in: *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 11, No. 4, 2016, pp. 249-262.
- Leitão, Paulo (2004) „An Agile and Adaptive Holonic Architecture for Manufacturing Control“, Ph.D., Univ. of Porto, 2004.
- Leitão, Paulo (2009a) „Agent-based Distributed Manufacturing Control: A State-of-the-Art Survey“, in: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 22, No. 7, 2009, pp. 979-991.
- Leitão, Paulo (2009b) „Holonic Rationale and Self-organization on Design of Complex Evolvable Systems“, in: „Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing“, ed. by Marík, Vladimír et al., 4th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2009, Linz, Austria, August 31 - September 2, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 1-12.
- Leitão, Paulo (2013) „Towards Self-organized Service-Oriented Multi-agent Systems“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 41-56.
- Leitão, Paulo; Barbosa, José (2016) „Building a Robotic Cyber-Physical Production Component“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 295-305.
- Leitão, Paulo; Colombo, Armando W.; Restivo, Francisco J. (2005) „ADACOR: A Collaborative Production Automation and Control Architecture“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 20, No. 1, 2005, pp. 58-66.
- Leitão, Paulo; Colombo, Armando W.; Restivo, Francisco J.; Schoop, Ronald (2003) „Formal Specification of Holonic Control System ADACOR Product Holon, using High-Level Petri Nets“, *IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN 2003)*, Alberta, Canada, 21-24 August, 2003, pp. 263-272.
- Leitão, Paulo; Karnouskos, Stamatis (eds.) (2015) „Industrial Agents. Emerging Applications of Software Agents in Industry“, Amsterdam et al.: Elsevier, 2015.
- Leitão, Paulo; Restivo, Francisco J. (2005) „Experimental Validation of ADACOR Holonic Control System“, in: „Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing“, ed. by Marík, Vladimír et al., Second International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2005, Copenhagen, Denmark, August 22-24, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 121-132.
- Leitão, Paulo; Restivo, Francisco J. (2006) „ADACOR: A Holonic Architecture for Agile and Adaptive Manufacturing Control“, in: *Computers in Industry*, Vol. 57, No. 2, 2006, pp. 121-130.
- Leitão, Paulo; Restivo, Francisco J. (2008) „Implementation of a Holonic Control System in a Flexible Manufacturing System“, in: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, Vol. 38, No. 5, 2008, pp. 699-709.
- Leitão, Paulo; Vrba, Pavel (2011) „Recent Developments and Future Trends of Industrial Agents“, in: „Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing“, ed. by Marík, Vladimír et al., 5th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2011, Toulouse, France, August 29-31, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 15-28.
- Lemaignan, Séverin; Siadat, Ali; Dantan, Jean-Yves; Semenenko, Anatoli (2006) „MASON: A Proposal for an Ontology of Manufacturing Domain“, *Proceedings of IEEE Workshop on Distributed Intelligent Systems: Collective Intelligence and Its Applications*, Prague/Czech Republic, 15-16 June, 2006, pp. 195-200.
- Lemey, Elisah; Poels, Geert (2011) „Towards a Service System Ontology for Service Science“, in: „Service-Oriented Computing“, ed. by Kappel, Gerti et al., 9th International Conference, ICSOC 2011, Paphos, Cyprus, December 5-8, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 250-264.
- Lemey, Elisah; Poels, Geert (2012) „Towards a Process Model for Service Systems“, in: „Exploring Services Science“, ed. by Snene, Mehdi, Third International Conference, IESS 2012, Geneva, Switzerland, February 15-17, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 1-15.

Bibliographie

- Lemmon, Edward John (1967) „Comments on D. Davidson's 'The Logical Form of Action Sentences'”, in: „The Logic of Decision and Action“, ed. by Rescher, Nicholas, Pittsburgh/Pa.: Univ. of Pittsburgh Pr., 1967, pp. 96-103.
- Lemos, Ramon M. (1988) „Metaphysical Investigations“, Rutherford et al.: Fairleigh Dickinson Univ. Pr., 1988.
- Lenat, Douglas B. (1995) „CYC: A Large-Scale Investment in Knowledge Infrastructure“, in: Communications of the ACM, Vol. 38, No. 11, 1995, pp. 32-38.
- Lenat, Douglas B. (2005) „Applied Ontology Issues“, in: Applied Ontology, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 9-12.
- Lenat, Douglas B.; Feigenbaum, Edward A. (1991) „On the Thresholds of Knowledge“, in: Artificial Intelligence, Vol. 47, No. 1-3, 1991, pp. 185-250.
- Lenat, Douglas B.; Guha, Ramanathan V. (1990) „Building Large Knowledge-Based Systems: Representation and Inference in the Cyc Project“, Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1990.
- Lenat, Douglas B.; Guha, Ramanathan V.; Pittman, Karen; Pratt, Dexter; Shepherd, Mary (1990) „Cyc: Toward Programs with Common Sense“, in: Communications of the ACM, Vol. 33, No. 8, 1990, pp. 30-49.
- Lengstorf, Jason; Leggetter, Phil (2013) „Realtime Web Apps: With HTML5 WebSocket, PHP, and jQuery“, Berkeley/CA: Apress, 2013.
- LePore, Ernest (1985) „The Semantics of Action, Event, and Singular Causal Sentences“, in: „Actions and Events“, ed. by LePore, Ernest; McLaughlin, Brian P., Oxford et al.: B. Blackwell, 1985, pp. 151-161.
- Leppänen, Mauri (2007) „A Context-Based Enterprise Ontology“, in: „Business Information Systems“, ed. by Abramowicz, Witold, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 273-286.
- Letters, Fritz (2006) „Modeling Information-Systems with UML Unified Modeling Language“, in: „Handbook on Architectures of Information Systems“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 411-456.
- Leung, Ho-fung; Chiu, Dickson K.W.; Hung, Patrick C.K. (2011) „Service Intelligence and Service Science: Evolutionary Technologies and Challenges“, Hershey/PA: Information Science Reference, 2011.
- Levesque, Hector; Lakemeyer, Gerhard (2008) „Cognitive Robotics“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 869-886.
- Levina, Olga; Stantchev, Vladimir (2009) „Realizing Event-Driven SOA“, Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services (ICIW '09), Venice/Mestre, 24-28 May, 2009, pp. 37-42.
- Levinson, Gene (1995) „Artificial Life: Biotechnology of the 21st Century?“, in: Nature Biotechnology, Vol. 13, 1995, pp. 122-123.
- Levinson, Jerrold (1978) „Properties and Related Entities“, in: Philosophy and Phenomenological Research, Vol. 39, No. 1, 1978, pp. 1-22.
- Levy, Steven (1992) „Artificial Life. The Quest for a New Creation“, New York: Pantheon, 1992.
- Lewes, George H. (1875) „Problems of Life and Mind“, Vol. 2, London: Trübner, 1875.
- Lewis, Clarence I. (1912) „Implication and the Algebra of Logic“, in: Mind, Vol. 21, No. 84, 1912, pp. 522-531.
- Lewis, Clarence I. (1918) „A Survey of Symbolic Logic“, Berkeley: Univ. of California Pr., 1918.
- Lewis, Clarence I.; Langford, Cooper H. (1932) „Symbolic Logic“, 2nd ed., New York: Dover, 1959.
- Lewis, David K. (1970a) „Anselm and Actuality“, in: Noûs, Vol. 4, No. 2, 1970, pp. 175-188.
- Lewis, David K. (1970b) „How to Define Theoretical Terms“, in: Journal of Philosophy, Vol. 67, No. 13, 1970, pp. 427-446.
- Lewis, David K. (1971) „Counterparts of Persons and Their Bodies“, in: Journal of Philosophy, Vol. 68, No. 7, 1971, pp. 203-211.
- Lewis, David K. (1973) „Causation“, in: Journal of Philosophy, Vol. 70, No. 17, 1973, pp. 556-567.
- Lewis, David K. (1979a) „Counterpart Theory and Quantified Modal Logic“, in: „The Possible and the Actual. Readings in the Metaphysics of Modality“, ed. by Loux, Michael J., Ithaca et al.: Cornell Univ. Pr., 1979, pp. 110-128.
- Lewis, David K. (1979b) „Possible Worlds“, in: „The Possible and the Actual. Readings in the Metaphysics of Modality“, ed. by Loux, Michael J., Ithaca et al.: Cornell Univ. Pr., 1979, pp. 182-189.
- Lewis, David K. (1979c) „Counterfactual Dependence and Time's Arrow“, in: Noûs, Vol. 13, No. 4, Special Issue on Counterfactuals and Laws, 1979, pp. 455-476.
- Lewis, David K. (1983) „New Work for a Theory of Universals“, in: Australasian Journal of Philosophy, Vol. 61, No. 4, 1983, pp. 343-377.

Bibliographie

- Lewis, David K. (1986a) „Against Structural Universals“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 64, No. 1, 1986, pp. 25-46.
- Lewis, David K. (1986b) „On the Plurality of Worlds“, Oxford: Basil Blackwell, 1986.
- Lewis, David K. (1986c) „Events“, in: *Philosophical Papers*, Vol. 2, New York: Oxford Univ. Pr., 1986, pp. 241-269.
- Lewis, David K. (1988) „Rearrangement of Particles: Reply to Lowe“, in: *Analysis*, Vol. 48, No. 2, 1988, pp. 65-72.
- Lewis, David K. (1990) „Noneism or Allism?“, in: *Mind*, Vol. 99, No. 393, 1990, pp. 23-31.
- Lewis, David K. (2000) „Causation as Influence“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 97, No. 4, Special Issue: Causation, 2000, pp. 182-197.
- Lewis, David K. (2002) „Tensing the Copula“, in: *Mind*, Vol. 111, No. 441, 2002, pp. 1-13.
- Lewontin, Richard C. (2000) „Evolution“, in: „Unifying Themes in Complex Systems“, *Proceedings of the first International Conference on Complex Systems*, New Hampshire, 1997, ed. by Bar-Yam, Yaneer, Cambridge/Mass.: Perseus Books, 2000, pp. 15-25.
- Lewontin, Richard C. (2003) „Four Complications in Understanding the Evolutionary Process“, in: *Bulletin of the Santa Fe Institute*, Vol. 18, No. 1, (Supplement), 2003, pp. S1-S8.
- Ley, Steven V.; Fitzpatrick, Daniel E.; Ingham, Richard J.; Nikbin, Nikzad (2015) „The Internet of Chemical Things“, in: *Beilstein Magazine*, Vol. 1, No. 2, 2015.
- Lezoche, Mario (2008) „Coherence Problem between Business Rules and Business Processes“, Ph.D., Roma Tre University, Computer Science and Engineering, 2008.
- Li, Chunlei (2012) „Ontology-Driven Semantic Annotations for Multiple Engineering Viewpoints in Computer Aided Design“, 2012.
- Li, Fangfang; Xu, Jia; Yu, Ge (2013) „A Survey on Event Processing for CPS“, in: „Advances in Wireless Sensor Networks“, ed. by Wang, Ruchuan; Xiao, Fu, 6th China Conference, CWSN 2012, Huangshan, China, October 25-27, 2012, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 157-166.
- Li, Fangfang; Yu, Ge (2013) „Research and Challenges in Complex Event Processing for CPS“, in: *Information Technology Journal*, Vol. 12, No. 23, 2013, pp. 7744-7748.
- Li, Guowu (2011) „Information Philosophy in China: Professor Wu Kun's 30 Years of Academic Thinking in Information Philosophy“, in: *tripleC*, Vol. 9, No. 2, 2011, pp. 316-321.
- Li, Hai-yue; Liu, Xiao; Feng, Guo-qi; Wang, Cheng-en (2005) „A Web-based PLM System Research and Implementation in a Collaborative Product Development Environment“, *IEEE International Conference on E-Business Engineering (ICEBE 2005)*, Beijing, 12-18 Oct., 2005, pp. 549-552.
- Li, Jingran; Tao, Fei; Cheng, Ying; Zhao, Liangjin (2015) „Big Data in Product Lifecycle Management“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 81, No. 1, 2015, pp. 667-684.
- Li, Juan; Biennier, Frederique; Amghar, Youssef (2012) „Business as a Service Governance in a Cloud Organisation“, in: „Enterprise Interoperability V. Shaping Enterprise Interoperability in the Future Internet“, ed. by Poler, Raúl et al., London: Springer, 2012, pp. 355-365.
- Li, Qing; Chen, Yu-Liu (2009) „Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems: From Requirements to Realization“, Beijing: Higher Education Pr., 2009.
- Li, Shancang; Xu, Li Da; Zhao, Shanshan (2015) „The Internet of Things: A Survey“, in: *Information Systems Frontiers*, Vol. 17, No. 2, 2015, pp. 243-259.
- Li, Xin; Shang, Jianzhong; Wang, Zhuo (2017) „Intelligent Materials: A Review of Applications in 4D Printing“, in: *Assembly Automation*, Vol. 37, No. 2, 2017, pp. 170-185.
- Li, Yinsheng; Shen, Weiming; Ghenniwa, Hamada H. (2003) „Improving PDM Systems Integration Using Software Agents“, in: „Enterprise Inter- and Intra-Organizational Integration: Building International Consensus“, ed. by Kosanke, Kurt et al., Boston/MA: Kluwer, 2003, pp. 313-324.
- Li, Zhongkui; Duan, Zhisheng; Chen, Guanrong; Huang, Lin (2010) „Consensus of Multiagent Systems and Synchronization of Complex Networks: A Unified Viewpoint“, in: *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, Vol. 57, No. 1, 2010, pp. 213-224.
- Liao, Gen-Yih; Liang, Po-Jui; Huang, Li-Ting (2013) „Towards an Ontological Interpretation on the i* Modeling Language Extended with Security Concepts: A Bunge-Wand-Weber Model Perspective“, in: „Human Interface and the Management of Information. Information and Interaction Design“, ed. by Yamamoto, Sakae, 15th Int. Conference, HCI International 2013, Las Vegas, NV, USA, July 21-26, 2013, Proceedings, Part I, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 322-328.

Bibliographie

- Liao, Li; Leung, Hareton K.N. (2007) „An Ontology-based Business Process Modeling Methodology“, ed. by Andonie, Razvan, Proceedings of the third Conference on IASTED International Conference: Advances in Computer Science and Technology (ACST'07), Anaheim/CA: ACTA Pr., 2007, pp. 114-119.
- Liaw, S.T. et al. (2013) „Towards an Ontology for Data Quality in Integrated Chronic Disease Management: A Realist Review of the Literature“, in: International Journal of Medical Informatics, Vol. 82, 2013, pp. 10-24.
- Lichnerowicz, André (1972) „Mathematics and Transdisciplinarity“, in: „Interdisciplinarity. Problems of Teaching and Research in Universities“, ed. by Apostel, Léo et al., Report, based on the results of a Seminar on Interdisciplinarity in Universities which was organised by CERI (Centre for Educational Research and Innovation), Sept. 7th-12th, 1970, Paris: OECD, 1972, pp. 121-127.
- Liddle, Stephen W. (2011) „Model-Driven Software Development“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 17-54.
- Lifschitz, Vladimir; Morgenstern, Leora; Plaisted, David (2008) „Knowledge Representation and Classical Logic“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 3-88.
- Lightfoot, Howard; Baines, Tim; Smart, Palie (2013) „The Servitization of Manufacturing: A Systematic Literature Review of Interdependent Trends“, in: International Journal of Operations and Production Management, Vol. 33, No. 11/12, 2013, pp. 1408-1434.
- Lim, Edward H.Y.; Liu, James N.K.; Lee, Raymond S.T. (2011) „Knowledge Seeker - Ontology Modelling for Information Search and Management“, Berlin et al.: Springer, 2011.
- Lim, Hock Beng; Iqbal, Mudasser; Yao, Yuxia; Wang, Wenqiang (2010) „A Smart e-Science Cyberinfrastructure for Cross-Disciplinary Scientific Collaborations“, in: „Semantic e-Science“, ed. by Chen, Huajun et al., New York et al.: Springer, 2010, pp. 67-97.
- Limbeck, Philip; Schiefer, Josef (2008) „Solution Architecture for Visitor Segmentation and Recommendation Generation in Real Time“, in: „E-Commerce and Web Technologies“, ed. by Psaila, Giuseppe; Wagner, Roland, 9th International Conference, EC-Web 2008 Turin, Italy, September 3-4, 2008 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 102-113.
- Lin, Fangzhen (2008) „Situation Calculus“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 649-669.
- Lin, Hsiao-Kang; Harding, Jennifer A. (2007) „A Manufacturing System Engineering Ontology Model on the Semantic Web for Inter-enterprise Collaboration“, in: Computers in Industry, Vol. 58, No. 5, 2007, pp. 428-437.
- Lin, Hsiao-Kang; Harding, Jennifer A.; Shahbaz, Muhammad (2004) „Manufacturing System Engineering Ontology for Semantic Interoperability Across Extended Project Teams“, in: International Journal of Production Research, Vol. 42, No. 24, 2004, pp. 5099-5118.
- Lin, L.F.; Zhang, W.Y.; Lou, Y.C.; Chu, C.Y.; Cai, M. (2011) „Developing Manufacturing Ontologies for Knowledge Reuse in Distributed Manufacturing Environment“, in: International Journal of Production Research, Vol. 49, No. 2, 2011, pp. 343-359.
- Lin, Yun (2008) „Semantic Annotation for Process Models: Facilitating Process Knowledge Management via Semantic Interoperability“, Ph.D. thesis, Norwegian University of Science and Technology, 2008.
- Lindblom, Jessica (2015) „Embodied Social Cognition“, Cham et al.: Springer, 2015.
- Lindsay, R.B. (1937) „The Meaning of Simplicity in Physics“, in: Philosophy of Science, Vol. 4, No. 2, 1937, pp. 151-167.
- Lindsay, Robert K. (1963) „Inferential Memory as the Basis of Machines which Understand Natural Language“, in: „Computers and Thought“, ed. by Feigenbaum, Edward A.; Feldman, Julian, New York et al.: McGraw-Hill, 1963, pp. 217-233.
- Linehan, Mark H.; de Sainte Marie, Christian (2011) „The Relationship of Decision Model and Notation (DMN) to SBVR and BPMN“, in: Business Rules Journal, Vol. 12, No. 6, 2011.
- Linsky, Bernard (1999) „Russell's Metaphysical Logic“, Stanford/Calif.: CSLI Publ., 1999.
- Little, Eric (2003) „A Proposed Methodology for the Development of Application-Based Formal Ontologies“, in: „Reference Ontologies and Application Ontologies“, ed. by Grenon, Pierre; Menzel, Christopher; Smith, Barry, Proceedings of the KI2003 Workshop on Reference Ontologies and Application Ontologies, Hamburg, Germany, September 16, 2003.
- Little, Eric; Eberle, Joseph; Turino, Fred (2008) „Utilizing Ontologies for Petrochemical Applications“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Borgo, Stefano; Lesmo, Leonardo, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 22-32.

Bibliographie

- Little, Eric; Laskey, Kathryn B.; Janssen, Terry (2007) „Ontologies and Probabilities: Working Together for Effective Multi-INT Fusion“, *Ontology for the Intelligence Community (OIC-2007)*, November 28-29, 2007, Columbia/MD, 2007, pp. 33-36.
- Little, Eric; Rogova, Galina L. (2006) „An Ontological Analysis of Threat and Vulnerability“, *Proceedings of the FUSION 2006-9th International Conference on Multisource Information Fusion*, July 10-13, Florence, Italy, 2006, pp. 1-8.
- Little, Eric; Rogova, Galina L. (2009) „Designing Ontologies for Higher Level Fusion“, in: *Information Fusion*, Vol. 10, No. 1, 2009, pp. 70-82.
- Little, Eric; Sambhoos, Kedar; Llinas, James (2008) „Enhancing Graph Matching Techniques with Ontologies“, *Proceedings of the 11th Int. Conference on Information Fusion*, July 2008, Cologne, Germany, 2008, pp. 1890-1897.
- Little, Eric; Vizenor, Lowell (2006) „Principles for the Development of Upper Ontologies in Higher-level Information Fusion Applications“, in: „*Formal Ontology in Information Systems*“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, *Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006)*, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 309-320.
- Liu, Chao; Leng, Jiewu; Ding, Kai; Zhang, Chaoyang; Cao, Wei; Jiang, Pingyu (2014) „mobi-POSP: A Web-based Mobile Producing and Outsourcing Service Platform for Industrial Equipment Manufacturing“, in: *Advanced Materials Research*, Vols. 889-890, 2014, pp. 1306-1309.
- Liu, Chi Harold; Yang, Bo; Liu, Tiancheng (2014) „Efficient Naming, Addressing and Profile Services in Internet-of-Things Sensory Environments“, in: *Ad Hoc Networks*, Vol. 18, 2014, pp. 85-101.
- Liu, Chuang (1999) „Explaining the Emergence of Cooperative Phenomena“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 66, Supplement. *Proceedings of the 1998 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part I: Contributed Papers*, 1999, pp. S92-S106.
- Liu, De-Qiang (2015) „Design and Implementation of Data Platform Based on Internet of Things Technology“, in: *International Journal of Database Theory and Application*, Vol. 8, No. 5, 2015, pp. 99-108.
- Liu, Jiming (2001) „*Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. Explorations in Learning, Self-Organization and Adaptive Computation*“, Singapore: World Scientific, 2001.
- Liu, Junqiang; Guan, Xiaoling (2010) „Complex Event Processing for Sequence Data and Domain Knowledge“, *International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE)*, Wuhan/China, 26-28 June, 2010, pp. 2899-2902.
- Liu, Li; Yao, Xiaofen; Qin, Liangjuan; Zhang, Miao (2014) „Ontology-based Service Matching in Cloud Computing“, *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, Beijing/China, 6-11 July, 2014, pp. 2544-2550.
- Liu, Wei; Zeng, Yong (2009) „Conceptual Modelling of Design Chain Management towards Product Lifecycle Management“, in: „*Global Perspective for Competitive Enterprise, Economy and Ecology*“, ed. by Chou, Shuo-Yan et al., *Proceedings of the 16th ISPE International Conference on Concurrent Engineering*, London: Springer, 2009, pp. 137-148.
- Liu, Yao-Zong; Zhang, Hong; Wang, Yong-Li (2012) „RFID Complex Event Processing: Applications in Real-Time Locating System“, in: *International Journal of Intelligence Science*, Vol. 2, No. 4A, 2012, pp. 160-165.
- Liu, Ying; Lim, Soon Chong Johnson (2011) „Using Ontology for Design Information and Knowledge Management“, in: „*Global Product Development*“, ed. by Bernard, Alain, *Proceedings of the 20th CIRP Design Conference*, Ecole Centrale de Nantes, Nantes, France, 19th-21st April 2010, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 427-433.
- Liu, Yong; McGrath, Robert E. (2008) „Towards A Spatiotemporal Event-Oriented Ontology“, *2008 Microsoft eScience Workshop*, December 7-9, 2008, Indianapolis/IN, 2008.
- Liu, Zhong; Yang, Dong-sheng; Wen, Ding; Zhang, Wei-ming; Mao, Wenji (2011) „Cyber-Physical-Social Systems for Command and Control“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 26, No. 4, 2011, pp. 92-96.
- Livet, Pierre (2014) „Web Ontologies as Renewal of Classical Philosophical Ontology“, in: „*Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web*“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 68-76.
- Livet, Pierre; Phan, Denis; Sanders, Lena (2008) „Why do we need Ontology for Agent-Based Models?“, in: „*Complexity and Artificial Markets*“, ed. by Schredelseker, Klaus; Hauser, Florian, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 133-145.
- Livieri, Barbara; Guarino, Nicola; Zappatore, Marco; Guizzardi, Giancarlo; Bochicchio, Mario; Longo, Antonella et al. (2015) „Ontology-based Modeling of Cloud Services: Challenges and Perspectives“, in: „*PoEM-SDC 2015*“, ed. by España, Sergio et al., *Proceedings of Short and Doctoral Consortium Papers*

Bibliographie

- Presented at the 8th IFIP WG 8.1 Working Conference on the Practice of Enterprise Modelling (PoEM 2015), Valencia/Spain, Nov., 2015, pp. 61-70.
- Llaves, Alejandro; Fernández, Javier D.; Corcho, Oscar (2014) „Towards Efficient Processing of RDF Data Streams“, ed. by Celino, Irene et al., Proceedings of the 3rd Int. Workshop on Ordering and Reasoning, co-located with the 13th Int. Semantic Web Conference (ISWC 2014), Riva del Garda, Italy, October 20th, 2014, pp. 55-60.
- Lloyd, Alfred H. (1927) „Also the Emergence of Matter“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 24, No. 12, 1927, pp. 309-332.
- Lloyd, Seth (1997) „Universe as Quantum Computer“, in: *Complexity*, Vol. 3, No. 1, 1997, pp. 32-35.
- Lloyd, Seth (2006) „Programming the Universe. A Quantum Computer Scientist Takes on the Cosmos“, New York: Knopf, 2006.
- Lloyd, Seth (2012) „The Universe as Quantum Computer“, in: „A Computable Universe“, ed. by Zenil, Hector, Singapore: World Scientific, 2012.
- Locher, Mark; Costa, Paulo C.G. (2013) „Ontological Considerations for Uncertainty Propagation in High Level Information Fusion“, George Mason Univ., Fairfax/VA, Technical Report TR201312A, 2013.
- Lochmann, Henrik (2010) „HybridMDS: Multi-Domain Engineering with Model-Driven Software Development using Ontological Foundations“, 2010.
- Locker, Alfred (1973) „On the Ontological Foundations of the Theory of Systems“, in: „Unity Through Diversity“, ed. by Gray, William; Rizzo, Nicholas D., A Festschrift for Ludwig von Bertalanffy, New York et al.: Gordon and Breach, 1973, pp. 537-571.
- Lodi, Giorgia; Querzoni, Leonardo; Beraldi, Roberto; Baldoni, Roberto (2010) „Combining Service-Oriented and Event-Driven Architectures for Designing Dependable Systems“, in: *Foundations of Computing and Decision Sciences*, Vol. 35, No. 2, 2010, pp. 78-90.
- Loebe, Frank (2010) „Organization and Management of Large Categorical Systems“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 67-100.
- Loebe, Frank; Herre, Heinrich (2008) „Formal Semantics and Ontologies: Towards an Ontological Account of Formal Semantics“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 49-62.
- Loewer, Barry (1983) „Information and Belief“, in: *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 6, No. 1, 1983, pp. 75-76.
- Löffler, Winfried (2001) „Was ist eigentlich revisionäre Metaphysik?“, in: „Metaphysik im post-metaphysischen Zeitalter“, hrsg. v. Meixner, Uwe, Wien: öbv&hpt, 2001, S. 243-253.
- Löffler, Winfried (2007) „Über deskriptive und revisionäre Metaphysik“, in: „Metaphysik heute - Probleme und Perspektiven der Ontologie“, hrsg. v. Lutz-Bachmann, Matthias; Schmidt, Thomas M., Freiburg, München: Alber, 2007, S. 114-131.
- Logan, Brian (2015) „A Future for Agent Programming“, in: „Engineering Multi-Agent Systems“, ed. by Baldoni, Matteo et al., Third International Workshop, EMAS 2015, Istanbul, Turkey, May 5, 2015, Revised, Selected, and Invited Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 3-17.
- Lohse, Niels; Hirani, Hitendra; Ratchev, Svetan (2006) „Equipment Ontology for Modular Reconfigurable Assembly Systems“, in: *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 17, No. 4, 2006, pp. 301-314.
- Loistl, Otto; Betz, Iro (1996) „Chaostheorie. Zur Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme“, 3., erg. Aufl., München, Wien: Oldenbourg, 1996.
- Lombard, Lawrence B. (1978) „Chisholm and Davidson on Events and Counterfactuals“, in: *Philosophia*, Vol. 7, No. 3, 1978, pp. 515-522.
- Lombard, Lawrence B. (1979) „Events“, in: *Canadian Journal of Philosophy*, Vol. 9, No. 3, 1979, pp. 425-460.
- Lombard, Lawrence B. (1986) „Events. A Metaphysical Study“, London: Routledge & Kegan Paul, 1986.
- Lombard, Lawrence B. (1991) „Events“, in: „Handbook of Metaphysics and Ontology“, ed. by Burkhardt, Hans; Smith, Barry, Vol. 1, Munich: Philosophia, 1991, pp. 256-259.
- Lombard, Lawrence B. (1994) „The Doctrine of Temporal Parts and the 'No-Change' Objection“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 54, No. 2, 1994, pp. 365-372.
- Lombard, Lawrence B. (1995) „Event Theory“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 140-144.

Bibliographie

- Lombard, Lawrence B. (1998) „Ontologies of Events“, in: „Contemporary Readings in the Foundations of Metaphysics“, ed. by Laurence, Stephen; MacDonald, Cynthia, Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 277-294.
- Lombardo, Dario; Morreale, Vito; Li Calsi, Giuseppe (2014) „Toward the Next Generation of Sensors as a Service“, in: „Advances onto the Internet of Things. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful“, ed. by Gaglio, Salvatore; Lo Re, Giuseppe, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 209-216.
- Lomotey, Richard K.; Deters, Ralph (2014) „Analytics-as-a-Service (AaaS) Tool for Unstructured Data Mining“, IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), Boston/MA, 11-14 March, 2014, pp. 319-324.
- Lomotey, Richard K.; Deters, Ralph (2016) „Unstructured Data, NoSQL, and Terms Analytics“, in: „Big Data Applications and Use Cases“, ed. by Hung, Patrick C.K., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 109-143.
- Long, Qingqi; Li, Shuliang (2014) „The Innovation Network as a Complex Adaptive System: Flexible Multi-Agent based Modeling, Simulation and Evolutionary Decision Making“, Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA), Hunan, 15-16 June, 2014, pp. 1060-1064.
- Long, Wen (2008) „Construct MES Ontology with OWL“, 2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, Vol. 1, Guangzhou, 3-4 Aug., 2008, pp. 614-617.
- Long, Wen (2010) „Research on Development Method of MES based on Component and Driven by Ontology“, in: Journal of Software, Vol. 5, No. 11, 2010, pp. 1228-1235.
- Longman (1991) „Dictionary of English“, Harlow: Longman, 1991.
- Lopez Orozco, Omar J.; Martinez Lastra, Jose L. (2006) „Using Semantic Web Technologies to Describe Automation Objects“, in: International Journal of Manufacturing Research, Vol. 1, No. 4, 2006, pp. 482-503.
- Lopez Research (2013) „An Introduction to the Internet of Things (IoT)“, 2013.
- López-Sanz, Marcos; Acuña, César J.; Cuesta, Carlos E.; Marcos, Esperanza (2008) „Modelling of Service-Oriented Architectures with UML“, in: Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Vol. 194, No. 4, 2008, pp. 23-37.
- López, Tomás Sánchez; Brintrup, Alexandra; Isenberg, Marc-André; Mansfeld, Jeanette (2011) „Resource Management in the Internet of Things: Clustering, Synchronisation and Software Agents“, in: „Architecting the Internet of Things“, ed. by Uckelmann, Dieter et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 159-193.
- López, Tomás Sánchez; Ranasinghe, Damith C.; Harrison, Mark; McFarlane, Duncan (2012) „Adding Sense to the Internet of Things. An Architecture Framework for Smart Object Systems“, in: Personal and Ubiquitous Computing, Vol. 16, No. 3, 2012, pp. 291-308.
- Lord, Phillip; Stevens, Robert (2010) „Adding a Little Reality to Building Ontologies for Biology“, in: PLoS One, Vol. 5, No. 9, 2010, pp. 1-7.
- Lorenz, Konrad (1973) „Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens“, Nachdr., München, Zürich: Piper, 1975.
- Lorhard, Jacob (1606) „Ogdoas Scholastica. Continens Diagraphen Typicam Artium Grammatices Latinae. Grammatices Graeca. Logices. Rhetorices. Astronomices. Ethices. Physices. Metaphysices, seu Ontologiae“, Sangalli (St. Gallen): Straub, 1606.
- Lormand, Eric (1990) „Framing the Frame Problem“, in: Synthese, Vol. 82, No. 3, 1990, pp. 353-374.
- Loskyll, Matthias; Heck, Ines; Schlick, Jochen; Schwarz, Michael (2012) „Context-Based Orchestration for Control of Resource-Efficient Manufacturing Processes“, in: Future Internet, Vol. 4, No. 3, 2012, pp. 737-761.
- Loskyll, Matthias; Schlick, Jochen; Hodek, Stefan; Ollinger, Lisa; Gerber, Tobias; Pirvu, Bogdan (2011) „Semantic Service Discovery and Orchestration for Manufacturing Processes“, Proceedings of 16th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2011), Toulouse, France, 5-9 September, 2011, pp. 1-8.
- Lotze, Hermann (1879) „System der Philosophie. Bd. 2: Metaphysik“, Leipzig: Hirzel, 1879.
- Lotze, Hermann (1883) „Grundzüge der Metaphysik“, Leipzig: Hirzel, 1883.
- Loucopoulos, Pericles (1992) „Conceptual Modeling“, in: „Conceptual Modeling, Databases, and Case. An Integrated View of Information Systems Development“, ed. by Loucopoulos, Pericles; Zicari, Roberto, New York et al.: Wiley, 1992, pp. 1-26.
- Loucopoulos, Pericles et al. (1991) „Business Rules Modelling: Conceptual Modelling and Object-Oriented Specifications“, in: „Object Oriented Approach in Information Systems“, ed. by Van Assche, Frans et al., Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 323-342.

Bibliographie

- Loucopoulos, Pericles; Kavakli, Vagelio (1999) „Enterprise Knowledge Management and Conceptual Modeling“, in: „Conceptual Modeling. Current Issues and Future Directions“, ed. by Chen, Peter P. et al., Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 123-143.
- Loux, Michael J. (1978) „Substance and Attribute. A Study in Ontology“, Dordrecht: D. Reidel, 1978.
- Loux, Michael J. (1979) „Introduction: Modality and Metaphysics“, in: „The Possible and the Actual. Readings in the Metaphysics of Modality“, ed. by Loux, Michael J., Ithaca et al.: Cornell Univ. Pr., 1979, pp. 15-64.
- Loux, Michael J. (2002) „Metaphysics“, 2nd ed., Repr., London, New York: Routledge, 2003.
- Lovejoy, Arthur O. (1927) „The Meanings of 'Emergence' and Its Modes“, in: *Journal of Philosophical Studies*, Vol. 2, No. 6, 1927, pp. 167-181.
- Lowe, E. Jonathan (1983a) „Instantiation, Identity and Constitution“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 44, No. 1, 1983, pp. 45-59.
- Lowe, E. Jonathan (1983b) „On the Identity of Artifacts“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 80, No. 4, 1983, pp. 220-232.
- Lowe, E. Jonathan (1987a) „Lewis on Perdurantism versus Endurance“, in: *Analysis*, Vol. 47, No. 3, 1987, pp. 152-154.
- Lowe, E. Jonathan (1988a) „Substance, Identity and Time“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes*, Vol. 62, 1988, pp. 61-78.
- Lowe, E. Jonathan (1988b) „The Problems of Intrinsic Change: Rejoinder to Lewis“, in: *Analysis*, Vol. 48, No. 2, 1988, pp. 72-77.
- Lowe, E. Jonathan (1989) „Kinds of Being. A Study of Individuation, Identity and the Logic of Sortal Terms“, Oxford et al.: Blackwell, 1989.
- Lowe, E. Jonathan (1998) „The Possibility of Metaphysics“, Oxford: Clarendon Pr., 1998.
- Lowe, E. Jonathan (1999) „Abstraction, Properties, and Immanent Realism“, in: „The Proceedings of the Twentieth World Congress of Philosophy, Vol. 2: Metaphysics“, ed. by Rockmore, Tom, Bowling Green/OH: Bowling Green State Univ., 1999, pp. 195-205.
- Lowe, E. Jonathan (2001) „Opening Plenary Talk: Recent Advances in Metaphysics“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, *Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01)*, New York: ACM Pr., 2001, p. 1.
- Lowe, E. Jonathan (2002a) „A Defence of the Four-Category Ontology“, in: „Argument und Analyse“, ed. by Moulines, Carlos Ulises; Niebergall, Karl-Georg, Paderborn: Mentis, 2002, S. 225-240.
- Lowe, E. Jonathan (2002b) „A Survey of Metaphysics“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 2002.
- Lowe, E. Jonathan (2003) „Recent Advances in Metaphysics“, in: *Facta Philosophica*, Vol. 5, No. 1, 2003, pp. 3-24.
- Lowe, E. Jonathan (2005) „Ontology“, in: „The Oxford Companion to Philosophy“, ed. by Honderich, Ted, 2nd ed., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2005, pp. 670-671.
- Lowe, E. Jonathan (2006a) „Metaphysics as the Science of Essence“, Working Paper, 2006.
- Lowe, E. Jonathan (2006b) „The Four-Category Ontology. A Metaphysical Foundation for Natural Science“, Oxford: Clarendon Pr., 2006.
- Lowe, E. Jonathan (2007) „Formal Ontology and the Revival of Metaphysics“, in: „Metaphysik heute - Probleme und Perspektiven der Ontologie“, hrsg. v. Lutz-Bachmann, Matthias; Schmidt, Thomas M., Freiburg, München: Alber, 2007, S. 76-93.
- Lowe, E. Jonathan (2009) „Die Metaphysik und ihre Möglichkeit“, in: *Logos*, Vol. 1, 2009, pp. 2-31.
- Lowe, E. Jonathan (2011) „Ontological Categories: Why Four are Better than Two“, in: „Ontological Categories“, ed. by Cumpa, Javier; Tegtmeier, Erwin, Frankfurt/Main: Ontos, 2011, pp. 109-126.
- Lowe, E. Jonathan (2012) „Neo-Aristotelian Metaphysics: An Exposition and Defence“, in: „Welt der Gründe“, hrsg. v. Nida-Rümelin, Julian; Özmen, Elif, XXII. Deutscher Kongress für Philosophie, 11.-15. September 2011 an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Hamburg: Meiner, 2012, S. 9-16.
- Lowe, E. Jonathan (2013a) „Forms of Thought. A Study in Philosophical Logic“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2013.
- Lowe, E. Jonathan (2013b) „Metaphysical Knowledge“, in: „Philosophical Methodology: The Armchair or the Laboratory?“, ed. by Haug, Matthew C., London, New York: Routledge, 2013, pp. 126-144.
- Lowe, E. Jonathan (2013c) „Categorial Predication“, in: „Classifying Reality“, ed. by Oderberg, David S., Malden/MA: Wiley-Blackwell, 2013, pp. 5-22.
- Lowe, E. Jonathan (2014) „How Real Are Artefacts and Artefacts Kinds?“, in: „Artefact Kinds. Ontology and the Human-Made World“, ed. by Franssen, Maarten et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 17-26.

Bibliographie

- Lowe, Victor (1949) „The Influence of Bergson, James and Alexander on Whitehead“, in: *Journal of the History of Ideas*, Vol. 10, No. 2, 1949, pp. 267-296.
- Lowe, Victor (1961) „The Approach to Metaphysics“, in: „The Relevance of Whitehead“, ed. by Leclerc, Ivor, London: Allen & Unwin, 1961, pp. 193-216.
- Lowe, Victor (1962) „Understanding Whitehead“, Repr., Baltimore: The Johns Hopkins Pr., 1966.
- Lowry, Ann (1974) „A Note on Emergence“, in: *Mind*, N.S., Vol. 83, No. 330, 1974, pp. 276-277.
- Lu, Ruopeng; Sadiq, Shazia (2007) „A Survey of Comparative Business Process Modeling Approaches“, in: „Business Information Systems“, ed. by Abramowicz, Witold, 10th International Conference, BIS 2007, Poznan, Poland, April 25-27, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 82-94.
- Lu, Yan; Morris, Katherine C.; Frechette, Simon P. (2016) „Current Standards Landscape for Smart Manufacturing Systems“, U.S. Department of Commerce, NIST, NISTIR 8107, 2016.
- Lucas, George R., Jr. (1979) „Two Views of Freedom in Process Thought“, Missoula/Montana: Scholars Pr., 1979.
- Lucas, George R., Jr. (1983) „The Genesis of Modern Process Thought“, Metuchen/N.J., London: Scarecrow Pr., 1983.
- Lucas, George R., Jr. (1986) „Hegel, Whitehead, and the Status of Systematic Philosophy“, in: „Hegel and Whitehead. Contemporary Perspectives on Systematic Philosophy“, ed. by Lucas, George R., Jr., Albany: State Univ. of New York Pr., 1986, pp. 3-13.
- Lucas, George R., Jr. (1989) „The Rehabilitation of Whitehead. An Analytic and Historical Assessment of Process Philosophy“, Albany/N.Y.: State Univ. of New York Pr., 1989.
- Lucas, George R., Jr. (1990a) „The Interpretation of Kant in Whitehead's Philosophy“, in: „Whitehead und der deutsche Idealismus - Whitehead and German Idealism“, ed. by Lucas, George R., Jr.; Braeckman, Antoon, Bern et al.: Peter Lang, 1990, pp. 13-32.
- Lucas, George R., Jr. (1990b) „Eine Whiteheadische Auslegung der Naturphilosophie Hegels“, in: „Whitehead und der deutsche Idealismus - Whitehead and German Idealism“, hrsg. v. Lucas, George R., Jr.; Braeckman, Antoon, Bern et al.: Peter Lang, 1990, S. 83-92.
- Lucas, Hans-Christian (1986) „Spinoza, Hegel, Whitehead: Substance, Subject, and Superject“, in: „Hegel and Whitehead. Contemporary Perspectives on Systematic Philosophy“, ed. by Lucas, George R., Jr., Albany: State Univ. of New York Pr., 1986, pp. 39-57.
- Lucke, Dominik; Constantinescu, Carmen; Westkämper, Engelbert (2008) „Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing“, in: „Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier“, ed. by Mitsubishi, Mamoru et al., The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems May 26-28, 2008, Tokyo, Japan, London: Springer, 2008, pp. 115-118.
- Luckham, David C. (2002) „The Power of Events. An Introduction to Complex Event Processing in Distributed Enterprise Systems“, Boston/Mass. et al.: Addison-Wesley, 2002.
- Luckham, David C. (2007a) „A Short History of Complex Event Processing. Part 1: Beginnings“, 2007.
- Luckham, David C. (2007b) „SOA, EDA, BPM and CEP are all Complementary“, Working Paper (2 Parts), 2007.
- Luckham, David C. (2008) „Holistic Event Processing. Future Applications of CEP“, 2008.
- Luckham, David C. (2012) „Event Processing for Business. Organizing the Real-time Enterprise“, Hoboken/N.J.: Wiley, 2012.
- Luckham, David C.; Frasca, Brian (1998) „Complex Event Processing in Distributed Systems“, Working Paper, Stanford Univ., Computer Systems Lab, 1998.
- Luckham, David C.; Schulte, W. Roy (2013) „Why Companies Should Develop Event Models“, 2013.
- Luger, George F.; Stubblefield, William A (1998) „Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving“, 3rd ed., Harlow et al.: Addison Wesley Longman, 1998.
- Luh, Yuan-Ping; Pan, Chih-Chin; Chu, Chih-Hsing (2010) „Deployment Methodology of Distributed PLM Platform Architecture“, in: „Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology“, ed. by Huang, George Q. et al., Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 337-348.
- Luhmann, Niklas (1968) „Zweckbegriff und Systemrationalität. Über die Funktion von Zwecken in sozialen Systemen“, Neudr., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1973.
- Luhmann, Niklas (1981) „Selbstreferenz und Teleologie in gesellschaftstheoretischer Perspektive“, in: „Teleologie“, hrsg. v. Bubner, Rüdiger et al., Neue Hefte für Philosophie, Nr. 20, Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1981, S. 1-30.

Bibliographie

- Luhmann, Niklas (1985) „Complexity and Meaning“, in: „The Science and Praxis of Complexity“, ed. by Aida, Shuhei et al., Contributions to the Symposium Held at Montpellier, France, 9-11 May, 1984, Tokyo: The United Nations Univ., 1985, pp. 99-104.
- Luo, Na; Zhong, Weimin; Wan, Feng; Ye, Zhencheng; Qian, Feng (2015) „An Agent-based Service-Oriented Integration Architecture for Chemical Process Automation“, in: Chinese Journal of Chemical Engineering, Vol. 23, No. 1, 2015, pp. 173-180.
- Lusch, Robert F.; Vargo, Stephen L.; Wessels, Gunter (2008) „Toward a Conceptual Foundation for Service Science: Contributions from Service-Dominant Logic“, in: IBM Systems Journal, Vol. 47, No. 1, 2008, pp. 5-14.
- Lycan, William (1979) „The Trouble with Possible Worlds“, in: „The Possible and the Actual. Readings in the Metaphysics of Modality“, ed. by Loux, Michael J., Ithaca et al.: Cornell Univ. Pr., 1979, pp. 274-316.
- Lycan, William G. (1999) „Philosophy of Language“, in: „The Cambridge Dictionary of Philosophy“, ed. by Audi, Robert, 2nd ed., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1999, pp. 673-676.
- Lycan, William G. (2000) „Philosophy of Language“, London, New York: Routledge, 2000.
- Lyre, Holger (1998) „Quantentheorie der Information“, Wien: Springer, 1998.
- Lyre, Holger (2000) „Kann moderne Physik a priori begründbar sein?“, in: Philosophia Naturalis, Bd. 37, 2000, S. 439-454.
- Lyytinen, Kalle (2006) „'Ontological Foundations of Conceptual Modelling' by Boris Wyssusek - A Critical Response“, in: Scandinavian Journal of Information Systems, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 81-84.
- Ma, Jianhua (2005) „Smart u-Things - Challenging Real World Complexity“, IPSJ Symposium Series Vol. 2005, No. 19, 2005, pp. 146-150.
- Ma, Jianhua; Ning, Huansheng; Huang, Runhe; Liu, Hong; Yang, Laurence T.; Chen, Jinjun; Min, Geyong (2015) „Cybermatics: A Holistic Field for Systematic Study of Cyber-Enabled New Worlds“, in: IEEE Access, Vol. 3, 2015, pp. 2270-2280.
- Ma, Jianhua; Yang, Laurence T.; Aduhan, Bernady O.; Huang, Runhe; Barolli, Leonard; Takizawa, Makoto; Shih, Timothy K. (2005a) „A Walkthrough from Smart Spaces to Smart Hyperspaces towards a Smart World with Ubiquitous Intelligence“, Proceedings of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems, 20-22 July, 2005, pp. 1-7.
- Ma, Jianhua; Yang, Laurence T.; Aduhan, Bernady O.; Huang, Runhe; Barolli, Leonard; Takizawa, Mokoto (2005b) „Towards a Smart World and Ubiquitous Intelligence: A Walkthrough from Smart Things to Smart Hyperspaces and UbiKids“, in: International Journal of Pervasive Computing and Communications, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 53-68.
- Ma, Meng; Wang, Ping; Yang, Jun; Li, Chao (2015) „OntoEvent: An Ontology-Based Event Description Language for Semantic Complex Event Processing“, in: „Web-Age Information Management“, ed. by Dong, Xin Luna et al., 16th International Conference, WAIM 2015, Qingdao, China, June 8-10, 2015. Proceedings, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 448-451.
- Ma, Xiao-Ping; Ni, Jian-Jun; Xu, Li-zhong (2005) „Research on the Multi-Agent Modeling and Simulating Method of CAS and the Agent Rule Learning“, Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Vol. 1, Guangzhou/China, 18-21 Aug., 2005, pp. 243-248.
- Ma, Yongsheng S.; Fuh, Jerry Y.H. (2008) „Product Lifecycle Modelling, Analysis and Management“, in: Computers in Industry, Vol. 59, No. 2-3, 2008, pp. 107-109.
- Maaßen, Helmut (1991) „Einleitung: Natur als Aktivität“, in: „Prozeß, Gefühl und Raum-Zeit. Materialien zu Whiteheads 'Prozeß und Realität': Band 1“, hrsg. v. Hampe, Michael; Maaßen, Helmut, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1991, S. 32-37.
- MacDonald, Margaret (1938) „Things and Processes“, in: Analysis, Vol. 6, No. 1, 1938, pp. 1-10.
- Mach, Ernst (1905) „Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung“, 2., durchges. Aufl., Leipzig: Barth, 1906.
- Mach, Ernst (1918) „Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen“, 7. Aufl., Jena: Fischer, 1918.
- Macintosh, Norman B. (1991) „The Social Software of Accounting and Information Systems“, Chichester et al.: Wiley, 1991.
- Macintosh, Norman B. (1994) „Management Accounting and Control Systems“, New York et al., 1994.
- MacIntyre, Alasdair (1977) „Epistemological Crises, Dramatic Narrative and the Philosophy of Science“, in: The Monist, Vol. 60, No. 4, 1977, pp. 453-472.
- MacKay, Donald M. (1969) „Information, Mechanism and Meaning“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1969.

Bibliographie

- MacKenzie, W. Leslie (1923) „What Does Dr. Whitehead Mean by 'Event'?", in: Proceedings of the Aristotelian Society, Vol. 23, 1923, pp. 229-244.
- MacKinnon, Flora I. (1924) „The Meaning of 'Emergent' in Lloyd Morgan's 'Emergent Evolution'", in: Mind, N.S., Vol. 33, No. 131, 1924, pp. 311-315.
- Maclaurin, James; Dyke, Heather (2012) „What is Analytic Metaphysics For?", in: Australasian Journal of Philosophy, Vol. 90, No. 2, 2012, pp. 291-306.
- Mädche, Alexander (2002) „Ontology Learning for the Semantic Web“, Boston et al.: Kluwer, 2002.
- Mädche, Alexander; Staab, Steffen (2004) „Ontology Learning“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 1st ed., Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 173-189.
- Mädche, Alexander; Staab, Steffen; Studer, Rudi (2001) „Ontologien“, in: Wirtschaftsinformatik, Bd. 43, Nr. 4, 2001, S. 393-395.
- Madden, Edward H. (1962) „Philosophical Problems of Psychology“, New York: Odyssey Pr., 1962.
- Maddy, Penelope (1990) „Realism in Mathematics“, Oxford: Clarendon Pr., 1990.
- Maddy, Penelope (1995) „Taking Naturalism Seriously“, in: Studies in Logic and the Foundations of Mathematics, Vol. 134, 1995, pp. 383-407.
- Madigan, Patrick S. (1975) „Space in Leibniz and Whitehead“, in: „Studies in Process Philosophy II“, ed. by Whittlemore, Robert C., The Hague: Martinus Nijhoff, 1975, pp. 48-57.
- Magee, Liam (2010) „A Framework for Assessing Commensurability of Semantic Web Ontologies“, in: Electronic Journal of Knowledge Management, Vol. 8, No. 1, 2010, pp. 91-102.
- Magee, Liam (2011a) „On Commensurability“, in: „Towards a Semantic Web: Connecting Knowledge in Academic Research“, ed. by Cope, Bill et al., Oxford et al.: Chandos, 2011, pp. 303-342.
- Magee, Liam (2011b) „A Framework for Commensurability“, in: „Towards a Semantic Web: Connecting Knowledge in Academic Research“, ed. by Cope, Bill et al., Oxford et al.: Chandos, 2011, pp. 343-370.
- Magee, Liam (2011c) „Upper-level Ontologies“, in: „Towards a Semantic Web: Connecting Knowledge in Academic Research“, ed. by Cope, Bill et al., Oxford et al.: Chandos, 2011, pp. 235-287.
- Magid, Yonit; Adi, Asaf; Barnea, Maya; Botzer, David; Rabinovich, Ella (2008) „Application Generation Framework for Real-Time Complex Event Processing“, 32nd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference, Turku, July 28-Aug. 1, 2008, pp. 1162-1167.
- Maglio, Paul P.; Srinivasan, Savitha; Kreulen, Jeffrey T.; Spohrer, Jim (2006) „Service Systems, Service Scientists, SSME, and Innovation“, in: Communications of the ACM, Vol. 49, No. 7, 2006, pp. 81-85.
- Magoutas, Babis; Riemer, Dominik; Apostolou, Dimitris; Ma, Jun; Mentzas, Gregoris; Stojanovic, Nenad (2013) „An Event-Driven System for Business Awareness Management in the Logistics Domain“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by La Rosa, Marcello; Soffer, Pnina, BPM 2012 International Workshops Tallinn, Estonia, September 3, 2012, Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 402-413.
- Mahdikhah, Sara; Messaadia, Mourad; Baudry, David; Louis, Anne; Evans, Richard (2014) „A Business Process Modelling Approach to Improve OEM and Supplier Collaboration“, in: Journal of Advanced Management Science, Vol. 2, No. 3, 2014, pp. 246-253.
- Mahesh, Kavi (1996) „Ontology Development for Machine Translation: Ideology and Methodology“, New Mexico State Univ., Computing Research Laboratory, MCCS-96-292, 1996.
- Mahler, Günter (1996) „Quantum Information“, in: „Information. New Questions to a Multidisciplinary Concept“, ed. by Kornwachs, Klaus; Jacoby, Konstantin, Berlin: Akad.-Verl., 1996, pp. 103-118.
- Mahmood, Zaigham (2009) „Synergies between SOA and Grid Computing“, Communications of the IBIMA, Vol. 8, 2009, pp. 164-169.
- Mahner, Martin (2015) „The Philosophy of Mind Needs a Better Metaphysics“, in: „The Constitution of Phenomenal Consciousness: Toward a Science and Theory“, ed. by Miller, Steven M., Amsterdam: John Benjamins, 2015, pp. 293-309.
- Mahner, Martin; Bunge, Mario A. (1997) „Foundations of Biophilosophy“, Berlin et al.: Springer, 1997.
- Mahnke, Dietrich (1927) „Leibniz als Begründer der symbolischen Mathematik“, in: Isis, 9. Jg., Nr. 2, 1927, S. 279-293.
- Mahut, Fabien; Bricogne, Matthieu; Daaboul, Joanna; Eynard, Benoît (2016) „Servicization of Product Lifecycle Management: Towards Service Lifecycle Management“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 321-331.

Bibliographie

- Mainzer, Klaus (1978) „Mathesis Universalis und gegenwärtige Kalkültheorien“, in: „Philosophische Aspekte der Bildungsinformatik“, hrsg. v. Polák, Vlastimil, Paderborner Arbeitspapiere Bd. 6, Institut für Bildungsinformatik, Paderborn, 1978, S. 7-28.
- Mainzer, Klaus (1988) „Symmetrie und Symmetriebrechung. Zur Einheit und Vielheit in den modernen Naturwissenschaften“, in: Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, Vol. 19, No. 2, 1988, S. 290-307.
- Mainzer, Klaus (1990) „Knowledge-Based Systems. Remarks on the Philosophy of Technology and Artificial Intelligence“, in: Journal for General Philosophy of Science, Vol. 21, 1990, pp. 47-74.
- Mainzer, Klaus (1990) „Aufgaben und Ziele der Wissenschaftsphilosophie“, hrsg. v. Univ. Augsburg, (Vortrag anlässlich der Eröffnung des Instituts für Philosophie der Univ. Augsburg am 20. November 1989), Augsburger Universitätsreden Nr. 17, Augsburg, 1990.
- Mainzer, Klaus (1991) „Concepts of Symmetry and the Unity of Science“, in: „Einheit der Wissenschaften“, hrsg. v. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Int. Kolloquium der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Bonn, 25.-27. Juni 1990, Forschungsbericht Nr. 4, Berlin, New York: De Gruyter, 1991, S. 75-90.
- Mainzer, Klaus (1992a) „Chaos und Selbstorganisation als medizinische Paradigmen“, in: „Wissenschaftstheorien in der Medizin“, hrsg. v. Deppert, Wolfgang et al., Berlin, New York: De Gruyter, 1992, S. 225-258.
- Mainzer, Klaus (1992b) „Chaos, Selbstorganisation und Symmetrie. Bemerkungen zu drei aktuellen Forschungsprogrammen“, in: „Selbstorganisation. Bd. 3: Konzepte von Chaos und Selbstorganisation in der Geschichte der Wissenschaften“, hrsg. v. Krohn, Wolfgang; Krug, Hans-Jürgen; Küppers, Günter, Berlin: Duncker u. Humblot, 1992, S. 259-278.
- Mainzer, Klaus (1992c) „Galileo Galilei - Naturphilosoph und Begründer der neuzeitlichen Physik“, zum 350. Todesjahr Galileis, hrsg. vom Museumsverein für Technik und Arbeit e.V. und dem Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim (Vortrag, 31.10.1990), Mannheim, 1992.
- Mainzer, Klaus (1993) „Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen der Inter- und Transdisziplinarität“, in: „Inter- und Transdisziplinarität. Warum? - Wie?“, hrsg. v. Arber, Werner, Bern et al.: Haupt, 1993, S. 17-53.
- Mainzer, Klaus (1994a) „Thinking in Complexity. The Complex Dynamics of Matter, Mind, and Mankind“, 3rd rev. and enl. ed., Berlin et al.: Springer, 1997.
- Mainzer, Klaus (1994b) „Computer - Neue Flügel des Geistes?“, Berlin, New York: De Gruyter, 1994.
- Mainzer, Klaus (1995) „Zeit. Von der Urzeit zur Computerzeit“, 5. Aufl., München: Beck, 2005.
- Mainzer, Klaus (1996) „Materie. Von der Urmaterie zum Leben“, München: Beck, 1996.
- Mainzer, Klaus (1997) „Gehirn, Computer, Komplexität“, Berlin et al.: Springer, 1997.
- Mainzer, Klaus (1999a) „Computernetze und virtuelle Realität. Leben in der Wissensgesellschaft“, Berlin et al.: Springer, 1999.
- Mainzer, Klaus (1999b) „Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft“, in: „Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert“, hrsg. v. Mainzer, Klaus, Berlin et al.: Springer, 1999, S. 3-29.
- Mainzer, Klaus (1999c) „Computernetze und Wissensmanagement. Grundlagen und Perspektiven der Wissensgesellschaft“, in: „Die Zukunft des Wissens“, hrsg. v. Mittelstraß, Jürgen, XVIII. Deutscher Kongreß für Philosophie, Konstanz 1999. Allgemeine Gesellschaft für Philosophie in Deutschland e.V. in Verbindung mit der Universität Konstanz, Konstanz: Univ.-Verl. Konstanz, 1999, S. 1304-1311.
- Mainzer, Klaus (2000a) „Komplexität und die Einheit der Wissenschaft“, in: „Die Einheit der Wirklichkeit. Zum Wissenschaftsverständnis der Gegenwart“, hrsg. v. Küppers, Bernd-Olaf, München: Fink, 2000, S. 149-163.
- Mainzer, Klaus (2000b) „Ubiquitous Computing - Perspektiven für Wirtschaft und Gesellschaft“, in: Wirtschaftsinformatik, 42. Jg., Nr. 5, 2000, S. 466-467.
- Mainzer, Klaus (2002a) „CNN and the Evolution of Complex Information Systems in Nature and Technology“, Proceedings of the 2002 7th IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and Their Applications (CNNA 2002), 24-24 July, 2002, pp. 483-497.
- Mainzer, Klaus (2002b) „Computational Intelligence“, in: „The Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)“, ed. by UNESCO, Ch. 6.46.4, Oxford, 2002.
- Mainzer, Klaus (2003a) „Computerphilosophie zur Einführung“, Hamburg: Junius, 2003.
- Mainzer, Klaus (2003b) „KI - Künstliche Intelligenz. Grundlagen intelligenter Systeme“, Darmstadt: Primus, 2003.
- Mainzer, Klaus (2004a) „Self-Organization and Emergence in Complex Dynamical Systems“, in: „Informatik 2004 - Informatik verbindet“, hrsg. v. Dadam, Peter; Reichert, Manfred, Proceedings, Bd. 2, GI-Edition

Bibliographie

- Lecture Notes in Informatics, Beiträge der 34. Jahrestagung der Ges. für Informatik e.V. (GI) 20.-24. September 2004, Ulm, Bonn: Ges. für Informatik, 2004, S. 590-594.
- Mainzer, Klaus (2004b) „System: An Introduction to Systems Science“, in: „The Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information“, ed. by Floridi, Luciano, Malden/MA et al.: Blackwell, 2004, pp. 28-39.
- Mainzer, Klaus (2005a) „Symmetry and Complexity. The Spirit and Beauty of Nonlinear Science“, Singapore: World Scientific, 2005.
- Mainzer, Klaus (2005b) „Symmetry and Complexity in Dynamical Systems“, in: European Review, Vol. 13, No. S2, 2005, pp. 29-48.
- Mainzer, Klaus (2005c) „Was sind komplexe Systeme? Komplexitätsforschung als integrative Wissenschaft“, in: „1. Symposium zur Gründung einer Deutsch-Japanischen Akademie für integrative Wissenschaft“, hrsg. v. Daiseion-ji e.V. und der Leibniz-Gemeinschaft e.V., Dettelbach: Röhl, 2005, S. 37-77.
- Mainzer, Klaus (2006a) „Einführung“, in: „Kreativität“, hrsg. v. Abel, Günter, Hamburg: Meiner, 2006, S. 867-884.
- Mainzer, Klaus (2006b) „Geist und Gehirn als komplexe Einheit“, in: „2. Symposium zur Gründung einer Deutsch-Japanischen Akademie für Integrative Wissenschaft“, hrsg. v. Daiseion-ji e.V. u. der Leibniz-Gemeinschaft e.V., Dettelbach: Röhl, 2006, S. 11-33.
- Mainzer, Klaus (2007a) „Thinking in Complexity. The Computational Dynamics of Matter, Mind, and Mankind“, 5th rev. and enl. ed., Berlin et al.: Springer, 2007.
- Mainzer, Klaus (2007b) „Handeln und Entscheiden in komplexen Systemen“, in: „3. Symposium zur Gründung einer Deutsch-Japanischen Akademie für Integrative Wissenschaft“, hrsg. v. Daiseion-ji e.V. u. der Leibniz-Gemeinschaft e.V., Dettelbach: Röhl, 2007, S. 13-39.
- Mainzer, Klaus (2007c) „Der kreative Zufall. Wie das Neue in die Welt kommt“, München: Beck, 2007.
- Mainzer, Klaus (2008a) „Komplexität“, Paderborn: Fink, 2008.
- Mainzer, Klaus (2008b) „Der kreative Zufall. Wie das Neue in die Welt kommt“, in: „Kreativität. Beiträge aus den Natur- und Geisteswissenschaften“, hrsg. v. Dresler, Martin; Baudson, Tanja Gabriele, Stuttgart: Hirzel, 2008, S. 134-141.
- Mainzer, Klaus (2009a) „Challenges of Complexity in the 21st Century. An Interdisciplinary Introduction“, in: European Review, Vol. 17, No. 2, 2009, pp. 219-236.
- Mainzer, Klaus (2009b) „Naturphilosophische Forschungsperspektiven der modernen Naturwissenschaften“, in: „Was ist Naturphilosophie und was kann sie leisten?“, hrsg. v. Kummer, Christian, Freiburg, München: Alber, 2009, S. 109-126.
- Mainzer, Klaus (2010) „Leben als Maschine? Von der Systembiologie zur Robotik und Künstlichen Intelligenz“, Paderborn: mentis, 2010.
- Mainzer, Klaus (2012) „Prolog“, in: „Integration als globale Herausforderung der Menschheit“, hrsg. v. Daiseion-ji e.V.; acatech, Dettelbach: Röhl, 2012, S. 11-15.
- Mainzer, Klaus (2014a) „Die Berechnung der Welt. Von der Weltformel zu Big Data“, München: Beck, 2014.
- Mainzer, Klaus (2014b) „The Emergence of Self-Conscious Systems: From Symbolic AI to Embodied Robotics“, in: „Philosophy, Computing and Information Science“, ed. by Hagengruber, Ruth; Riss, Uwe V., London: Pickering & Chatto, 2014, pp. 57-65.
- Mainzer, Klaus (2014c) „The Cause of Complexity in Nature: An Analytical and Computational Approach“, in: „How Nature Works. Complexity in Interdisciplinary Research and Applications“, ed. by Zelinka, Ivan et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 19-49.
- Mainzer, Klaus (2014d) „Die Berechnung der Welt. Können Big Data-Ergebnisse Theorie und Beweis ersetzen?“, in: Forschung & Lehre, Nr. 9, 2014, S. 696-699.
- Mainzer, Klaus (2016a) „Information. Algorithmus - Wahrscheinlichkeit - Komplexität - Quantenwelt - Leben - Gehirn - Gesellschaft“, Wiesbaden: Berlin Univ. Pr., 2016.
- Mainzer, Klaus (2016b) „Künstliche Intelligenz - Wann übernehmen die Maschinen?“, Berlin et al.: Springer, 2016.
- Mainzer, Klaus (2016c) „Toward a Theory of Intelligent Complex Systems: From Symbolic AI to Embodied and Evolutionary AI“, in: „Fundamental Issues of Artificial Intelligence“, ed. by Müller, Vincent C., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 239-257.
- Mainzer, Klaus; Chua, Leon (2012) „The Universe as Automaton. From Simplicity and Symmetry to Complexity“, Berlin et al.: Springer, 2012.

Bibliographie

- Mainzer, Klaus; Chua, Leon (2013) „Local Activity Principle. The Cause of Complexity and Symmetry Breaking“, London: Imperial College Pr., 2013.
- Malhas, Othman Qasim (1992) „Quantum Theory As a Theory in a Classical Propositional Calculus“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 31, No. 9, 1992, pp. 1699-1714.
- Malik, Saleem; Bajwa, Imran Sarwar (2013) „Back to Origin: Transformation of Business Process Models to Business Rules“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by La Rosa, Marcello; Soffer, Pnina, BPM 2012 International Workshops Tallinn, Estonia, September 3, 2012, Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 611-622.
- Malik, Sonika; Mishra, Sanju; Jain, N.K.; Jain, Sarika (2015) „Devising a Super Ontology“, in: *Procedia Computer Science*, Vol. 70, 2015, pp. 785-792.
- Malin, Shimon (1997) „Delayed-Choice Experiments and the Concept of Time in Quantum Mechanics“, in: „Time, Temporality, Now. Experiencing Time and Concepts of Time in an Interdisciplinary Perspective“, ed. by Atmanspacher, Harald; Ruhnau, Eva, Berlin et al.: Springer, 1997, pp. 43-52.
- Malin, Shimon (2001) „Nature Loves to Hide: Quantum Physics and Reality, a Western Perspective“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2001.
- Malin, Shimon (2004) „Whitehead's Philosophy and the Collapse of Quantum States“, in: „Physics and Whitehead. Quantum, Process, and Experience“, ed. by Eastman, Timothy E.; Keeton, Hank, Albany: State Univ. of New York Pr., 2004, pp. 74-83.
- Malin, Shimon (2009) „Whitehead's Philosophy and Quantum Mechanics (QM)“, in: „Quantum Reality, Relativistic Causality, and Closing the Epistemic Circle“, ed. by Myrvold, Wayne C.; Christian, Joy, Esays in Honour of Abner Shimony, Dordrecht et al.: Springer, 2009, pp. 63-68.
- Malisoff, William Marias (1939) „Emergence without Mystery“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 6, No. 1, 1939, pp. 17-24.
- Malisoff, William Marias (1941) „Chemistry: Emergence without Mystification“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 8, No. 1, 1941, pp. 39-52.
- Mallek, Sihem; Daclin, Nicolas; Chapurlat, Vincent (2011) „An Approach for Interoperability Requirements Specification and Verification“, in: „Enterprise Interoperability“, ed. by Van Sinderen, Marten; Johnson, Pontus, Third International IFIP Working Conference, IWEI 2011, Stockholm, Sweden, March 23-24, 2011, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 89-102.
- Mallens, Paul; Dietz, Jan L.G.; Hommes, Bart-Jan (2001) „The Value of Business Process Modeling with DEMO Prior to Information Systems Modeling with UML“, 2001.
- Malpas, Jeff (2012) „Heidegger, Space, and World“, in: „Heidegger and Cognitive Science“, ed. by Kiverstein, Julian; Wheeler, Michael, Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2012, pp. 309-342.
- Mandelbrot, Benoit B. (1979) „Fractals, Attractors, and the Fractal Dimension“, in: „Bifurcation Theory and Applications in Scientific Disciplines“, ed. by Gurel, Okan; Rössler, Otto E., *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 316, New York: New York Academy of Sciences, 1979, pp. 463-464.
- Mandelbrot, Benoit B. (1993) „Fractals“, in: „Chaos: The New Science“, ed. by Holte, John, Nobel Conference <26th, 1990, Gustavus Adolphus College, Saint Peter, Minn.>, Lanham/Md.: Univ. Pr. of America, 1993, pp. 1-33.
- Manley, David (2009) „Introduction: A Guided Tour of Metametaphysics“, in: „Metametaphysics. New Esays on the Foundations of Ontology“, ed. by Chalmers, David J.; Manley, David; Wasserman, Ryan, Oxford et al.: Clarendon Pr., 2009, pp. 1-37.
- Mantovani, Giuseppe; Riva, Giuseppe (1999) „'Real' Presence: How Different Ontologies Generate Different Criteria for Presence, Telepresence, and Virtual Presence“, in: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 8, No. 5, 1999, pp. 540-550.
- Manzotti, Riccardo (2003) „A Process-Based Architecture for an Artificial Conscious Being“, in: „Process Theories. Crossdisciplinary Studies in Dynamic Categories“, ed. by Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Kluwer, 2003, pp. 285-312.
- Mao, Ming; Peng, Yefei; Spring, Michael (2010) „An Adaptive Ontology Mapping Approach with Neural Network based Constraint Satisfaction“, in: *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, Vol. 8, No. 1, 2010, pp. 14-25.
- Maojo, V.; Crespo, J.; García-Remesal, M.; de la Iglesia, D.; Perez-Rey D.; Kulikowski C. (2011) „Biomedical Ontologies: Toward Scientific Debate“, in: *Methods of Information in Medicine*, Vol. 50, No. 3, 2011, pp. 203-216.
- March, Salvatore T.; Allen, Gove N. (2009) „Challenges in Requirements Engineering: A Research Agenda for Conceptual Modeling“, in: „Design Requirements Engineering: A Ten-Year Perspective“, ed. by

Bibliographie

- Lyytinen, Kalle et al., Design Requirements Workshop, Cleveland, OH, USA, June 3-6, 2007, Revised and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 157-165.
- Marchal, Pierre (1998) „John von Neumann: The Founding Father of Artificial Life“, in: *Artificial Life*, Vol. 4, No. 3, 1998, pp. 229-235.
- Marchetta, Martín G.; Mayer, Frédérique; Forradellas, Raymundo Q. (2011) „A Reference Framework Following a Proactive Approach for Product Lifecycle Management“, in: *Computers in Industry*, Vol. 62, 2011, pp. 672-683.
- Marciszewski, Witold (1984) „The Principle of Comprehension as a Present-Day Contribution to Mathesis Universalis“, in: *Philosophia Naturalis*, Bd. 21, Nr. 2/4, 1984, S. 523-537.
- Marconnet, Bertrand; Demoly, Frédéric; Gomes, Samuel (2014) „A Semantic HUB within the Future of PLM“, 2014 Tenth International Conference on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS), Marrakech, 23-27 Nov., 2014, pp. 709-714.
- Marcus, Ruth Barcan (1993) „Modalities. Philosophical Essays“, New York et al.: Oxford Univ. Pr., 1993.
- Margara, Alessandro; Cugola, Gianpaolo (2011) „Processing Flows of Information: From Data Stream to Complex Event Processing“, Proceedings of the 5th ACM International Conference on Distributed Event-Based System (DEBS '11), New York/NY, July 11-15, ACM, 2011, pp. 359-360.
- Margenau, Henry (1950) „The Nature of Physical Reality. A Philosophy of Modern Physics“, New York et al.: McGraw-Hill, 1950.
- Margenau, Henry (1952) „Physics and Ontology“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 19, No. 4, 1952, pp. 342-345.
- Margolis, Eric; Laurence, Stephen (2007) „The Ontology of Concepts - Abstract Objects or Mental Representations?“, in: *Noûs*, Vol. 41, No. 4, 2007, pp. 561-593.
- Marík, Vladimír; Fletcher, Martyn; Pechoucek, Michal (2002) „Holons & Agents: Recent Developments and Mutual Impacts“, in: „Multi-Agent Systems and Applications II“, ed. by Marík, Vladimír et al., 9th ECCAI-ACAI / EASSS 2001, AEMAS 2001, HoloMAS 2001 Selected Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 233-267.
- Marík, Vladimír; Pechoucek, Michal (2001) „Holons & Agents: Recent Development and Mutual Impacts“, 12th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2001, Proceedings, 2001, pp. 605-607.
- Marinagi, Catherine C.; Panayiotopoulos, Themis; Spyropoulos, Constantine D. (2005) „AI Planning and Intelligent Agents“, in: „Intelligent Techniques for Planning“, ed. by Vlahavas, Ioannis; Vrakas, Dimitris, Hershey/PA: Idea Group, 2005, pp. 225-258.
- Markie, Peter J. (1999) „Roderick M. Chisholm, A Realistic Theory of Categories“, in: *Noûs*, Vol. 33, No. 2, 1999, pp. 304-315.
- Markosian, Ned (2004) „A Defence of Presentism“, in: „Oxford Studies in Metaphysics, Vol. 1“, ed. by Zimmerman, Dean W., Oxford: Oxford Univ. Pr., 2004, pp. 47-82.
- Maropoulos, Paul G. (2003) „Digital Enterprise Technology - Defining Perspectives and Research Priorities“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 16, No. 7-8, 2003, pp. 467-478.
- Maropoulos, Paul G. et al. (2004) „Digital Enterprise Technology in Production Networks“, in: „Advances in e-Engineering and Digital Enterprise Technology - I“, ed. by Cheng, Kai; Webb, David; Marsh, Rodney, Bury St Edmunds, London: Professional Engineering Publ., 2004, pp. 3-12.
- Maropoulos, Paul G.; Ceglarek, Dariusz J. (2010) „Design Verification and Validation in Product Lifecycle“, in: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 59, No. 2, 2010, pp. 740-759.
- Maropoulos, Paul G.; McKay, K.R.; Bramall, D.G. (2002) „Resource-Aware Aggregate Planning for the Distributed Manufacturing Enterprise“, in: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 51, No. 1, 2002, pp. 363-366.
- Maropoulos, Paul G.; Rogers, B.C.; Chapman, P.; McKay, K.R.; Bramall, D.G. (2003) „A Novel Digital Enterprise Technology Framework for the Distributed Development and Validation of Complex Products“, in: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 52, No. 1, 2003, pp. 389-392.
- Marquand, Allan (1886) „A New Logical Machine“, in: *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, Vol. 21, 1886, pp. 303-307.
- Marquardt, Wolfgang; Morbach, Jan; Wiesner, Andreas; Yang, Aidong (2010) „OntoCAPE. A Re-Usable Ontology for Chemical Process Engineering“, Berlin et al.: Springer, 2010.
- Marshall, George R.; Cofer, Charles N. (1963) „Associative Indices as Measures of Word Relatedness: A Summary and Comparison of Ten Methods“, in: *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol. 1, No. 6, 1963, pp. 408-421.

Bibliographie

- Marshall, M. Scott; Roos, Marco; Meijj, Edgar; Katrenko, Sophia; Van Hage, Willem Robert; Adriaans, Pieter W. (2010) „Semantic Disclosure in an e-Science Environment“, in: „Semantic e-Science“, ed. by Chen, Huajun et al., New York et al.: Springer, 2010, pp. 29-65.
- Marsonet, Michele (1994) „On Rescher's Conceptual Idealism“, in: *Idealistic Studies*, Vol. 24, No. 2, 1994, pp. 147-161.
- Martens, Ekkehard (1995) „Amerikanische Pragmatisten. Charles Sanders Peirce (1839-1914), William James (1842-1910), John Dewey (1859-1952)“, in: „Klassiker der Philosophie. Zweiter Band: Von Immanuel Kant bis Jean-Paul Sartre“, hrsg. v. Höffe, Otfried, 3., überarb. Aufl., München: Beck, 1995, S. 225-250.
- Martin, Charles B. (1980) „Substance Substantiated“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 58, No. 1, 1980, pp. 3-10.
- Martin, Charles B. (1993) „The Need for Ontology: Some Choices“, in: *Philosophy*, Vol. 68, No. 266, 1993, pp. 505-522.
- Martin, Charles B.; Heil, John (1999) „The Ontological Turn“, in: *Midwest Studies in Philosophy*, Vol. 23, No. 1, 1999, pp. 34-60.
- Martin, David; Paolucci, Massimo; McIlraith, Sheila; Burstein, Mark; McDermott, Drew; McGuinness, Deborah et al. (2005) „Bringing Semantics to Web Services: The OWL-S Approach“, in: „Semantic Web Services and Web Process Composition“, ed. by Cardoso, Jorge; Sheth, Amit, First International Workshop, SWSWPC 2004, San Diego, CA, USA, July 6, 2004, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 26-42.
- Martin, Gottfried (1954) „Neuzeit und Gegenwart in der Entwicklung des Mathematischen Denkens“, in: *Kant-Studien*, Bd. 45, Nr. 1-4, 1954, S. 155-165.
- Martin, Gottfried (1961) „Metaphysics as Scientia Universalis and as Ontologia Generalis“, in: „The Relevance of Whitehead“, ed. by Leclerc, Ivor, London: Allen & Unwin, 1961, pp. 219-231.
- Martin, Michael (1972) „Ontological Variance and Scientific Objectivity“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 23, No. 3, 1972, pp. 252-256.
- Martin, Patrick; D'Acunto, Alain (2003) „Design of a Production System: An Application of Integration Product-Process“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 16, No. 7-8, 2003, pp. 509-516.
- Martin, Richard M. (1969) „On Events and Event-Descriptions“, in: „Fact and Existence“, ed. by Margolis, Joseph, Oxford: Blackwell, 1969, pp. 63-73, 97-109.
- Martin, Richard M. (1978) „Events, Reference, and Logical Form“, Washington/DC: Catholic University of America Pr., 1978.
- Martinez Lastra, Jose L.; Delamer, Ivan M. (2006) „Semantic Web Services in Factory Automation: Fundamental Insights and Research Roadmap“, in: *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 2, No. 1, 2006, pp. 1-11.
- Martinez Lastra, Jose L.; Delamer, Ivan M. (2009) „Ontologies for Production Automation“, in: „Advances in Web Semantics I. Ontologies, Web Services and Applied Semantic Web“, ed. by Dillon, Tharam S. et al., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 276-289.
- Martínez-Pellitero, Susana; Barreiro, Joaquín; Cuesta, Eduardo; Álvarez, Braulio José (2011) „A New Process-based Ontology for KBE System Implementation: Application to Inspection Process Planning“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 57, 2011, pp. 325-339.
- Martinez, Miguel; Levachkine, Serguei (2009) „Dynamic Models of Geographic Environment Using Ontological Relations“, in: „Information Fusion and Geographic Information Systems“, ed. by Popovich, Vasily V. et al., Dordrecht et al.: Springer, 2009, pp. 165-176.
- Martinez, Veronica; Bastl, Marko; Kingston, Jennifer; Evans, Stephen (2010) „Challenges in Transforming Manufacturing Organisations into Product-Service Providers“, in: *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 21, No. 4, 2010, pp. 449-469.
- Martins, Aline Freitas; Falbo, Ricardo De Almeida (2008) „Models for Representing Task Ontologies“, ed. by Freitas, Fred et al., WONTO 2008, Proceedings of the 3rd Workshop on Ontologies and their Applications Salvador, Bahia, Brazil, October 26, 2008.
- Martins, Joao P. (1987) „Belief Revision“, in: „Encyclopedia of Artificial Intelligence“, ed. by Shapiro, Stuart C., Vol. 1, New York et al.: Wiley, 1987, pp. 58-62.
- Martorella, Gloria; Peri, Daniele; Toscano, Elena (2014) „Hardware and Software Platforms for Distributed Computing on Resource Constrained Devices“, in: „Advances onto the Internet of Things. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful“, ed. by Gaglio, Salvatore; Lo Re, Giuseppe, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 121-133.

Bibliographie

- Maruyama, Magoroh (1978) „The Epistemological Revolution. Prigogine and Reciprocal Causal Logic“, in: *Futures*, Vol. 10, No. 3, 1978, pp. 240-242.
- Maruyama, Yoshihiro (2016) „AI, Quantum Information, and External Semantic Realism: Searle's Observer-Relativity and Chinese Room, Revisited“, in: „Fundamental Issues of Artificial Intelligence“, ed. by Müller, Vincent C., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 115-126.
- Marwedel, Peter (2011) „Embedded System Design: Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems“, Cham et al.: Springer, 2011.
- Marwedel, Peter; Engel, Michael (2016) „Cyber-Physical Systems: Opportunities, Challenges and (Some) Solutions“, in: „Management of Cyber Physical Objects in the Future Internet of Things. Methods, Architectures and Applications“, ed. by Guerrieri, Antonio et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 1-30.
- Marx, Edgard; Salas, Percy; Breitman, Karin; Viterbo, José; Casanova, Marco Antonio (2013) „RDB2RDF: A Relational to RDF Plug-in for Eclipse“, in: *Software: Practice and Experience*, Vol. 43, No. 4, 2013, pp. 435-447.
- Mascardi, Viviana; Cordi, Valentina; Rosso, Paolo (2007) „A Comparison of Upper Ontologies“, in: „WOA 2007: Dagli Oggetti agli Agenti. 8th AI*IA/TABOO Joint Workshop "From Objects to Agents": Agents and Industry: Technological Applications of Software Agents, 24-25 September 2007, Genova, Italy“, ed. by Baldoni, Matteo et al., Torino: Seneca Edizioni, 2007, pp. 55-64.
- Mascardi, Viviana; Locoro, Angela; Rosso, Paolo (2008) „Exploiting DOLCE, SUMO-OWL, and OpenCyc to Boost the Ontology Matching Process“, Technical Report DISI-TR-08-08, Univ. of Genoa, 2008.
- Mascardi, Viviana; Locoro, Angela; Rosso, Paolo (2010) „Automatic Ontology Matching via Upper Ontologies: A Systematic Evaluation“, in: *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 22, No. 5, 2010, pp. 609-623.
- Masolo, Claudio (2010) „Understanding Ontological Levels“, ed. by Lin, F.; Sattler, U., Proceedings of the Twelfth International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2010), Menlo Park: AAAI Pr., 2010, pp. 258-268.
- Masolo, Claudio (2011) „Levels for Conceptual Modeling“, in: „ER 2011 Workshops“, ed. by De Troyer et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 173-182.
- Masolo, Claudio; Borgo, Stefano (2005) „Qualities in Formal Ontology“, ed. by Hitzler, Pascal et al., Foundational Aspects of Ontologies (FOnt 2005) Workshop at KI 2005, Koblenz, 2005, pp. 2-16.
- Masolo, Claudio; Borgo, Stefano; Gangemi, Aldo; Guarino, Nicola; Oltramari, Alessandro (2003) „WonderWeb Deliverable D18. Ontology Library (final)“, 2003.
- Masolo, Claudio; Borgo, Stefano; Gangemi, Aldo; Guarino, Nicola; Oltramari, Alessandro; Schneider, Luc (2002) „WonderWeb Deliverable D17. The WonderWeb Library of Foundational Ontologies: Preliminary Report“, 15-08-2002, Vers. 2.0, 2002.
- Massotte, Pierre (1995) „Self-Organization: A New Approach to Improve the Reactivity of the Production Systems“, INRIA/IEEE Symposium on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA '95), Proceedings, Vol. 1, Paris, 10-13 Oct, 1995, pp. 23-32.
- Masterman, Margaret (1961) „Semantic Message Detection for Machine Translation, Using an Interlingua“, International Conference on Machine Translation of Languages and Applied Language Analysis, National Physical Laboratory, Teddington/UK, 5-8 September, 1961, pp. 438-474.
- Masterman, Margaret (1970) „The Nature of a Paradigm“, in: „Criticism and the Growth of Knowledge“, ed. by Lakatos, Imre; Musgrave, Alan, Proceedings of the Int. Colloquium in the Philosophy of Science, London, 1965, Vol. 4, Repr., London et al.: Cambridge Univ. Pr., 1979, pp. 59-89.
- Masterman, Margaret (1984) „First Impression of a Whiteheadian Model of Language“, in: „Whitehead und der Prozessbegriff“, hrsg. v. Holz, Harald; Wolf-Gazo, Ernest, Beitr. zur Philosophie Alfred North Whiteheads auf d. 1. Int. Whitehead-Symposium 1981, Freiburg, München: Alber, 1984, S. 102-115.
- Matheus, Christopher J.; Baclawski, Kenneth; Kokar, Mieczyslaw M. (2003a) „Derivation of Ontological Relations Using Formal Methods in a Situation Awareness Scenario“, Proc. SPIE 5099, Multisensor, Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications, 2003, pp. 298-309.
- Matheus, Christopher J.; Kokar, Mieczyslaw M.; Baclawski, Kenneth (2003b) „A Core Ontology for Situation Awareness“, Proceedings of the Sixth International Conference of Information Fusion, Cairns/Queensland, Australia, 8-11 July, 2003, pp. 545-552.
- Mathew, Sujith Samuel; Atif, Yacine; Sheng, Quan Z.; Maamar, Zakaria (2013) „The Web of Things - Challenges and Enabling Technologies“, in: „Internet of Things and Inter-cooperative Computational Technologies for Collective Intelligence“, ed. by Bessis, Nik et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 1-23.
- Matkovic, Kresimir et al. (2011) „Current Trends for 4D Space-Time Topology for Semantic Flow Segmentation“, in: *Procedia Computer Science*, Vol. 7, 2011, pp. 253-255.

Bibliographie

- Matsokis, Aristeidis (2010) „An Ontology-Based Approach for Closed-Loop Product Lifecycle Management“, Ph.D. thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2010.
- Matsokis, Aristeidis; Kiritsis, Dimitris (2010a) „An Ontology-based Approach for Product Lifecycle Management“, in: *Computers in Industry*, Vol. 61, No. 8, 2010, pp. 787-797.
- Matsokis, Aristeidis; Kiritsis, Dimitris (2010b) „An Advanced Method for Time Treatment in Product Lifecycle Management Models“, in: „Engineering Asset Lifecycle Management“, ed. by Kiritsis, Dimitris et al., Proceedings of the 4th World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2009), 28-30 September 2009, Springer, 2010, pp. 120-126.
- Matsokis, Aristeidis; Kiritsis, Dimitris (2010c) „Ontology Applications in PLM“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 185-196.
- Matsokis, Aristeidis; Kiritsis, Dimitris (2011) „Ontology Applications in PLM“, in: *International Journal of Product Lifecycle Management*, Vol. 5, No. 1, 2011, pp. 84-97.
- Matsumoto, Isao T.; Stapleton, John; Glass, Jacqueline; Thorpe, Tony (2005) „A Knowledge-Capture Report for Multidisciplinary Design Environments“, in: *Journal of Knowledge Management*, Vol. 9, No. 3, 2005, pp. 83-92.
- Mattern, Friedemann (2005) „Die technische Basis für das Internet der Dinge“, in: „Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis“, ed. by Fleisch, Elgar; Mattern, Friedemann, Berlin et al.: Springer, 2005, S. 39-66.
- Mattern, Friedemann; Floerkemeier, Christian (2010) „From the Internet of Computers to the Internet of Things“, in: „From Active Data Management to Event-Based Systems and More“, ed. by Sachs, Kai et al., Papers in Honor of Alejandro Buchmann on the Occasion of His 60th Birthday, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 242-259.
- Mattessich, Richard (1964) „Accounting and Analytical Methods“, Homewood/IL: Irwin, 1964.
- Mattessich, Richard (2014) „Reality and Accounting. Ontological Explorations in the Economic and Social Sciences“, London, New York: Routledge, 2014.
- Matteuzzi, Maurizio (1995) „Why Artificial Intelligence is not a Science“, in: *Stanford Humanities Review*, Vol. 4, No. 2, 1995.
- Matthes, Dirk (2011) „Enterprise Architecture Frameworks Kompendium“, Heidelberg et al.: Springer, 2011.
- Matthews, Gareth B. (1996) „Aristotle on Life“, in: „The Philosophy of Artificial Life“, ed. by Boden, Margaret A., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 303-313.
- Mattiasson, Bo; Ertürk, Gizem (2017) „Why Using Molecularly Imprinted Polymers in Connection to Biosensors?“, in: *Sensors*, Vol. 17, No. 2 (246), 2017, pp. 1-5.
- Maturana, Humberto R. (1980a) „Introduction“, in: „Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living“, ed. by Maturana, Humberto R.; Varela, Francisco J., Dordrecht et al.: D. Reidel, 1980, pp. xi-xxx.
- Maturana, Humberto R. (1980b) „Biology of Cognition“, in: „Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living“, ed. by Maturana, Humberto R.; Varela, Francisco J., Repr. 1970, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1980, pp. 1-58.
- Maturana, Humberto R. (1994) „Was ist Erkennen? Die Welt entsteht im Auge des Betrachters“, München et al.: Piper, 1994.
- Maturana, Humberto R.; Varela, Francisco J. (1980) „Autopoiesis. The Organization of the Living“, in: „Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living“, ed. by Maturana, Humberto R.; Varela, Francisco J., Repr. 1973, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1980, pp. 59-138.
- Maturana, Humberto R.; Varela, Francisco J. (1987) „Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens“, Bern, München: Scherz, 1987.
- Maturana, Humberto R.; Varela, Francisco J. (eds.) (1980) „Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1980.
- Maur, Eitel von (2009) „Konstruktivismus und Wirtschaftsinformatik - Begriffsver(w)irrungen“, in: „Wissenschaftstheorie und gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik“, hrsg. v. Becker, Jörg et al., Heidelberg: Physica, 2009, S. 133-159.
- Mauricio-Moreno, H.; Miranda, J.; Chavarría, D.; Ramírez-Cadena, M.; Molina, A. (2015) „Design S3-RF (Sustainable x Smart x Sensing - Reference Framework) for the Future Manufacturing Enterprise“, in: *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48, No. 3, 2015, pp. 58-63.
- Maurin, Anna-Sofia (2002) „If Tropes“, Dordrecht: Kluwer, 2002.
- Mauthner, Fritz (1910) „Wörterbuch der Philosophie. Neue Beiträge zu einer Kritik der Sprache“, Bd. 1, München et al.: Müller et al., 1910.

Bibliographie

- Maxwell, J. Clerk (1868) „On Governors“, in: Proceedings of the Royal Society of London, Vol. 16, 1868, pp. 270-283.
- Maxwell, J. Clerk (1873) „A Treatise on Electricity and Magnetism“, London: Macmillan, 1873.
- Maynard Smith, John (1994) „The Major Transitions in Evolution“, in: „Complexity. Metaphors, Models, and Reality“, ed. by Cowan, George A.; Pines, David; Meltzer, David, Santa Fe Institute, Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings Vol. 19, Reading/Mass.: Perseus Books, 1994, pp. 457-470.
- Mayo, Bernard (1961) „Objects, Events, and Complementarity“, in: Philosophical Review, Vol. 70, No. 3, 1961, pp. 340-361.
- Mayr, Ernst (1959) „Isolation as an Evolutionary Factor“, in: Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 103, No. 2, 1959, pp. 221-230.
- Mayr, Ernst (1961) „Cause and Effect in Biology“, in: Science (America), Vol. 134, No. 3489, 1961, pp. 1501-1506.
- Mayr, Ernst (1967) „Artbegriff und Evolution“, (dt. Übers. v. 'Animal Species and Evolution', Cambridge/Mass.: The Belknap Pr. of Harvard Univ. Pr., 1963), Hamburg, Berlin: Parey, 1967.
- Mayr, Ernst (1974a) „Behavior Programs and Evolutionary Strategies“, in: American Scientist, Vol. 62, No. 6, 1974, pp. 650-659.
- Mayr, Ernst (1974b) „Teleological and Teleonomic, a New Analysis“, in: „Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 14: Methodological and Historical Essays in the Natural and Social Sciences“, ed. by Cohen, Robert S.; Wartofsky, Marx W., Dordrecht, Boston: Reidel, 1974, pp. 91-117.
- Mayr, Ernst (1978) „Origin and History of Some Terms in Systematic and Evolutionary Biology“, in: Systematic Zoology, Vol. 27, No. 1, 1978, pp. 83-88.
- Mayr, Ernst (1979) „Evolution und die Vielfalt des Lebens“, Berlin et al.: Springer, 1979.
- Mayr, Ernst (1982) „The Growth of Biological Thought. Diversity, Evolution, and Inheritance“, Cambridge/Mass., London: The Belknap Pr. of Harvard Univ. Pr., 1982.
- Mayr, Ernst (1985) „How Biology Differs from the Physical Sciences“, in: „Evolution at a Crossroads: The New Biology and the New Philosophy of Science“, ed. by Depew, David J.; Weber, Bruce H., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1985, pp. 43-63.
- Mayr, Ernst (1988) „Die Darwinsche Revolution und die Widerstände gegen die Selektionstheorie“, in: „Die Herausforderung der Evolutionsbiologie“, hrsg. v. Meier, Heinrich, München, Zürich: Piper, 1988, S. 221-249.
- Mayr, Ernst (1991) „Eine neue Philosophie der Biologie“, München, Zürich: Piper, 1991.
- Mayr, Ernst (1992) „The Idea of Teleology“, in: Journal of the History of Ideas, Vol. 53, No. 1, 1992, pp. 117-135.
- Mayr, Ernst (1997) „This is Biology. The Science of the Living World“, 8th Pr., Cambridge/Mass., London: The Belknap Pr. of Harvard Univ. Pr., 2001.
- Mayr, Ernst (1998) „The Multiple Meanings of 'Teleological'“, in: History and Philosophy of the Life Sciences, Vol. 20, No. 1, 1998, pp. 35-40.
- Mayr, Ernst (2002) „Die Autonomie der Biologie“, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 55. Jg., Nr. 1, 2002, S. 23-29.
- Mayr, Ernst; Provine, William B. (1981) „The Evolutionary Synthesis“, in: Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences, Vol. 34, No. 8, 1981, pp. 17-32.
- Mayrhofer, Dieter; Huemer, Christian (2012) „Extending the REA-DSL by the Planning Layer of the REA Ontology“, in: „Advanced Information Systems Engineering Workshops“, ed. by Bajec, Marko; Eder, Johann, CAiSE 2012 International Workshops, Gdansk, Poland, June 25-26, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 543-554.
- Mays, Wolfe (1945/46) „Whitehead's Account of 'Speculative Philosophy' in Process and Reality“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, N.S., Vol. 46, 1945/46, pp. 17-46.
- Mays, Wolfe (1953) „The First Circuit for an Electrical Logic-Machine“, in: Science, N.S., Vol. 118, No. 3062, 1953, pp. 281-282.
- Mays, Wolfe (1955) „Determinism and Free Will in Whitehead“, in: Philosophy and Phenomenological Research, Vol. 15, No. 4, 1955, pp. 523-534.
- Mays, Wolfe (1959) „The Philosophy of Whitehead“, London: Allen & Unwin, 1959.
- Mays, Wolfe (1961) „The Relevance of 'on Mathematical Concepts of the Material World' to Whitehead's Philosophy“, in: „The Relevance of Whitehead“, ed. by Leclerc, Ivor, London: Allen & Unwin, 1961, pp. 235-260.

Bibliographie

- Mays, Wolfe (1962) „Whitehead's Philosophy of Science, by Robert M. Palter (Review)“, in: *Philosophical Quarterly*, Vol. 12, No. 47, 1962, pp. 188-189.
- Mays, Wolfe (1970) „Whitehead and the Philosophy of Time“, in: *Studium Generale*, Vol. 23, 1970, pp. 509-524.
- Mays, Wolfe (1977) „Whitehead's Philosophy of Science and Metaphysics“, The Hague: Nijhoff, 1977.
- Mays, Wolfe (1996) „Mind and the Machine“, in: *Journal of the British Society for Phenomenology*, Vol. 27, No. 1, 1996, pp. 92-102.
- Mays, Wolfe (2000) „Turing and Polanyi on Minds and Machines“, in: *Appraisal*, Vol. 3, October, 2000, pp. 55-62.
- Mays, Wolfe; Henry, Desmond P. (1953) „Jevons and Logic“, in: *Mind*, Vol. 62, No. 248, 1953, pp. 484-505.
- Mays, Wolfe; Prinz, Dietrich G. (1950) „A Relay Machine for the Demonstration of Symbolic Logic“, in: *Nature*, Vol. 165, 04 February, 1950, pp. 197-198.
- Mazanek, Steffen; Hanus, Michael (2011) „Constructing a Bidirectional Transformation between BPMN and BPEL with a Functional Logic Programming Language“, in: *Journal of Visual Languages & Computing*, Vol. 22, No. 1, 2011, pp. 66-89.
- McCall, Storrs; Lowe, E. Jonathan (2003) „3D/4D Equivalence, the Twins Paradox and Absolute Time“, in: *Analysis*, Vol. 63, No. 2, 2003, pp. 114-123.
- McCall, Storrs; Lowe, E. Jonathan (2006) „The 3D/4D Controversy: A Storm in a Teacup“, in: *Noûs*, Vol. 40, No. 3, 2006, pp. 570-578.
- McCarthy, Ian P. (2003) „Technology Management - A Complex Adaptive Systems Approach“, in: *International Journal of Technology Management*, Vol. 25, No. 8, 2003, pp. 728-745.
- McCarthy, Ian P.; Menicou, Michalis (2002) „A Classification Schema of Manufacturing Decisions for the GRAI Enterprise Modelling Technique“, in: *Computers in Industry*, Vol. 47, 2002, pp. 339-355.
- McCarthy, John (1963a) „A Basis for a Mathematical Theory of Computation“, in: *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, Vol. 35, 1963, pp. 33-70.
- McCarthy, John (1963b) „Situations and Actions and Causal Laws“, Stanford Univ./CA, Stanford Artificial Intelligence Project, Memo No. 2, 1963.
- McCarthy, John (1963c) „Towards a Mathematical Science of Computation“, ed. by Popplewell, Cicely M., *Information Processing 1962: Proceedings of DFIP Congress 62*, Amsterdam: North-Holland, 1963, pp. 21-28.
- McCarthy, John (1968) „Programs with Common Sense“, in: „*Semantic Information Processing*“, ed. by Minsky, Marvin L., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1968, pp. 403-418.
- McCarthy, John (1977) „Epistemological Problems of Artificial Intelligence“, *IJCAI'77 Proceedings of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence - Vol. 2*, San Francisco/CA: Morgan Kaufmann, 1977, pp. 1038-1044.
- McCarthy, John (1979) „Ascribing Mental Qualities to Machines“, in: „*Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence*“, ed. by Ringle, Martin, Brighton: The Harvester Pr., 1979, pp. 161-195.
- McCarthy, John (1980) „Circumscription - A Form of Non-Monotonic Reasoning“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 13, No. 1-2, 1980, pp. 27-39.
- McCarthy, John (1984) „Some Expert Systems Need Common Sense“, in: „*Formalizing Common Sense*“, ed. by Lifschitz, Vladimir, Repr., Norwood/NJ: Ablex, 1990, pp. 189-197.
- McCarthy, John (1987) „Generality in Artificial Intelligence“, in: „*Formalizing Common Sense*“, ed. by Lifschitz, Vladimir, Repr., Norwood/NJ: Ablex, 1990, pp. 226-236.
- McCarthy, John (1988) „Mathematical Logic in Artificial Intelligence“, in: „*Formalizing Common Sense*“, ed. by Lifschitz, Vladimir, Repr., Norwood/NJ: Ablex, 1990, pp. 237-249.
- McCarthy, John (1993) „Notes on Formalizing Context“, *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, Chambéry, France, 28 August - 3 September, 1993, pp. 555-562.
- McCarthy, John (1995) „What has AI in Common with Philosophy?“, *Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95)*, Vol. 2, ed. by Mellish, Chris S., Montréal, Québec/Canada, August 20-25, 1995, pp. 2041-2042.
- McCarthy, John (1999) „Philosophical and Scientific Presuppositions of Logical AI“, in: „*Logical Foundations for Cognitive Agents*“, ed. by Levesque, Hector J.; Pirri, Fiora, Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 72-78.
- McCarthy, John (2000) „Concepts of Logical AI“, in: „*Logic-Based Artificial Intelligence*“, ed. by Minker, Jack, New York: Springer, 2000, pp. 37-56.

Bibliographie

- McCarthy, John (2002) „Actions and Other Events in Situation Calculus“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Fensel, Dieter et al., Proceedings of the Eighth International Conference (KR2002), Toulouse, France, April 22-25, 2002, San Francisco/Calif.: Morgan Kaufmann, 2002, pp. 615-628.
- McCarthy, John (2007) „From Here to Human-Level AI“, in: Artificial Intelligence, Vol. 171, No. 18, 2007, pp. 1174-1182.
- McCarthy, John (2008) „The Philosophy of AI and the AI of Philosophy“, in: „Philosophy of Information“, ed. by Adriaans, Pieter; Van Benthem, Johan, Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 711-740.
- McCarthy, John; Hayes, Patrick J. (1969) „Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence“, in: „Machine Intelligence 4“, ed. by Meltzer, Bernard; Michie, Donald; Swann, Michael, New York: American Elsevier, 1969, pp. 463-502.
- McCarthy, John; Minsky, Marvin L.; Rochester, N.; Shannon, Claude E. (1955) „A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence“, 1955.
- McCarthy, William E. (1977) „A Relational Model for Events-Based Accounting Systems“, Univ. of Massachusetts, Diss., Ann Arbor/Mich.: UMI, 1977.
- McCarthy, William E. (1979) „An Entity-Relationship View of Accounting Models“, in: The Accounting Review, Vol. 54, No. 4, 1979, pp. 667-686.
- McCarthy, William E. (1980) „Construction and Use of Integrated Accounting Systems with Entity-Relationship Modeling“, in: „Entity-Relationship Approach to Systems Analysis and Design“, ed. by Chen, Peter P., Proceedings of the 1st International Conference on the Entity-Relationship Approach to Systems Analysis and Design, Amsterdam: North-Holland, 1980, pp. 625-637.
- McCarthy, William E. (1982) „The REA Accounting Model: A Generalized Framework for Accounting Systems in a Shared Data Environment“, in: The Accounting Review, Vol. 57, No. 3, 1982, pp. 554-578.
- McCarthy, William E. (1999) „Semantic Modeling in Accounting Education, Practice, and Research: Some Progress and Impediments“, in: „Conceptual Modeling. Current Issues and Future Directions“, ed. by Chen, Peter P. et al., Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 144-153.
- McCarthy, William E. (2003) „The REA Modeling Approach to Teaching Accounting Information Systems“, in: Issues in Accounting Education, Vol. 18, No. 4, 2003, pp. 427-441.
- McCarthy, William E. (2005) „The Integration of an Accounting Domain Ontology (REA) with an Upper Ontology (SUMO)“, Ontolog invited Speaker Presentation, 2005-03-17, 2005.
- McCool, Rob (2005) „Rethinking the Semantic Web, Part 1“, in: IEEE Internet Computing, Vol. 9, No. 6, 2005, pp. 87-88.
- McCool, Rob (2006) „Rethinking the Semantic Web, Part 2“, in: IEEE Internet Computing, Vol. 10, No. 1, 2006, pp. 93-96.
- McCulloch, Warren S. (1954) „Through the Den of the Metaphysician“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 5, No. 17, 1954, pp. 18-31.
- McCulloch, Warren S. (1965) „Embodiments of Mind“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1965.
- McCulloch, Warren S.; Pitts, Walter (1943) „A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity“, in: Bulletin of Mathematical Biophysics, Vol. 5, 1943, pp. 115-133.
- McCusker, James P.; Luciano, Joanne; McGuinness, Deborah L. (2011) „Towards an Ontology for Conceptual Modeling“, ed. by Bodenreider, Olivier et al., ICBO-2011, International Conference on Biomedical Ontology, Proceedings of the 2nd International Conference on Biomedical Ontology, Buffalo, NY, USA, July 26-30, 2011, pp. 191-199.
- McCutcheon, David M.; Raturi, Amitabh S.; Meredith, Jack R. (1994) „The Customization-Responsiveness Squeeze“, in: Sloan Management Review, Vol. 35, No. 2, 1994, pp. 89-99.
- McDaniel, Kris (2004) „Modal Realism with Overlap“, in: Australasian Journal of Philosophy, Vol. 82, No. 1, 2004, pp. 137-152.
- McDermott, Drew (1987a) „A Critique of Pure Reason“, in: Computational Intelligence, Vol. 3, No. 1, 1987, pp. 151-160.
- McDermott, Drew (1987b) „We've Been Framed: Or, Why AI Is Innocent of the Frame Problem“, in: „The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1987, pp. 113-122.
- McDermott, Drew (1987c) „AI, Logic and the Frame Problem“, in: „The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Brown, Frank M., Proceedings of the 1987 Workshop, Los Altos/CA: Morgan Kaufmann, 1987, pp. 105-118.
- McDonald, Craig (2002) „Information Systems Foundations - Karl Popper's Third World“, in: Australasian Journal of Information Systems, Vol. 10, No. 1, 2002, pp. 59-69.

Bibliographie

- McDonald, Craig (2012) „Theory: An Informatics Perspective“, in: „Information Systems Foundations: Theory Building in Information Systems“, ed. by Hart, Dennis N.; Gregor, Shirley D., Canberra: ANU E Pr., 2012, pp. 253-262.
- McDougall, Derek A. (1973) ‚Descriptive‘ and ‚Revisionary‘ Metaphysics“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 34, No. 2, 1973, pp. 209-223.
- McEwen, Adrian; Cassimally, Hakim (2014) „Designing the Internet of Things“, Chichester et al.: Wiley, 2014.
- McFarlane, Duncan C.; Bussmann, Stefan (2003) „Holonc Manufacturing Control: Rationales, Developments and Open Issues“, in: „Agent-Based Manufacturing. Advances in the Holonic Approach“, ed. by Deen, Sayeed Misbah, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 303-326.
- McFarlane, Duncan C.; Giannikas, Vaggelis; Wong, Alex C.Y.; Harrison, Mark (2013a) „Intelligent Products in the Supply Chain - 10 Years on“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 103-117.
- McFarlane, Duncan C.; Giannikas, Vaggelis; Wong, Alex C.Y.; Harrison, Mark (2013b) „Product Intelligence in Industrial Control: Theory and Practice“, in: *Annual Reviews in Control*, Vol. 37, 2013, pp. 69-88.
- McHenry, Leemon B. (1986) „The Axiomatic Matrix of Whitehead's Process and Reality“, in: *Process Studies*, Vol. 15, No. 3, 1986, pp. 172-180.
- McHenry, Leemon B. (1997) „Quine and Whitehead: Ontology and Methodology“, in: *Process Studies*, Vol. 26, No. 1-2, 1997, pp. 2-12.
- McHenry, Leemon B. (2015) „The Event Universe. The Revisionary Metaphysics of Alfred North Whitehead“, Edinburgh: Edinburgh Univ. Pr., 2015.
- McIntyre, Lee C. (1998) „Complexity: A Philosopher's Reflections“, in: *Complexity*, Vol. 3, No. 6, 1998, pp. 26-32.
- McKelvey, Bill (1999a) „Self-Organization, Complexity Catastrophe, and Microstate Models at the Edge of Chaos“, in: „Variations in Organization Science: In Honor of Donald T. Campbell“, ed. by Baum, Joel A.C.; McKelvey, Bill, Thousand Oaks/CA et al.: Sage, 1999, pp. 279-307.
- McKelvey, Bill (1999b) „Avoiding Complexity Catastrophe in Coevolutionary Pockets: Strategies for Rugged Landscapes“, in: *Organization Science*, Vol. 10, No. 3, Special Issue: Application of Complexity Theory to Organization Science, 1999, pp. 294-321.
- McKelvey, Bill (1999c) „Complexity Theory in Organization Science: Seizing the Promise or Becoming a Fad?“, in: *Emergence*, Vol. 1, No. 1, 1999, pp. 5-32.
- McKenzie Alexander, Jason (2000) „Artificial Justice“, in: „Artificial Life VII“, ed. by Bedau, Mark A. et al., Proceedings of the Seventh International Conference on Artificial Life, Portland/OR, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 2000, pp. 513-522.
- McKinlay, Steve T. (2012) „The Floridian Notion of the Information Object“, in: „Luciano Floridi's Philosophy of Technology: Critical Reflections“, ed. by Demir, Hilmi, Dordrecht et al.: Springer, 2012, pp. 223-241.
- McKinsey (2015) „The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype“, 2015.
- McLaughlin, Brian P. (1992) „The Rise and Fall of British Emergentism“, in: „Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism“, ed. by Beckermann, Ansgar et al., Berlin, New York: De Gruyter, 1992, pp. 49-93.
- McLaughlin, Peter (2006) „Mechanical Philosophy and Artefact Explanation“, in: *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 97-101.
- McLeod, Mike; Parsons, Josh (2013) „Maclaurin and Dyke on Analytic Metaphysics“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 91, No. 1, 2013, pp. 173-178.
- McMullin, Barry (2000) „John von Neumann and the Evolutionary Growth of Complexity: Looking Backwards, Looking Forwards“, in: „Artificial Life VII“, ed. by Bedau, Mark A. et al., Proceedings of the Seventh International Conference on Artificial Life, Portland/OR, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 2000, pp. 467-476.
- McTaggart, J.M. Ellis (1908) „The Unreality of Time“, in: *Mind*, Vol. 17, 1908, pp. 457-474.
- McTaggart, J.M. Ellis (1921) „The Nature of Existence. Volume 1“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1921.
- McTaggart, J.M. Ellis (1927) „The Nature of Existence. Volume 2“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1927.
- Mead, George Herbert (1934) „Mind, Self, and Society from the Standpoint of a Social Behaviorist“, ed. by Morris, Charles W., Repr., Chicago, London: Univ. of Chicago Pr., 1967.
- Mead, George Herbert (1938) „The Philosophy of the Act“, Chicago/IL: Univ. of Chicago Pr., 1938.

Bibliographie

- Mealy, George H. (1955) „A Method for Synthesizing Sequential Circuits“, in: *Bell System Technical Journal*, Vol. 34, No. 5, 1955, pp. 1045-1079.
- Mealy, George H. (1967) „Another Look at Data“, in: *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference*, November 14-16, Anaheim, California (AFIPS Conference Proceedings, Volume 31), Washington/DC; London: Thompson Books; Academic Pr., 1967, pp. 525-534.
- Measor, Nicholas (1986) „Subjective and Objective Time“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society*, Supplementary Vol. 60, 1986, pp. 207-221.
- Meier, Andreas (1991) „Advantages of Using Features to Integrate Product and Process Modelling - Results of IMPACT (ESPRIT 2165)“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeingts, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, *Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects*, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 759-767.
- Meier, Horst; Völker, Oliver; Funke, Birgit (2011) „Industrial Product-Service Systems (IPS2). Paradigm Shift by Mutually Determined Products and Services“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 52, No. 9, 2011, pp. 1175-1191.
- Meinong, Alexius (1913) „Über Gegenstandstheorie“, in: „Abhandlungen zur Erkenntnistheorie und Gegenstandstheorie. Der Gesammelten Abhandlungen zweiter Band“, hrsg. v. Meinong, Alexius, Leipzig: Barth, 1913, S. 481-535.
- Meixner, Uwe (2004) „Einführung in die Ontologie“, Darmstadt: Wiss. Buchges., 2004.
- Meixner, Uwe (2007) „Möglichkeit und Wirklichkeit der formalen Ontologie“, in: „Metaphysik heute - Probleme und Perspektiven der Ontologie“, hrsg. v. Lutz-Bachmann, Matthias; Schmidt, Thomas M., Freiburg, München: Alber, 2007, S. 94-113.
- Mejjaoui, Sobhi; Babiceanu, Radu F. (2014) „Holonc Condition Monitoring and Fault-Recovery System for Sustainable Manufacturing Enterprises“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 31-46.
- Mellor, David H. (1981) „Real Time“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1981.
- Mellor, David H. (1998) „Real Time II“, London: Routledge, 1998.
- Melo, Stefane; Almeida, Mauricio B. (2014) „Applying Foundational Ontologies in Conceptual Modeling: A Case Study in a Brazilian Public Company“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2014 Workshops“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 577-586.
- Mendes, Carlos; Mira da Silva, Miguel (2012) „DEMO-Based Service Level Agreements“, in: „Exploring Services Science“, ed. by Snene, Mehdi, *Third International Conference, IESS 2012*, Geneva, Switzerland, February 15-17, 2012, *Proceedings*, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 227-242.
- Mensching, Günther (1992) „Das Allgemeine und das Besondere. Der Ursprung des modernen Denkens im Mittelalter“, Stuttgart: Metzler, 1992.
- Menzel, Christopher (1990) „Actualism, Ontological Commitment, and Possible World Semantics“, in: *Synthese*, Vol. 85, 1990, pp. 355-389.
- Menzel, Christopher (1993) „Possibilism and Object Theory“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 69, 1993, pp. 195-208.
- Menzel, Christopher (2003) „Reference Ontologies - Application Ontologies: Either/Or or Both/And?“, in: „Reference Ontologies and Application Ontologies“, ed. by Grenon, Pierre; Menzel, Christopher; Smith, Barry, *Proceedings of the KI2003 Workshop on Reference Ontologies and Application Ontologies*, Hamburg, Germany, September 16, 2003, 2003.
- Menzel, Christopher; Grüninger, Michael (2001) „A Formal Foundation for Process Modeling“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, *Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01)*, New York: ACM Pr., 2001, pp. 256-269.
- Menzel, Christopher; Mayer, Richard J. (1996) „Situations and Processes“, in: *Concurrent Engineering*, Vol. 4, No. 3, 1996, pp. 229-246.
- Menzel, Christopher; Mayer, Richard J. (2006) „The IDEF Family of Languages“, in: „Handbook on Architectures of Information Systems“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 215-249.
- Mercer, Christia (2001) „Leibniz's Metaphysics. Its Origins and Development“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2001.
- Meridou, Despina T.; Papadopoulou, Maria-Eleftheria Ch.; Kapsalis, Andreas P.; Kasnesis, Panagiotis et al. (2017) „Improving Quality of Life with the Internet of Everything“, in: „Beyond the Internet of Things. Everything Interconnected“, ed. by Batalla, Jordi M. et al., Cham et al.: Springer, 2017, pp. 377-408.

Bibliographie

- Merkle, Nicole (2016) „Distributed Context-Aware Applications by Means of Web of Things and Semantic Web Technologies“, in: „The Semantic Web. Latest Advances and New Domains“, ed. by Sack, Harald et al., 13th International Conference, ESWC 2016, Heraklion, Crete, Greece, May 29 -- June 2, 2016, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 824-833.
- Merleau-Ponty, Maurice (1962) „Phenomenology of Perception“, Repr., London et al.: Routledge, 2010.
- Merminod, Valéry; Rowe, Frantz (2011) „How PLM Influences Knowledge Integration in New Product Development: A Set-theoretic Approach for Causal Analysis“, Proceedings of ECIS, 2011.
- Merminod, Valéry; Rowe, Frantz (2012) „How does PLM Technology Support Knowledge Transfer and Translation in New Product Development? Transparency and Boundary Spanners in an International Context“, in: Information and Organization, Vol. 22, No. 4, 2012, pp. 295-322.
- Meroni, Giovanni (2015) „Integrating the Internet of Things with Business Process Management: A Process-aware Framework for Smart Objects“, in: „CAISE-DC 2015“, ed. by Loucopoulos, Pericles et al., Proceedings of the CAiSE'2015 Doctoral Consortium at the 27th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE 2015), Stockholm/Sweden, June 11-12, 2015, pp. 56-64.
- Merricks, Trenton D. (1994a) „Endurance and Indiscernibility“, in: Journal of Philosophy, Vol. 91, No. 4, 1994, pp. 165-184.
- Merricks, Trenton D. (1994b) „Enduring Objects“, Ph.D. diss., Univ. of Notre Dame, 1994.
- Merricks, Trenton D. (1995) „On the Incompatibility of Enduring and Perduring Entities“, in: Mind, N.S., Vol. 104, No. 415, 1995, pp. 523-531.
- Merricks, Trenton D. (1999) „Persistence, Parts, and Presentism“, in: Noûs, Vol. 33, No. 3, 1999, pp. 421-438.
- Merricks, Trenton D. (2003) „The End of Counterpart Theory“, in: Journal of Philosophy, Vol. 100, No. 10, 2003, pp. 521-549.
- Merricks, Trenton D. (2007) „Truth and Ontology“, Oxford et al.: Clarendon Pr., 2007.
- Merrill, Gary H. (2007) „Engineering a Development Platform for Ontology-Enhanced Knowledge Applications“, in: „Ontologies. A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems“, ed. by Sharman, Raj et al., Boston/Mass.: Springer, 2007, pp. 777-822.
- Merrill, Gary H. (2010a) „Ontological Realism: Methodology or Misdirection?“, in: Applied Ontology, Vol. 5, No. 2, 2010, pp. 79-108.
- Merrill, Gary H. (2010b) „Realism and Reference Ontologies: Considerations, Reflections and Problems“, in: Applied Ontology, Vol. 5, No. 3-4, 2010, pp. 189-221.
- Mertins, Kai; Süssenguth, Wolfram; Jochem, Roland (1991) „Integrated Information Modelling for CIM: An Object-Oriented Method for Integrated Enterprise Modelling“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeingts, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 315-323.
- Mertz, Donald W. (1996) „Moderate Realism and Its Logic“, New Haven, London: Yale Univ. Pr., 1996.
- Mertz, Donald W. (2011) „Attribute Instances? The First Ontic Category“, in: „Ontological Categories“, ed. by Cumpa, Javier; Tegtmeier, Erwin, Frankfurt/Main: Ontos, 2011, pp. 127-152.
- MESA (2008) „SOA in Manufacturing Guidebook“, Whitepaper 27, 2008.
- Mesihovic, Samir; Malmqvist, Johan; Pikosz, Peter (2004) „Product Data Management System-based Support for Engineering Project Management“, in: Journal of Engineering Design, Vol. 15, No. 4, 2004, pp. 389-403.
- Messaadia, Mourad; Belkadi, Farouk; Gidel, Thierry; Troussier, Nadège; Eynard, Benoit (2010) „PLM as a Strategic Approach Supporting Requirements Management Process“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 575-586.
- Metzinger, Thomas; Gallese, Vittorio (2003) „The Emergence of a Shared Action Ontology: Building Blocks for a Theory“, in: Consciousness and Cognition, Vol. 12, No. 4, 2003, pp. 549-571.
- Metzke, Tobias; Rogge-Solti, Andreas; Baumgrass, Anne; Mendling, Jan; Weske, Mathias (2014) „Enabling Semantic Complex Event Processing in the Domain of Logistics“, in: „Service-Oriented Computing - ICSSOC 2013 Workshops“, ed. by Lomuscio, Alessio R. et al., CCSA, CSB, PASCEB, SWESE, WESOA, and PhD Symposium, Berlin, Germany, December 2-5, 2013, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 419-431.
- Meyer, Gerben G.; Främling, Kary; Holmström, Jan (2009) „Intelligent Products: A Survey“, in: Computers in Industry, Vol. 60, No. 3, 2009, pp. 137-148.

Bibliographie

- Meyer, Jean-Arcady; Guillot, Agnes (1991) „Simulation of Adaptive Behavior in Animats: Review and Prospect“, in: „From Animals to Animats: Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour, Paris, 1990“, ed. by Meyer, Jean-Arcady; Wilson, Stewart W., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1991, pp. 2-14.
- Meyer, Sonja; Ruppen, Andreas; Magerkurth, Carsten (2013) „Internet of Things-Aware Process Modeling: Integrating IoT Devices as Business Process Resources“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Salinesi, Camille et al., 25th International Conference, CAiSE 2013, Valencia, Spain, June 17-21, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 84-98.
- Mezei, Balázs M.; Smith, Barry (1998) „The Four Phases of Philosophy“, Amsterdam et al.: Rodopi, 1998.
- Mezgár, István; Kincses, Zoltán (2007) „Development of an Ontology-Based Smart Card System Reference Architecture. Interoperability based on Ontology Concept“, in: „Ontologies. A Handbook of Principles, Concepts and Applications in Information Systems“, ed. by Sharman, Raj et al., Boston/Mass.: Springer, 2007, pp. 841-863.
- Michalik, Peter; Stofa, Ján; Zolotová, Iveta (2013) „The Use of BPMN for Modelling the MES Level in Information and Control Systems“, in: Quality Innovation Prosperity, Vol. 17, No. 1, 2013, pp. 39-47.
- Michalski, Ryszard S. (1986) „Understanding the Nature of Learning: Issues and Research Directions“, in: „Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach: Volume II“, ed. by Michalski, Ryszard S. et al., Los Altos/CA: Morgan Kaufmann, 1986, pp. 3-25.
- Michelson, Brenda M. (2006) „Event-Driven Architecture Overview. Event-Driven SOA Is Just Part of the EDA Story“, White Paper, Patricia Seybold Group Inc., 2006.
- Mickeviciute, Egle; Butleris, Rimantas (2013) „Towards the Combination of BPMN Process Models with SBVR Business Vocabularies and Rules“, in: „Information and Software Technologies“, ed. by Skersys, Tomas et al., 19th International Conference, ICIST 2013 Kaunas, Lithuania, October 10-11, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 114-121.
- Mika, Peter (2007) „Ontologies are Us: A Unified Model of Social Networks and Semantics“, in: Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Vol. 5, No. 1, 2007, pp. 5-15.
- Mika, Peter; Oberle, Daniel; Gangemi, Aldo; Sabou, Marta (2004) „Foundations for Service Ontologies: Aligning OWL-S to DOLCE“, WWW '04 Proceedings of the 13th Int. Conference on World Wide Web, New York/NY: ACM, 2004, pp. 563-572.
- Mikusz, Martin (2014) „Towards an Understanding of Cyber-Physical Systems as Industrial Software-Product-Service Systems“, in: Procedia CIRP, Vol. 16, 2014, pp. 385-389.
- Milano, Diego; Scannapieco, Monica; Catarci, Tiziana (2005) „Using Ontologies for XML Data Cleaning“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 562-571.
- Milgram, Paul; Takemura, Haruo; Utsumi, Akira; Kishino, Fumio (1995) „Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum“, Proceedings of SPIE, 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies, 1995, pp. 282-292.
- Milicic, Ana; Perdikakis, Apostolos; El Kadiri, Soumaya; Kiritsis, Dimitris (2013) „PLM Ontology Exploitation through Inference and Statistical Analysis. A Case Study for LCC“, in: IFAC Proceedings Volumes, Vol. 46, No. 9, 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, International Federation of Automatic Control, June 19-21, 2013, Saint Petersburg/Russia, 2013, pp. 1004-1008.
- Milicic, Ana; Perdikakis, Apostolos; El Kadiri, Soumaya; Kiritsis, Dimitris; Ivanov, Petko (2012) „Towards the Definition of Domain Concepts and Knowledge through the Application of the User Story Mapping Method“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 58-69.
- Mill, John Stuart (1843) „A System of Logic, Ratiocinative and Inductive, Being a Connected View of the Principles of Evidence, and the Methods of Scientific Investigation“, 3rd ed. (2 Vols.), London: Parker, 1851.
- Miller, Alexander (2003) „The Significance of Semantic Realism“, in: Synthese, Vol. 136, No. 2, 2003, pp. 191-217.
- Miller, David (1977) „The Uniqueness of Atomic Facts in Wittgenstein's Tractatus“, in: Theoria, Vol. 43, No. 3, 1977, pp. 174-185.
- Miller, George A. (1995) „WordNet: A Lexical Database for English“, in: Communications of the ACM, Vol. 38, No. 11, 1995, pp. 39-41.

Bibliographie

- Miller, George A.; Beckwith, Richard; Fellbaum, Christiane; Grass, Derek; Miller, Katherine A. (1990) „Introduction to WordNet: An On-line Lexical Database“, in: *International Journal of Lexicography*, Vol. 3, No. 4, 1990, pp. 235-244.
- Miller, H. Gilbert; Mork, Peter (2013) „From Data to Decisions: A Value Chain for Big Data“, in: *IT Professional*, Vol. 15, No. 1, 2013, pp. 57-59.
- Miller, John A.; Baramidze, Gregory T.; Sheth, Amit P.; Fishwick, Paul A. (2004) „Investigating Ontologies for Simulation Modeling“, in: *ANSS '04 Proceedings of the 37th Annual Symposium on Simulation*, 2004, pp. 55-63.
- Miller, John A.; Baramidze, Gregory T.; Sheth, Amit P.; Silver, Gregory A.; Fishwick, Paul A. (2008) „Ontologies for Modeling and Simulation: An Initial Framework“, 2008.
- Mills, John J.; Goossenaerts, Jan B.M. (2005) „Using Contexts in Managing Product Knowledge“, in: „Knowledge and Skill Chains in Engineering and Manufacturing“, ed. by Arai, Eiji et al., *Fifth International Working Conference of Information Infrastructure Systems for Manufacturing 2002 (DIIDM2002)*, November 18-20, 2002, Osaka/Japan, New York/NY: Springer, 2005, pp. 57-65.
- Milner, Robin (2006) „Turing, Computing and Communication“, in: „Interactive Computation: The New Paradigm“, ed. by Goldin, Dina et al., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 1-8.
- Milosevic, Zoran; Almeida, João Paulo A.; Nardi, Julio Cesar (2014) „Towards Better Semantics for Services in eHealth Standards: A Reference Ontology Approach“, *IEEE 18th International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops and Demonstrations*, Ulm, 1-2 Sept., 2014, pp. 276-285.
- Milton, Simon K. (2004) „Top-Level Ontology: The Problem with Naturalism“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, *Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004)*, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 85-94.
- Milton, Simon K. (2007) „Ontological Foundations of Representational Information Systems“, in: *Scandinavian Journal of Information Systems*, Vol. 19, No. 1, 2007, pp. 109-134.
- Milton, Simon K.; Johnston, Robert B.; Lederman, Reeve M. (2005) „Lessons Learned from Manual Systems: Designing Information Systems based on the Situational Theory of Agency“, in: „Information Systems Foundations: Constructing and Criticising“, ed. by Hart, Dennis N.; Gregor, Shirley D., Canberra: ANU E Pr., 2005, pp. 165-178.
- Milton, Simon K.; Kazmierczak, Edmund (2000) „Enriching the Ontological Foundations of Modelling in Information Systems“, ed. by Dampney, Kit, *Proceedings of the Information Systems Foundations Workshop: Ontology, Semiotics and Practice 1999*, Macquarie University, Sydney, NSW, 2000, pp. 55-65.
- Milton, Simon K.; Kazmierczak, Edmund (2004) „An Ontology of Data Modelling Languages: A Study Using a Common-Sense Realistic Ontology“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 15, No. 2, 2004, pp. 19-38.
- Milton, Simon K.; Kazmierczak, Edmund (2006) „Ontology as Meta-Theory: A Perspective“, in: *Scandinavian Journal of Information Systems*, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 85-94.
- Milton, Simon K.; Kazmierczak, Edmund; Keen, Chris (1998) „Comparing Data Modelling Frameworks Using Chisholm's Ontology“, *Proceedings of the Sixth European Conference on Information Systems, ECIS 1998*, Aix-en-Provence, France, Vol. I, 1998, pp. 260-272.
- Milton, Simon K.; Kazmierczak, Edmund; Keen, Chris (2002) „On the Study of Data Modelling Languages using Chisholm's Ontology“, Working Paper, 2002.
- Mineau, Guy W.; Missaoui, Rokia; Godinx, Robert (2000) „Conceptual Modeling for Data and Knowledge Management“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 33, 2000, pp. 137-168.
- Ming, X.G.; Yan, J.Q.; Wang, X.H.; Li, S.N.; Lu, W.F.; Peng, Q.J.; Ma, Y.S. (2008) „Collaborative Process Planning and Manufacturing in Product Lifecycle Management“, in: *Computers in Industry*, Vol. 59, No. 2-3, 2008, pp. 154-166.
- Minoli, Daniel (2008) „Enterprise Architecture A to Z: Frameworks, Business Process Modeling, SOA, and Infrastructure Technology“, Boca Raton/FL et al.: CRC Pr., 2008.
- Minsky, Marvin L. (1961) „Steps Toward Artificial Intelligence“, 1961, pp. 8-30.
- Minsky, Marvin L. (1968a) „Introduction“, in: „Semantic Information Processing“, ed. by Minsky, Marvin L., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1968, pp. 1-32.
- Minsky, Marvin L. (1968b) „Descriptive Languages and Problem Solving“, in: „Semantic Information Processing“, ed. by Minsky, Marvin L., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1968, pp. 419-432.
- Minsky, Marvin L. (1968c) „Matter, Mind, and Models“, in: „Semantic Information Processing“, ed. by Minsky, Marvin L., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1968, pp. 425-432.
- Minsky, Marvin L. (1974) „A Framework for Representing Knowledge“, MIT-AI Laboratory Memo 306, June, 1974.

Bibliographie

- Minsky, Marvin L. (1982) „Cellular Vacuum“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, Nos 6/7, 1982, pp. 537-552.
- Minsky, Marvin L. (1986) „The Society of Mind“, New York: Simon and Schuster, 1986.
- Minsky, Marvin L. (1997) „How Computer Science will Change Our Lives“, in: „Artificial Life V. Proceedings of the Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Langton, Christopher G.; Shimohara, Katsunori, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1997, p. 25.
- Minsky, Marvin L.; Papert, Seymour A. (1969) „Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1969.
- Minton, Steven; Carbonell, Jaime G.; Knoblock, Craig A.; Kuokka, Daniel R.; Etzioni, Oren; Gil, Yolanda (1989) „Explanation-based Learning: A Problem Solving Perspective“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 40, No. 1-3, 1989, pp. 63-118.
- Miorandi, Daniele; Sicari, Sabrina; De Pellegrini, Francesco; Chlamtac, Imrich (2012) „Internet of Things: Vision, Applications and Research Challenges“, in: *Ad Hoc Networks*, Vol. 10, No. 7, 2012, pp. 1497-1516.
- Miraz, Mahdi H.; Ali, Maaruf; Excell, Peter S.; Picking, Rich (2015) „A Review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT)“, *Internet Technologies and Applications (ITA)*, 8-11 Sept., 2015, pp. 219-224.
- Missbach, Michael (2003) „Adaptive Infrastrukturen für Real-Time Enterprises“, in: „Real-Time Enterprise. Mit beschleunigten Managementprozessen Zeit und Kosten sparen“, hrsg. v. Scheer, August-Wilhelm et al., Berlin et al.: Springer, 2003, S. 123-137.
- Missier, Paolo; Preece, Alun; Embury, Suzanne; Jin, Binling et al. (2005) „Managing Information Quality in e-Science: A Case Study in Proteomics“, in: „Perspectives in Conceptual Modeling“, ed. by Akoka, Jacky et al., ER 2005 Workshop AOIS, BP-UML, CoMoGIS, eCOMO, and QoIS, Klagenfurt, Austria, October 24-28, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 423-432.
- Missikoff, Michele; Proietti, Maurizio; Smith, Fabrizio (2010) „Linking Ontologies to Business Process Schemas“, *Collana dei Rapporti dell'Istituto di Analisi dei Sistemi ed Informatica 'Antonio Ruberti'*, CNR, Roma, Italy, R.10-20, 2010.
- Mitcham, Carl; Schatzberg, Eric (2009) „Defining Technology and the Engineering Sciences“, in: „Handbook of Philosophy of Technology and Engineering Sciences“, ed. by Meijers, Anthonie, Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 27-63.
- Mitchell, Sandra D. (2008) „Komplexitäten. Warum wir erst anfangen, die Welt zu verstehen“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 2008.
- Mitchell, Tom M. (1990) „Becoming Increasingly Reactive“, *Proceedings of the 8th National AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Boston/Mass., July 29 - August 3, 1990, 2 Vols., 1990, pp. 1051-1058.
- Mitchell, Tom M. (1997) „Machine Learning“, Boston/Mass.: McGraw-Hill, 1997.
- Mitchell, Tom M.; Allen, John; Chalasani, Prasad; Cheng, John; Etzioni, Oren; Ringuette, Marc; Schlimmer, Jeffrey C. (1991) „Theo: A Framework for Self-Improving Systems“, in: „Architectures for Intelligence“, ed. by VanLehn, Kurt, Hillsdale/NJ et al.: Lawrence Erlbaum, 1991, pp. 323-355.
- Mitsugi, Jin; Inaba, Tatsuya; Pátkai, Béla; Theodorou, Lila; Sung, Jongwoo; Sánchez López, Tomás; Kim, Daeyoung et al. (2007) „Architecture Development for Sensor Integration in the EPCglobal Network“, *Auto-ID Labs White Paper WP-SWNET-018*, 2007.
- Mittelstaedt, Peter (1959) „Untersuchungen zur Quantenlogik“, Bayer. Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl., Sonderdruck 15 aus d. Sitzungsberichten 1959, München: Beck in Komm., 1959.
- Mittelstaedt, Peter (1978) „Quantum Logic“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1978.
- Mittelstaedt, Peter (1981) „The Concepts of Truth, Possibility and Probability in the Language of Quantum Physics“, in: „Interpretations and Foundations of Quantum Theory“, ed. by Neumann, Holger, Mannheim et al.: Bibliogr. Inst., 1981, pp. 71-94.
- Mittelstraß, Jürgen (1978) „Die Idee einer Mathesis universalis bei Descartes“, in: *Perspektiven der Philosophie*, Bd. 4, 1978, S. 177-192.
- Mittelstraß, Jürgen (1979) „The Philosopher's Conception of Mathesis Universalis from Descartes to Leibniz“, in: *Annals of Science*, Vol. 36, No. 6, 1979, pp. 593-610.
- Mittelstraß, Jürgen (1987) „Die Stunde der Interdisziplinarität?“, in: „Interdisziplinarität. Praxis - Herausforderung - Ideologie“, hrsg. v. Kocka, Jürgen, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1987, S. 152-158.
- Mittelstraß, Jürgen (1989a) „Vorwort“, in: „Der Flug der Eule. Von der Vernunft der Wissenschaft und der Aufgabe der Philosophie“, hrsg. v. Mittelstraß, Jürgen, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1989, S. 9-10.

Bibliographie

- Mittelstraß, Jürgen (1989b) „Wohin geht die Wissenschaft? Über Disziplinarität, Transdisziplinarität und das Wissen in einer Leibniz-Welt“, in: „Der Flug der Eule. Von der Vernunft der Wissenschaft und der Aufgabe der Philosophie“, hrsg. v. Mittelstraß, Jürgen, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1989, S. 60-88.
- Mittelstraß, Jürgen (1991) „Einheit und Transdisziplinarität. Eine Einleitung“, in: „Einheit der Wissenschaften“, hrsg. v. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Int. Kolloquium der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Bonn, 25.-27. Juni 1990, Forschungsbericht Nr. 4, Berlin, New York: De Gruyter, 1991, S. 12-22.
- Mittelstraß, Jürgen (1993) „Interdisziplinarität oder Transdisziplinarität?“, in: „Utopie Wissenschaft“, hrsg. v. Hieber, Lutz, ein Symposium an der Universität Hannover über die Chancen des Wissenschaftsbetriebs der Zukunft (21./22. November 1991), München, Wien: Profil, 1993, S. 17-31.
- Mittelstraß, Jürgen (1994) „Die Einheit der Wissenschaftssprache. Einige wissenschaftstheoretische und wissenschaftshistorische Anmerkungen“, in: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte, 17. Jg., Nr. 2, 1994, S. 79-88.
- Mittelstraß, Jürgen (1995) „Galilei als Methodologe“, in: Berichte zur Wissenschaftsgeschichte, 18. Jg., Nr. 1, 1995, S. 15-25.
- Mittelstraß, Jürgen (2001a) „Transdisziplinarität in den Naturwissenschaften“, in: Naturwissenschaftliche Rundschau, 54. Jg., Nr. 1, 2001, S. 24-27.
- Mittelstraß, Jürgen (2001b) „Schwere wissenschaftliche Träume oder: Von der theoretischen Einheit zur praktischen Transdisziplinarität“, in: Rechtshistorisches Journal, No. 19, 2001, S. 30-41.
- Mittelstraß, Jürgen (2002) „Transdisciplinarity - New Structures in Science“, in: „Innovative Structures in Basic Research“, ed. by Opolka, Uwe, München: Max-Planck-Ges., 2002, pp. 43-54.
- Mittelstraß, Jürgen (2003) „Transdisziplinarität - wissenschaftliche Zukunft und institutionelle Wirklichkeit“, Konstanz: UVK Univ.-Verl. Konstanz, 2003.
- Mitton, Nathalie; Simplot-Ryl, David (2011) „From the Internet of Things to the Internet of the Physical World“, in: Comptes Rendus Physique, Vol. 12, No. 7, 2011, pp. 669-674.
- Mizoguchi, Riichiro (2003a) „Preface Tutorial on Ontological Engineering“, in: New Generation Computing, Vol. 21, No. 4, 2003, pp. 363-364.
- Mizoguchi, Riichiro (2003b) „Tutorial on Ontological Engineering Part 1: Introduction to Ontological Engineering“, in: New Generation Computing, Vol. 21, No. 4, 2003, pp. 365-384.
- Mizoguchi, Riichiro (2008) „Functional Ontology of Artifacts“, Proc. of the First Interdisciplinary Ontology Meeting, Feb. 26-27, Tokyo/Japan, 2008, pp. 51-60.
- Mizoguchi, Riichiro (2009) „Yet Another Top-level Ontology: YATO“, in: Proceedings of the Second Interdisciplinary Ontology Meeting, Tokyo, 2009, pp. 91-101.
- Mizoguchi, Riichiro (2010) „YAMATO: Yet Another More Advanced Top-level Ontology“, rev. Vers., 2010.
- Mizoguchi, Riichiro; Kitamura, Yoshinobu (2001) „Foundation of Knowledge Systematization: Role of Ontological Engineering“, in: „Industrial Knowledge Management. A Micro-level Approach“, ed. by Roy, Rajkumar, London: Springer, 2001, pp. 17-36.
- Mizoguchi, Riichiro; Kitamura, Yoshinobu (2009) „A Functional Ontology of Artifacts“, in: The Monist, Vol. 92, No. 3, 2009, pp. 387-402.
- Mizoguchi, Riichiro; Kitamura, Yoshinobu; Borgo, Stefano (2012) „Towards a Unified Definition of Function“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 103-116.
- Mizoguchi, Riichiro; Kozaki, Kouji; Sano, Toshinobu; Kitamura, Yoshinobu (2000) „Construction and Deployment of a Plant Ontology“, in: „Knowledge Engineering and Knowledge Management Methods, Models, and Tools“, ed. by Dieng, Rose; Corby, Olivier, 12th International Conference, EKAW 2000 Juan-les-Pins, France, October 2-6, 2000, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2000, pp. 113-128.
- Mizoguchi, Riichiro; Vanwelkenhuysen, Johan; Ikeda, Mitsuru (1995) „Task Ontology for Reuse of Problem Solving Knowledge“, in: „Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building & Knowledge Sharing“, ed. by Mars, Nicolaas J.I., Amsterdam: IOS Pr., 1995, pp. 46-59.
- Mocko, Greg M.; Panchal, J.H.; Fernández, M.G.; Peak, R.; Mistree, F. (2004) „Towards Reusable Knowledge-Based Idealizations for Rapid Design and Analysis“, 45th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics & Materials Conference, 19-22 April 2004, Palm Springs, CA. Paper No. AIAA-2004-2009, 2004.

Bibliographie

- Modahl, Martin; Bagrak, Ilya; Wolenez, Matthew; Jain, Ramesh; Ramachandran, Umakishore (2004) „An Architecture for EventWeb“, Proceedings 10th IEEE International Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems (FTDCS 2004), 28 May, 2004, pp. 95-101.
- Mohajeri, Babak; Nyberg, Timo; Karjalainen, Jesse; Tukiainen, Taina; Nelson, Mark; Shang, Xiuqing; Xiong, Gang (2014) „The Impact of Social Manufacturing on the Value Chain Model in the Apparel Industry“, IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), Qingdao/China, 8-10 Oct., 2014.
- Mohammad, Mahmud Abdulla; Kaloskampus, Ioannis; Hicks, Yulia; Setchi, Rossitza (2015) „Ontology-based Framework for Risk Assessment in Road Scenes Using Videos“, in: *Procedia Computer Science*, Vol. 60, 2015, pp. 1532-1541.
- Mohan, Kannan; Ramesh, Balasubramaniam (2003) „Ontology-based Support for Variability Management in Product and Service Families“, Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences, 2003.
- Mohan, Ranjan et al. (2015) „Complex Event Processing based Hybrid Intrusion Detection System“, 3rd International Conference on Signal Processing, Communication and Networking (ICSCN), Chennai/India, 26-28 March, 2015.
- Mohanty, Jitendra Nath (1957) „Nicolai Hartmann and Alfred North Whitehead. A Study in Recent Platonism“, Calcutta: Progressive Publ., 1957.
- Moldovan, Daniel; Copil, Georgiana; Dustdar, Schahram (2018) „Elastic Systems: Towards Cyber-Physical Ecosystems of People, Processes, and Things“, in: *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 57, 2018, pp. 76-82.
- Moltmann, Friederike (2014) „Parts, Wholes, Abstracts, Tropes and Ontology: Interview by Richard Marshall“, in: 3:AM Magazine, Friday, November 14th, 2014.
- Momeni, Farhang; M.Mehdi Hassani, N, Seyed; Liu, Xun; Ni, Jun (2017) „A Review of 4D Printing“, in: *Materials and Design*, Vol. 122, 2017, pp. 42-79.
- Mönch, Lars; Zimmermann, Jens (2008) „An Ontology to Support Adaptive Agents for Complex Manufacturing Systems“, 32nd Annual IEEE International Computer Software and Applications (COMPSAC '08), Turku, July 28-Aug. 1, 2008, pp. 531-536.
- Mondadori, Fabrizio; Morton, Adam (1979) „Modal Realism“, in: „The Possible and the Actual. Readings in the Metaphysics of Modality“, ed. by Loux, Michael J., Ithaca et al.: Cornell Univ. Pr., 1979, pp. 235-252.
- Monnin, Alexandre (2012) „The Artifactualization of Reference and 'Substances' on the Web: Why (HTTP) URIs Do Not (Always) Refer nor Resources Hold by Themselves“, in: *APA Newsletters*, Vol. 11, No. 2, 2012, pp. 11-19.
- Monnin, Alexandre (2014) „The Web as Ontology: Web Architecture Between REST, Resources, and Rules“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 31-51.
- Monnin, Alexandre; Delaforge, Nicolas; Gandon, Fabien (2012) „CoReWeb: From Linked Documentary Resources to Linked Computational Resources“, in: „PhiloWeb 2012. Web and Philosophy: Why and What For?“, ed. by Monnin, Alexandre; Halpin, Harry; Carr, Leslie, Proceedings of the WWW2012 Conference Workshop PhiloWeb 2012: "Web and Philosophy, Why and What For?", Paper 6, Lyon/France, Apr 17, 2012.
- Monnin, Alexandre; Halpin, Harry (2014) „Toward a Philosophy of the Web: Foundations and Open Problems“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 1-20.
- Monod, Jacques (1972) „Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie“, 4. Aufl. (dt. Übers. v.: 'Le Hasard et la Nécessité', Paris: Éditions du Seuil, 1970), München: Piper, 1972.
- Monod, Jean-Claude (2017) „Das »Anthropologieverbot« bei Husserl und Heidegger und seine Übertretung durch Blumenberg“, in: *Trivium*, Vol. 25, 2017, pp. 1-17.
- Montague, Richard (1969) „On the Nature of Certain Philosophical Entities“, in: *The Monist*, Vol. 53, No. 2, 1969, pp. 159-194.
- Montague, Richard (1970) „English as a Formal Language“, in: „Formal Philosophy“, ed. by Montague, Richard, New Haven: Yale Univ. Pr., 1970, pp. 188-221.
- Monticolo, Davy; Lahoud, Inaya; Bonjour, Eric (2012) „Distributed Knowledge Extracted by a MAS Using Ontology Alignment Methods“, International Conference on Computer & Information Science (ICIS), 12-14 June 2012, Kuala Lumpur, 2012, pp. 386-391.
- Montreuil, Benoit (2011) „Toward a Physical Internet: Meeting the Global Logistics Sustainability Grand Challenge“, in: *Logistics Research*, Vol. 3, No. 2, 2011, pp. 71-87.

Bibliographie

- Montreuil, Benoit; Meller, Russell D.; Ballot, Eric (2013) „Physical Internet Foundations“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 151-166.
- Monzón, Mario D.; Paz, Rubén; Pei, Eujin; Ortega, Fernando; Suárez, Luis A.; Ortega, Zaida; Alemán, María E. et al. (2017) „4D Printing: Processability and Measurement of Recovery Force in Shape Memory Polymers“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 89, No. 5-8, 2017, pp. 1827-1836.
- Moody, Daniel L. (2005) „Theoretical and Practical Issues in Evaluating the Quality of Conceptual Models: Current State and Future Directions“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 55, 2005, pp. 243-276.
- Moody, Ken; Bacon, Jean; Evans, David; Schwiderski-Grosche, Scarlet (2010) „Implementing a Practical Spatio-Temporal Composite Event Language“, in: „From Active Data Management to Event-Based Systems and More“, ed. by Sachs, Kai et al., *Papers in Honor of Alejandro Buchmann on the Occasion of His 60th Birthday*, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 108-123.
- Moon, Aekyung; Park, Yoo-mi; Kim, Sang-gi (2009) „Situation-Awareness Model for Higher Order Network Knowledge Management Platform“, in: „SSN09 - International Workshop on Semantic Sensor Networks 2009“, ed. by Taylor, Kerry et al., *Proceedings of the 2nd Int. Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN09)*, collocated with the 8th Int. Semantic Web Conference (ISWC-2009), Washington DC, USA, October 26, 2009, pp. 110-121.
- Moon, Seung Ki et al. (2005) „Knowledge Representation for Product Design Using Techspecs Concept Ontology“, 2005.
- Moor, James H. (2006) „The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years“, in: *AI Magazine*, Vol. 27, No. 4, 2006, pp. 87-91.
- Moore, Douglas J. (1992) „A Metaphysics of the Computer. The Reality Machine and a New Science for the Holistic Age“, San Francisco: Mellen Research Univ. Pr., 1992.
- Moore, George E. (1925) „A Defence of Common Sense“, in: „Philosophical Papers“, ed. by Moore, George E., Repr. (originally published in *Contemporary British Philosophy* (second series), ed. by John H. Muirhead, London: George Allen & Unwin, 1925, pp. 192-233), New York: Collier Books, 1959, pp. 32-59.
- Mora, Manuel; Raisinghani, Mahesh; Gelman, Ovsei; Sicilia, Miguel Angel (2011) „Onto-ServSys: A Service System Ontology“, in: „The Science of Service Systems“, ed. by Demirkan, Haluk et al., New York/NY et al.: Springer, 2011, pp. 151-173.
- Morán, Federico; Moreno, Alvaro; Minch, Eric; Montero, Francisco (1997) „Further Steps towards a Realistic Description of the Essence of Life“, in: „Artificial Life V. Proceedings of the Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Langton, Christopher G.; Shimohara, Katsunori, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1997, pp. 255-263.
- Morbach, Jan (2009) „A Reusable Ontology for Computer-Aided Process Engineering“, Ph.D. Diss., RWTH Aachen, 2009.
- Morbach, Jan; Wiesner, Andreas; Marquardt, Wolfgang (2009) „OntoCAPE - A (Re)usable Ontology for Computer-Aided Process Engineering“, in: *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 33, No. 10, 2009, pp. 1546-1556.
- Mordecai, Yaniv; Raju, Pathmeswaran; Dori, Dov (2013) „Conceptual Modeling of Physical-Informational Essence Duality of Cyber-Physical Entities“, *IEEE Int. Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Manchester, 13-16 Oct., 2013, pp. 4505-4510.
- Moreira Sá de Souza, Luciana; Spiess, Patrik; Guinard, Dominique; Köhler, Moritz; Karnouskos, Stamatis; Savio, Domnic (2008) „SOCRADES: A Web Service Based Shop Floor Integration Infrastructure“, in: „The Internet of Things“, ed. by Floerkemeier, Christian et al., *First International Conference, IOT 2008*, Zurich/Switzerland, March 26-28, 2008, *Proceedings*, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 50-67.
- Moreland, James P. (2001) „Universals“, Montreal: McGill-Queen's Univ. Pr., 2001.
- Moreno, Alvaro (2000) „Artificial Life as a Bridge between Science and Philosophy“, in: „Artificial Life VII“, ed. by Bedau, Mark A. et al., *Proceedings of the Seventh International Conference on Artificial Life*, Portland/OR, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 2000, pp. 507-512.
- Moreno, Alvaro (2002) „Artificial Life and Philosophy“, in: *Leonardo*, Vol. 35, No. 4, 2002, pp. 401-405.
- Moreno, Alvaro; Etxeberria, Arantza (2005) „Agency in Natural and Artificial Systems“, in: *Artificial Life*, Vol. 11, No. 1/2, 2005, pp. 161-175.
- Moreno, Alvaro; Etxeberria, Arantza; Umerez, Jon (1994) „Universality Without Matter?“, in: „Artificial Life IV. Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living

Bibliographie

- Systems“, ed. by Brooks, Rodney A.; Maes, Pattie, 3rd Pr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1996, pp. 406-410.
- Moreno, Alvaro; Ibañez, Jesus (1997) „Artificial Life: A Bridge toward a New Artificial Intelligence“, in: *Brain and Cognition*, Vol. 34, No. 1, 1997, pp. 1-4.
- Moreno, Alvaro; Ruiz-Mirazo, Kepa (1999) „Metabolism and the Problem of its Universalization“, in: *Biosystems*, Vol. 49, No. 1, 1999, pp. 45-61.
- Moreno, Alvaro; Ruiz-Mirazo, Kepa (2002) „Key Issues Regarding the Origin, Nature, and Evolution of Complexity in Nature: Information as a Central Concept to Understand Biological Organization“, in: *Emergence*, Vol. 4, No. 1/2, 2002, pp. 63-76.
- Moreno, Alvaro; Umeretz, Jon; Ibañez, Jesus (1997) „Cognition and Life: The Autonomy of Cognition“, in: *Brain and Cognition*, Vol. 34, No. 1, 1997, pp. 107-129.
- Morgan, C. Lloyd (1886) „On the Study of Animal Intelligence“, in: *Mind*, Vol. 11, No. 42, 1886, pp. 174-185.
- Morgan, C. Lloyd (1887) „The Generalisations of Science“, in: *Mind*, Vol. 12, No. 45, 1887, pp. 88-92.
- Morgan, C. Lloyd (1914) „Are Meanings Inherited?“, in: *Mind*, N.S., Vol. 23, No. 90, 1914, pp. 169-179.
- Morgan, C. Lloyd (1916) „Continua and Discontinua“, in: *Philosophical Review*, Vol. 25, No. 4, 1916, pp. 546-566.
- Morgan, C. Lloyd (1923) „Emergent Evolution“, Repr., New York: Henry Holt, 1928.
- Morgan, C. Lloyd (1925) „Emergent Evolution“, in: *Mind*, N.S., Vol. 34, No. 133, 1925, pp. 70-74.
- Morgan, C. Lloyd (1929a) „The Case for Emergent Evolution“, in: *Journal of Philosophical Studies*, Vol. 4, No. 13, 1929, pp. 23-38.
- Morgan, C. Lloyd (1929b) „The Case for Emergent Evolution“, in: *Journal of Philosophical Studies*, Vol. 4, No. 15, 1929, pp. 431-432.
- Morgan, C. Lloyd (1931a) „A Psychological Approach to Space-Time“, in: *Mind*, N.S., Vol. 40, No. 160, 1931, pp. 409-423.
- Morgan, C. Lloyd (1931b) „Subjective Aim in Professor Whitehead's Philosophy“, in: *Philosophy*, Vol. 6, No. 23, 1931, pp. 281-294.
- Morgan, C. Lloyd (1933) „The Emergence of Novelty“, London: Williams and Norgate, 1933.
- Morgan, C. Lloyd (1936) „Physical Influence and Mental Reference“, in: *Philosophy*, Vol. 11, No. 42, 1936, pp. 176-185.
- Morgan, Jeff; O'Donnell, Garret E. (2015) „The Cyber Physical Implementation of Cloud Manufacturing Monitoring Systems“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 33, 2015, pp. 29-34.
- Morgenstern, Leora (1996) „The Problem with Solutions to the Frame Problem“, in: „The Robot's Dilemma Revisited: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Ford, Kenneth M.; Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1996, pp. 99-133.
- Morgenstern, Leora; Riecken, Doug (2005) „SNAP: An Action-Based Ontology for E-commerce Reasoning“, *Proceedings of the 1st Workshop FOMI 2005 - Formal Ontologies Meet Industry*, 2005.
- Morie, Jacquelyn F. (2008) „Ontological Implications of Being in Immersive Virtual Environments“, in: „The Engineering Reality of Virtual Reality“, ed. by McDowall, Ian E.; Dolinsky, Margaret, *Proc. SPIE 6804*, San Jose/CA, 2008.
- Moro, Mirella Moura; Saggiorato, Silvia Maria; Edelweiss, Nina; Saraiva dos Santos, Clesio (2001) „Adding Time to an Object-Oriented Versions Model“, in: „Database and Expert Systems Applications“, ed. by Mayr, Heinrich C. et al., 12th International Conference, DEXA 2001 Munich, Germany, September 3-5, 2001, *Proceedings*, Berlin et al.: Springer, 2001, pp. 805-814.
- Morowitz, Harold J. (1970) „Entropy for Biologists. An Introduction to Thermodynamics“, 2nd Pr., New York, London: Acad. Pr., 1971.
- Morowitz, Harold J. (1988) „Die Schöpfung ist kein Zufall. Eine neue Naturgeschichte unseres Planeten“, Düsseldorf et al.: Econ, 1988.
- Morowitz, Harold J. (1994) „Artificial Biochemistry, Life Before Enzymes“, in: „Artificial Life III“, ed. by Langton, Christopher G., Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1994, pp. 381-388.
- Morowitz, Harold J. (1997) „The Simplistic Roots of Complexity“, in: *Complexity*, Vol. 3, No. 2, 1997, pp. 9-10.
- Morowitz, Harold J. (2001) „Emergence. The Emergence of 'Emergence'“, in: *Complexity*, Vol. 7, No. 1, 2001, pp. 15-16.
- Morowitz, Harold J. (2002) „The Emergence of Everything. How the World Became Complex“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2002.

Bibliographie

- Morowitz, Harold J. (2012) „The Plural of 'Ontology' is 'Confusion'”, in: *Complexity*, Vol. 17, No. 6, 2012, pp. 5-6.
- Morris, Alistair; Patsakis, Constantinos; Cahill, Vinny; Bouroche, Mélanie (2016) „Snapcab: Urban Scale Context-Aware Smart Transport Using Adaptive Context Tries“, in: „Context-Aware Systems and Applications“, ed. by Vinh, Phan Cong; Alagar, Vangalur, 4th International Conference, ICCASA 2015, Vung Tau, Vietnam, November 26-27, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 31-40.
- Morris, Charles W. (1938) „Grundlagen der Zeichentheorie“, München: Hanser, 1972.
- Morris, Robert A. (1993) „The Changing Scene. Book Review of Ford & Hayes on the Frame Problem“, in: *Psychology*, Vol. 4, No. 25, Art. 9, 1993.
- Morse, Mohamed; Zhu, Hao; Canyameres, Isart; Grosso, Paola (2015) „SemNaaS: Add Semantic Dimension to the Network as a Service“, in: „The Semantic Web: ESWC 2015 Satellite Events“, ed. by Gandon, Fabien et al., ESWC 2015 Satellite Events, Portoroz, Slovenia, May 31 - June 4, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 107-111.
- Morvan, Gildas; Dupont, Daniel; Soyez, Jean-Baptiste; Merzouki, Rochdi (2012) „Engineering Hierarchical Complex Systems: An Agent-Based Approach. The Case of Flexible Manufacturing Systems“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing Control“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 49-60.
- Moses, Yoram (2008) „Reasoning about Knowledge and Belief“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 621-647.
- Mostefai, Sihem; Bouras, Abdelaziz (2006) „What Ontologies for PLM: A Critical Analysis“, 12th Int. Conference on Concurrent Enterprising, ICE2006, Milan/Italy, 2006, pp. 423-430.
- Mostefai, Sihem; Bouras, Abdelaziz; Batouche, Mohamed (2008) „Effective Collaboration in Product Development via a Common Sharable Ontology“, in: *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 18, 2008, pp. 1209-1215.
- Mosterín, Jesús (2008) „Rescher's Evolutionary Epistemology“, in: „Rescher Studies: A Collection of Essays on the Philosophical Work of Nicholas Rescher“, ed. by Almeder, Robert F., Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 241-251.
- Moulines, C. Ulises (1996) „Structuralism: The Basic Ideas“, in: „Structuralist Theory of Science. Focal Issues, New Results“, ed. by Balzer, Wolfgang; Moulines, C. Ulises, Berlin, New York: De Gruyter, 1996, pp. 1-13.
- Moulines, C. Ulises (2002a) „Formal Metatheoretical Criteria of Complexity and Emergence“, in: „Complexity and Emergence“, ed. by Agazzi, Evandro; Montecucco, Luisa, New Jersey et al.: World Scientific, 2002, pp. 29-37.
- Moulines, C. Ulises (2002b) „Introduction: Structuralism as a Program for Modelling Theoretical Science“, in: „Structuralism“, ed. by Moulines, C. Ulises, (Synthese, Vol. 30, No. 1), Dordrecht: Kluwer, 2002, pp. 1-11.
- Moulines, C. Ulises (2006) „Ontology, Reduction, Emergence: A General Frame“, in: *Synthese*, Vol. 151, No. 3, 2006, pp. 313-323.
- Mourelatos, Alexander P.D. (1981) „Events, Processes, and States“, in: „Tense and Aspect“, ed. by Tedeschi, Philip J.; Zaenen, Annie, New York: Academic Pr., 1981, pp. 191-212.
- Mourgues, Claudio; Fischer, Martin; Kunz, John (2012) „Method to Produce Field Instructions from Product and Process Models for Cast-in-Place Concrete Operations“, in: *Automation in Construction*, Vol. 22, 2012, pp. 233-246.
- Mueller, Erik T. (2006) „Event Calculus and Temporal Action Logics Compared“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 170, No. 11, 2006, pp. 1017-1029.
- Mueller, Erik T. (2008) „Event Calculus“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 671-708.
- Mühl, Gero; Fiege, Ludger; Pietzuch, Peter (2006) „Distributed Event-Based Systems“, Berlin et al.: Springer, 2006.
- Mukhopadhyay, Amar (1968) „Representation of Events in the von Neumann Cellular Model“, in: *Journal of the ACM*, Vol. 15, No. 4, 1968, pp. 693-705.
- Mukhopadhyay, Subhas C.; Suryadevara, N.K. (2014) „Internet of Things: Challenges and Opportunities“, in: „Internet of Things. Challenges and Opportunities“, ed. by Mukhopadhyay, Subhas C., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 1-17.
- Muljarto, Aunur-Rofiq; Salmon, Jean-Michel; Neveu, Pascal; Charnomordic, Brigitte; Buche, Patrice (2014) „Ontology-Based Model for Food Transformation Processes - Application to Winemaking“, in: „Metadata

Bibliographie

- and Semantics Research“, ed. by Closs, Sissi et al., 8th Research Conference, MTSR 2014, Karlsruhe, Germany, November 27-29, 2014, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 329-343.
- Müller-Lauter, Wolfgang (2000) „Heidegger und Nietzsche“, Nietzsche-Interpretationen III, Berlin, New York: De Gruyter, 2000.
- Müller, Aloys (1922) „Strukturwissenschaft und Kulturwissenschaft“, in: Kant-Studien, Bd. 27, 1922, S. 59-85.
- Müller, Jean-Pierre (2007) „Mimosa: Using Ontologies for Modeling and Simulation“, in: GI Jahrestagung 1, Volume 109, 2007, pp. 227-231.
- Müller, Vincent C. (2007) „Is There a Future for AI Without Representation?“, in: Minds and Machines, Vol. 17, No. 1, 2007, pp. 101-115.
- Müller, Vincent C. (2009) „Symbol Grounding in Computational Systems: A Paradox of Intentions“, in: Minds and Machines, Vol. 19, No. 4, 2009, pp. 529-541.
- Müller, Vincent C. (2012) „Autonomous Cognitive Systems in Real-World Environments: Less Control, More Flexibility and Better Interaction“, in: Cognitive Computation, Vol. 4, No. 3, 2012, pp. 212-215.
- Müller, Vincent C. (2014) „Pancomputationalism: Theory or Metaphor?“, in: „Philosophy, Computing and Information Science“, ed. by Hagengruber, Ruth; Riss, Uwe V., London: Pickering & Chatto, 2014, pp. 213-221.
- Müller, Vincent C. (2016) „New Developments in the Philosophy of AI“, in: „Fundamental Issues of Artificial Intelligence“, ed. by Müller, Vincent C., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 1-4.
- Müller, Vincent C.; Bostrom, Nick (2016) „Future Progress in Artificial Intelligence: A Survey of Expert Opinion“, in: „Fundamental Issues of Artificial Intelligence“, ed. by Müller, Vincent C., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 553-570.
- Mulligan, Kevin (1987) „Promisings and Other Social Acts: Their Constituents and Structure“, in: „Speech Act and Sachverhalt. Reinach and the Foundations of Realist Phenomenology“, ed. by Mulligan, Kevin, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1987, pp. 29-90.
- Mulligan, Kevin (2004) „Essence and Modality. The Quintessence of Husserl's Theory“, in: „Semantik und Ontologie. Beiträge zur philosophischen Forschung“, hrsg. v. Siebel, Mark; Textor, Mark, Frankfurt/Main: Ontos, 2004, S. 387-418.
- Mulligan, Kevin; Simons, Peter M; Smith, Barry (2006) „What's Wrong With Contemporary Philosophy?“, in: Topoi, Vol. 25, 2006, pp. 63-67.
- Mulligan, Kevin; Simons, Peter M.; Smith, Barry (1984) „Truth-Makers“, in: Philosophy and Phenomenological Research, Vol. 44, No. 3, 1984, pp. 287-321.
- Mulligan, Kevin; Smith, Barry (1985) „Franz Brentano on the Ontology of Mind“, in: Philosophy and Phenomenological Research, Vol. 45, No. 4, 1985, pp. 627-644.
- Mumford, Stephen (2006) „Function, Structure, Capacity“, in: Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 76-80.
- Murdock, Jaimie; Buckner, Cameron; Allen, Colin (2012) „Containing the Semantic Explosion“, in: „PhiloWeb 2012. Web and Philosophy: Why and What For?“, ed. by Monnin, Alexandre; Halpin, Harry; Carr, Leslie, Proceedings of the WWW2012 Conference Workshop PhiloWeb 2012: "Web and Philosophy, Why and What For?", Paper 7, Lyon/France, Apr 17, 2012.
- Murphy, Arthur E. (1941) „Whitehead and the Method of Speculative Philosophy“, in: „The Philosophy of Alfred North Whitehead“, ed. by Schilpp, Paul A., Evanston, Chicago: Northwestern Univ., 1941, pp. 351-380.
- Murthy, Uday S.; Wiggins, Casper, Jr. (2004) „OOREA: An Object-Oriented Resources, Events, Agents Model for Enterprise Systems Design“, Proceedings of the 25th ICIS, December 12-14, New York, NY, USA, 2004.
- Musen, Mark A. (2004) „Ontologies: Necessary - Indeed Essential - but Not Sufficient“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 19, No. 1, 2004, pp. 77-79.
- Musgrave, Alan (1993) „Alltagswissen, Wissenschaft und Skeptizismus. Eine historische Einführung in die Erkenntnistheorie“, Tübingen: Mohr, 1993.
- Mylopoulos, John (1989) „The Need for a Knowledge Representation Framework“, in: „Foundations of Knowledge Base Management“, ed. by Schmidt, Joachim W.; Thanos, Costantino, Berlin et al.: Springer, 1989, pp. 495-498.
- Mylopoulos, John (1992) „Conceptual Modeling and Telos“, in: „Conceptual Modeling, Databases, and Case. An Integrated View of Information Systems Development“, ed. by Loucopoulos, Pericles; Zicari, Roberto, New York et al.: Wiley, 1992, pp. 49-68.

Bibliographie

- Mylopoulos, John (1998) „Information Modeling in the Time of the Revolution“, in: *Information Systems*, Vol. 23, No. 3/4, 1998, pp. 127-155.
- Mylopoulos, John; Borgida, Alex (2006) „Properties of Information Modeling Techniques for Information Systems Engineering“, in: *Handbook on Architectures of Information Systems*, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 17-58.
- Mylopoulos, John; Borgida, Alex; Jarke, Matthias; Koubarakis, Manolis (1990) „Telos: Representing Knowledge About Information Systems“, in: *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 8, 1990, pp. 325-362.
- Myrdal, Gunnar (1973) „How Scientific are the Social Sciences?“, in: *Against the Stream. Critical Essays on Economics*, ed. by Myrdal, Gunnar, New York: Pantheon, 1973, pp. 133-157.
- Nadoveza, Drazen; Kiritsis, Dimitris (2014) „Ontology-based Approach for Context Modeling in Enterprise Applications“, in: *Computers in Industry*, Vol. 65, No. 9, 2014, pp. 1218-1231.
- Nagel, Ernest (1949a) „The Meaning of Reduction in the Natural Sciences“, in: *Science and Civilization*, ed. by Stauffer, Robert C., Madison: Univ. of Wisconsin Pr., 1949, pp. 97-135.
- Nagel, Ernest (1949b) „In Defense of Logic Without Metaphysics“, in: *Philosophical Review*, Vol. 58, No. 1, 1949, pp. 26-34.
- Nagireddi, V. Sashi Kanth; Mishra, Shakti (2013) „An Ontology Based Cloud Service Generic Search Engine“, 8th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), Colombo/Sri Lanka, 26-28 April, 2013, pp. 335-340.
- Nakada, Takayuki; Hiraoka, Hiroyuki (2010) „Supporting Consumers with Network Agents for Product Lifecycle Management“, in: *Product Lifecycle Management*, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 95-105.
- Nakamura, Eiichi Ryoku; Mori, Takashi (1999) „Was ist Komplexität?“, in: *Komplexe Systeme und Nicht-lineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert*, hrsg. v. Mainzer, Klaus, Berlin et al.: Springer, 1999, S. 89-100.
- Nakamura, Katsuo (1974) „Asynchronous Cellular Automata and their Computational Ability“, in: *Systems, Computers, Controls*, Vol. 5, No. 5, 1974, pp. 58-66.
- Nandi, Prabir; Kumaran, Santhosh (2005) „Adaptive Business Objects - A New Component Model for Business Integration“, Proceedings of the Seventh International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), Vol. 3, Setúbal: SciTePress, 2005, pp. 179-188.
- Nansen, Bjorn; Van Ryn, Luke; Vetere, Frank; Robertson, Toni; Brereton, Margot; Douish, Paul (2014) „An Internet of Social Things“, OzCHI '14, December 02-05 2014, Sydney, NSW, Australia, 2014, pp. 87-96.
- Nardi, Julio Cesar (2014) „A Commitment-Based Reference Ontology for Service: Harmonizing Service Perspectives“, Ph.D., Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, Brazil, 2014.
- Nardi, Julio Cesar; Falbo, Ricardo De Almeida; Almeida, João Paulo A. (2013) „Foundational Ontologies for Semantic Integration in EAI: A Systematic Literature Review“, in: *Collaborative, Trusted and Privacy-Aware e/m-Services*, ed. by Douligieris, Christos et al., 12th IFIP WG 6.11 Conference on e-Business, e-Services, and e-Society, I3E 2013 Athens, Greece, April 25-26, 2013 Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 238-249.
- Nardi, Julio Cesar; Falbo, Ricardo De Almeida; Almeida, João Paulo A.; Guizzardi, Giancarlo et al. (2015) „A Commitment-based Reference Ontology for Services“, in: *Information Systems*, Vol. 54, 2015, pp. 263-288.
- Nash, Ronald H. (1999) „Life's Ultimate Questions. An Introduction to Philosophy“, Grand Rapids/MI: Zondervan, 1999.
- Nath, Keshab; Iswary, Raja (2015) „What Comes after Web 3.0? Web 4.0 and the Future“, International Conference on Computing and Communication Systems (I3CS'15), 2015.
- Natschläger, Christine (2011) „Towards a BPMN 2.0 Ontology“, in: *Business Process Model and Notation*, ed. by Dijkman, Remco et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 1-15.
- Naugle, David K. (2002) „Worldview. The History of a Concept“, Grand Rapids/MI: Eerdmans, 2002.
- Nayyar, Anand; Puri, Vikram; Le, Dac-Nhuong (2017) „Internet of Nano Things (IoNT): Next Evolutionary Step in Nanotechnology“, in: *Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 7, No. 1, 2017, pp. 4-8.
- Neaga, Elena I.; Lin, Hsiao-Kang; Harding, Jennifer A. (2007) „Towards a Meaningful Manufacturing Enterprise Metamodel: A Semantic Driven Framework“, in: *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 221, No. 3, 2007, pp. 499-511.
- Nebel, Bernhard (1989) „A Knowledge Level Analysis of Belief Revision“, in: *Proceedings of the First International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, ed. by Brachman,

Bibliographie

- Ronald J.; Levesque, Hector J.; Reiter, Raymond, (Toronto/Ont., May 15-18, 1989), San Mateo/Cal.: Morgan Kaufmann, 1989, pp. 301-311.
- Nebel, Bernhard; Wöfl, Stefan (2014) „Wissensrepräsentation und -verarbeitung“, in: „Handbuch der Künstlichen Intelligenz“, hrsg. v. Görz, Günther et al., 5., überarb. u. aktualis. Aufl., München: Oldenbourg, 2014, S. 105-128.
- Neches, Robert; Fikes, Richard E.; Finin, Tim; Gruber, Thomas R.; Patil, Ramesh; Senator, Ted; Swartout, William R. (1991) „Enabling Technology for Knowledge Sharing“, in: AI Magazine, Vol. 12, No. 3, 1991, pp. 36-56.
- Nehaniv, Chrystopher L. (2003) „Evolution in Asynchronous Cellular Automata“, in: „Artificial Life VIII. Proceedings of the Eighth International Conference on Artificial Life“, ed. by Standish, Russell K.; Bedau, Mark A.; Abbass, Hussein A., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2003, pp. 65-73.
- Nehaniv, Chrystopher L.; Polani, Daniel; Dautenhahn, Kerstin; te Boekhorst, René; Canamero, Lola (2003) „Meaningful Information, Sensor Evolution, and the Temporal Horizon of Embodied Organisms“, in: „Artificial Life VIII. Proceedings of the Eighth International Conference on Artificial Life“, ed. by Standish, Russell K. et al., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2003, pp. 345-349.
- Neill, Samuel D. (1982) „Brookes, Popper, and Objective Knowledge“, in: Journal of Information Science, Vol. 4, No. 1, 1982, pp. 33-39.
- Nelson, Alistair H. (2000) „Supercomputing in Astrophysics“, in: Reports on Progress in Physics, Vol. 63, No. 11, 2000, pp. 1851-1892.
- Nelson, Donald H.; Schneider, George, Jr. (2001) „Applied Manufacturing Process Planning. With Emphasis on Metal Forming and Machining“, Upper Saddle River/NJ: Prentice Hall, 2001.
- Nelson, Everett J. (1949) „The Relation of Logic to Metaphysics“, in: Philosophical Review, Vol. 58, No. 1, 1949, pp. 1-11.
- Nelson, Raymond J. (1976) „Structure of Complex Systems“, in: PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Vol. 1976, Volume Two: Symposia and Invited Papers, 1976, pp. 523-542.
- Nesamoney, Diaz (2004) „BAM: Event-driven Business Intelligence for the Real-Time Enterprise“, in: DM Review, Vol. 14, No. 3, 2004, pp. 38-40.
- Neubert, Susanne (1993) „Model Construction in MIKE (Model based and Incremental Knowledge Engineering)“, in: „Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems“, ed. by Aussenac, Nathalie et al., 7th European Workshop, EKAW '93 Toulouse and Caylus, France September 6-10, 1993, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1993, pp. 200-219.
- Neuhaus, Fabian; Andersen, Bill (2011) „Speech Acts and Tokens for Access Control and Provenance Tracking“, ed. by Costa, Paulo C.G.; Laskey, Kathryn B., Semantic Technology for Intelligence, Defense and Security (STIDS 2011), Building the Semantic Cloud, Conference held at George Mason Univ., 16-17 Nov., 2011, pp. 44-51.
- Neuhaus, Fabian; Florescu, Elizabeth; Galton, Antony P.; Grüninger, Michael; Guarino, Nicola; Obrst, Leo et al. (2011) „Creating the Ontologists of the Future“, in: Applied Ontology, Vol. 6, No. 1, 2011, pp. 91-98.
- Neuhaus, Fabian; Grenon, Pierre; Smith, Barry (2004) „A Formal Theory of Substances, Qualities, and Universals“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 49-59.
- Neumaier, Otto (1982) „Poppers Ontologie“, in: „Language and Ontology“, ed. by Leinfellner, Werner, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky, 1982, pp. 83-86.
- Neumann, John von (1932) „Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik“, Berlin: Springer, 1932.
- Neumann, John von (1948) „Electronic Methods of Computation“, in: Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences, Vol. 1, No. 3, 1948, pp. 2-4.
- Neumann, John von (1951) „The General and Logical Theory of Automata“, in: „John von Neumann: Collected Works. Volume V: Design of Computers, Theory of Automata and Numerical Analysis“, ed. by Taub, Abraham H., New York et al.: Pergamon Pr., 1961, pp. 288-328.
- Neumann, John von (1955) „John von Neumann on Technological Prospects and Global Limits“, in: Population and Development Review, Vol. 12, No. 1, Repr., 1986, pp. 117-126.
- Neumann, John von (1958) „The Computer and the Brain“, New Haven: Yale Univ. Pr., 1958.
- Neumann, John von (1966) „Theory of Self-Reproducing Automata“, ed. by Burks, Arthur W., Urbana et al.: Univ. of Illinois Pr., 1966.
- Neumann, John von; Morgenstern, Oskar (1944) „Theory of Games and Economic Behavior“, 3rd ed., 6th printing, Princeton/N.J.: Princeton Univ. Pr., 1955.

Bibliographie

- Neuweg, Georg Hans (2004) „Könnerschaft und implizites Wissen. Zur lehr-lerntheoretischen Bedeutung der Erkenntnis- und Wissenstheorie Michael Polanyis“, 3. Aufl., Münster et al.: Waxmann, 2004.
- Newberry, Byron (2013) „Engineered Artifacts“, in: „Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process“, ed. by Michelfelder, Diane P. et al., Dordrecht et al.: Springer, 2013, pp. 165-176.
- Newe, Thomas; O'Connell, Eoin; Meere, Damien; Yuan, Hongwei; Leen, Gabriel; O'Keefe, Sinead; Lewis, Elfed (2016) „Optical Fibre Multi-Parameter Sensing with Secure Cloud Based Signal Capture and Processing“, in: Proceedings of SPIE, Vol. 9916, Sixth European Workshop on Optical Fibre Sensors, 99162V (May 30, 2016), 2016.
- Newell, Allen (1955) „The Chess Machine: An Example of Dealing With a Complex Task by Adaptation“, 1955.
- Newell, Allen (1982) „The Knowledge Level“, in: Artificial Intelligence, Vol. 18, No. 1, 1982, pp. 87-127.
- Newell, Allen (1990) „Unified Theories of Cognition“, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1990.
- Newell, Allen; Shaw, J. Clifford; Simon, Herbert A. (1960) „A Variety of Intelligent Learning in a General Problem Solver“, in: „Self-Organizing Systems“, ed. by Yovits, Marshall C.; Cameron, Scott, Proceedings of an Interdisciplinary Conference, 5 and 6 May, 1959, Oxford et al.: Pergamon Pr., 1960, pp. 153-189.
- Newell, Allen; Shaw, J. Clifford; Simon, Herbert A. (1962) „The Processes of Creative Thinking“, in: „Contemporary Approaches to Creative Thinking“, ed. by Gruber, Howard E.; Terrell, Glenn; Wertheimer, Michael, 3rd Pr., New York: Atherton Pr., 1964, pp. 63-119.
- Newell, Allen; Shaw, J. Clifford; Simon, Herbert A. (1963) „Chess-Playing Programs and the Problem of Complexity“, in: „Computers and Thought“, ed. by Feigenbaum, Edward A.; Feldman, Julian, New York et al.: McGraw-Hill, 1963, pp. 39-70.
- Newell, Allen; Simon, Herbert A. (1956) „The Logic Theory Machine. A Complex Information Processing System“, in: IRE Transactions on Information Theory, IT-2, No. 3, 1956, pp. 61-79.
- Newell, Allen; Simon, Herbert A. (1963) „GPS, A Program that Simulates Human Thought“, in: „Computers and Thought“, ed. by Feigenbaum, Edward A.; Feldman, Julian, New York et al.: McGraw-Hill, 1963, pp. 279-293.
- Newell, Allen; Simon, Herbert A. (1965) „Simulation of Human Processing of Information“, in: American Mathematical Monthly, Vol. 72, No. 2, 1965, pp. 111-118.
- Newell, Allen; Simon, Herbert A. (1972) „Human Problem Solving“, Englewood Cliffs/N.J.: Prentice-Hall, 1972.
- Newell, Allen; Simon, Herbert A. (1976) „Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search“, in: Communications of the ACM, Vol. 19, No. 3, 1976, pp. 113-126.
- Newen, Albert (1991) „Interpretation und Rekonstruktion der Ontologie in Wittgensteins Tractatus“, in: Grazer Philosophische Studien, Bd. 41, 1991, S. 33-65.
- Newen, Albert (2008) „Wittgenstein I und II: Die Philosophie der idealen und der normalen Sprache“, in: Einführung in die Sprachphilosophie, Darmstadt: Wiss. Buchges., 2008, S. 233-250.
- Newman, David V. (1996) „Emergence and Strange Attractors“, in: Philosophy of Science, Vol. 63, No. 2, 1996, pp. 245-261.
- Newton, Isaac (1736) „The Method of Fluxions And Infinite Series“, London: Nourse, 1736.
- Ngan, Le Duy; Kanagasabai, Rajaraman (2012) „OWL-S Based Semantic Cloud Service Broker“, IEEE 19th International Conference on Web Services (ICWS), Honolulu/HI, 24-29 June, 2012, pp. 560-567.
- Nguyen, P.; Bérard, C. (1991) „A Specification System for Analysis and Design Methods of Production Systems“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeingts, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 279-286.
- Nguyen, Tuan; Colman, Alan; Han, Jun (2011) „Modeling and Managing Variability in Process-Based Service Compositions“, in: „Service-Oriented Computing“, ed. by Kappel, Gerti et al., 9th International Conference, ICSOC 2011, Paphos, Cyprus, December 5-8, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 404-420.
- Ni, Jing; Zhao, Xinli; Zhu, Lijun (2008) „A Semantic Web Service-Oriented Architecture for Enterprises“, in: „Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems II“, ed. by Xu, Li D. et al., IFIP TC 8 WG 8.9 International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems (CONFENIS 2007), October 14-16, 2007, Beijing/China, Vol. 1, New York/NY: Springer, 2008, pp. 535-544.

Bibliographie

- Nickles, Matthias; Pease, Adam; Schalley, Andrea Christiane; Zaefferer, Dietmar (2007) „Ontologies Across Disciplines“, in: „Ontolinguistics. How Ontological Status Shapes the Linguistic Coding of Concepts“, ed. by Schalley, Andrea C.; Zaefferer, Dietmar, Berlin: Mouton de Gruyter, 2007, pp. 23-67.
- Nicolae, Oana; Wagner, Gerd (2008) „Verbalising R2ML Rules into SBVR“, 2008.
- Nicolescu, Basarab (2002) „Manifesto of Transdisciplinarity“, Albany: State Univ. of New York Pr., 2002.
- Nicolescu, Basarab (ed.) (2008) „Transdisciplinarity - Theory and Practice“, Cresskill/N.J.: Hampton Pr., 2008.
- Nicolis, Grégoire; Prigogine, Ilya (1977) „Self-Organization in Nonequilibrium Systems. From Dissipative Structures to Order through Fluctuations“, New York et al.: Wiley, 1977.
- Nicolis, Grégoire; Prigogine, Ilya (1989) „Exploring Complexity“, New York: Freeman, 1989.
- Nietzsche, Friedrich (1885-87) „Werke, Kritische Gesamtausgabe, Abt.8, Bd.1, Nachgelassene Fragmente Herbst 1885 - Herbst 1887“, hrsg. v. Colli, Giorgio; Montinari,azzino, Berlin, New York: De Gruyter, 1974.
- Nightingale, Paul (2009) „Tacit Knowledge and Engineering Design“, in: „Handbook of Philosophy of Technology and Engineering Sciences“, ed. by Meijers, Anthonie, Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 351-374.
- Nii, H. Penny; Feigenbaum, Edward A. (1978) „Rule-Based Understanding of Signals“, in: „Pattern-Directed Inference Systems“, ed. by Waterman, Donald A.; Hayes-Roth, Frederick, Workshop on Pattern-Directed Inference Systems, 1977, Honolulu/Hawaii, Orlando/FL: Academic Pr., 1978, pp. 483-501.
- Niiniluoto, Ilkka (2006) „World 3: A Critical Defence“, in: „Karl Popper: A Centenary Assessment Volume II“, ed. by Jarvie, Ian Charles et al., Aldershot/Hants et al.: Ashgate, 2006, pp. 59-69.
- Niles, Ian; Pease, Adam (2001a) „Origins of the IEEE Standard Upper Ontology“, Working Notes of the IJCAI-2001 Workshop on the IEEE Standard Upper Ontology, 2001, pp. 4-10.
- Niles, Ian; Pease, Adam (2001b) „Towards a Standard Upper Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01), New York/NY: ACM Pr., 2001, pp. 2-9.
- Nilsson, Nils J. (1980) „Principles of Artificial Intelligence“, Palo Alto/Calif.: Tioga Publ. Co., 1980.
- Nilsson, Nils J. (1981) „Distributed Artificial Intelligence“, SRI International, Menlo Park/CA, Artificial Intelligence Center, Research Report, 1981.
- Nilsson, Nils J. (1991) „Logic and Artificial Intelligence“, in: Artificial Intelligence, Vol. 47, 1991, pp. 31-56.
- Nilsson, Nils J. (1998) „Artificial Intelligence: A New Synthesis“, San Francisco/CA: Morgan Kaufmann, 1998.
- Nilsson, Nils J. (2010) „The Quest for Artificial Intelligence“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2010.
- Ning, Huansheng (2013) „Unit and Ubiquitous Internet of Things“, Boca Raton/FL: CRC Pr., 2013.
- Ning, Huansheng; He, Wei; Hu, Sha; Wang, Binghui (2012) „Space-Time Registration for Physical-Cyber World Mapping in Internet of Things“, IEEE 12th International Conference on Computer and Information Technology, 2012, pp. 307-310.
- Ning, Huansheng; Liu, Hong; Ma, Jianhua; Yang, Laurence T.; Huang, Runhe (2016) „Cybermatics: Cyber-Physical-Social-Thinking Hyperspace based Science and Technology“, in: Future Generation Computer Systems, Vol. 56, 2016, pp. 504-522.
- Ning, Huansheng; Liu, Hong; Ma, Jianhua; Yang, Laurence T.; Wan, Yueliang; Ye, Xiaozhen; Huang, Runhe (2015) „From Internet to Smart World“, in: IEEE Access, Vol. 3, 2015, pp. 1994-1999.
- Ning, Huansheng; Wang, Ziou (2011) „Future Internet of Things Architecture: Like Mankind Neural System or Social Organization Framework?“, in: IEEE Communications Letters, Vol. 15, No. 4, 2011, pp. 461-463.
- NIST (2011) „The NIST Definition of Cloud Computing“, NIST Computer Security Division, Special Publication 800-145, September, Gaithersburg/MD, 2011.
- Nochta, Zoltán (2008) „Smart Items in Real Time Enterprises“, in: „Handbook of Research on Ubiquitous Computing Technology for Real Time Enterprises“, ed. by Mühlhäuser, Max; Gurevych, Iryna, Hershey/PA: Information Science Reference, 2008, pp. 211-228.
- Noë, Alva (2004) „Action in Perception“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2004.
- Noël, Frédéric; Roucoules, Lionel (2008) „The PPO Design Model with Respect to Digital Enterprise Technologies Among Product Life Cycle“, in: International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 21, No. 2, 2008, pp. 139-145.

Bibliographie

- Noël, Frédéric; Roucoules, Lionel; Teissandier, Denis (2005) „Specification of Product Modelling Concepts Dedicated to Information Sharing in a Collaborative Design Context“, in: „Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering“, ed. by Bramley, Alan et al., Dordrecht: Springer, 2005, pp. 135-146.
- Nolan, Daniel (2011) „Categories and Ontological Dependence“, in: *The Monist*, Vol. 94, No. 2, 2011, pp. 277-301.
- Noonan, Harold W. (1976) „The Four-Dimensional World“, in: *Analysis*, Vol. 37, No. 1, 1976, pp. 32-39.
- Noor, Talal H.; Sheng, Quan Z.; Alfazi, Abdullah; Ngu, Anne H.H.; Law, Jeriel (2013) „CSCE: A Crawler Engine for Cloud Services Discovery on the World Wide Web“, IEEE 20th International Conference on Web Services (ICWS), Santa Clara/CA, 28 June-3 July, 2013, pp. 443-450.
- Noran, Ovidiu (2010) „Mapping SOA Artefacts onto an Enterprise Reference Architecture Framework“, in: „Information Systems Development. Towards a Service Provision Society“, ed. by Papadopoulos, George A. et al., New York/NY: Springer, 2010, pp. 197-205.
- Noran, Ovidiu; Romero, David; Zdravkovic, Milan (2014) „The Sensing Enterprise: Towards the Next Generation Dynamic Virtual Organisations“, in: „Collaborative Systems for Smart Networked Environments“, ed. by Camarinha-Matos, Luis M.; Afsarmanesh, Hamideh, 15th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2014, Amsterdam, The Netherlands, October 6-8, 2014, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 209-216.
- Norman, Timothy J.; Jennings, Nicholas R.; Faratin, Peyman; Mamdani, Ebrahim H. (1997) „Designing and Implementing a Multi-Agent Architecture for Business Process Management“, in: „Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures, and Languages“, ed. by Müller, Jörg P. et al., ECAI'96 Workshop (ATAL) Budapest, Hungary, August 12-13, 1996, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1997, pp. 261-275.
- Northrop, Filmer S.C. (1941) „Whitehead's Philosophy of Science“, in: „The Philosophy of Alfred North Whitehead“, ed. by Schilpp, Paul A., Evanston, Chicago: Northwestern Univ., 1941, pp. 165-207.
- Norton, Barry (2009) „Towards the Ontology-based Transformation of Business Process Models“, 2009.
- Nottola, Christian; Leroy, Frederic; Davalo, Franck (1992) „Dynamics of Artificial Markets. Speculative Markets and Emerging "Common Sense" Knowledge“, in: „Toward a Practice of Autonomous Systems. Proceedings of the First European Conference on Artificial Life“, ed. by Varela, Francisco J.; Bourguine, Paul, 2nd Pr., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1994, pp. 185-194.
- Novotný, Daniel D. (2013) „SNAP/SPAN in Basic Formal Ontology: An Aristotelian Suggestion“, in: *ProInflow*, Vol. 5, No. 1, 2013, pp. 55-65.
- Nowak, Chris (2001) „A Note on Process Ontology for Agents“, in: „OAS'01: Ontologies in Agent Systems“, ed. by Cranefield, Stephen et al., Proceedings of the Workshop on Ontologies in Agent Systems, 5th International Conference on Autonomous Agents, Montreal, Canada, May 29, 2001.
- Nowak, Chris (2003) „On Ontologies for High-Level Information Fusion“, 2003, pp. 657-664.
- Noy, Natalya F. (2004) „Semantic Integration: A Survey Of Ontology-Based Approaches“, in: *ACM SIGMOD Record*, Vol. 33, No. 4, 2004, pp. 65-70.
- Noy, Natalya F. (2009) „Ontology Mapping“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 573-590.
- Noy, Natalya F.; Ferguson, Ray W.; Musen, Mark A. (2000) „The Knowledge Model of Protégé-2000: Combining Interoperability and Flexibility“, in: „Knowledge Engineering and Knowledge Management Methods, Models, and Tools“, ed. by Dieng, Rose; Corby, Olivier, Berlin et al.: Springer, 2000, pp. 17-32.
- Noy, Natalya F.; Hafner, Carole D. (1997) „The State of the Art in Ontology Design. A Survey and Comparative Review“, in: *AI Magazine*, Vol. 18, No. 3, 1997, pp. 53-74.
- NTT DATA (2015) „PLM als Enabler für Industrie 4.0“, White Paper, 2015.
- Nuseibeh, Bashar; Easterbrook, Steve (2000) „Requirements Engineering: A Roadmap“, Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering (ICSE '00), New York/NY: ACM, 2000, pp. 35-46.
- Nutter, J. Terry (1987) „Epistemology“, in: „Encyclopedia of Artificial Intelligence“, ed. by Shapiro, Stuart C., Vol. 1, New York et al.: Wiley, 1987, pp. 280-287.
- Nutter, J. Terry (1990) „Focus of Attention, Context, and the Frame Problem“, in: *International Journal of Expert Systems*, Vol. 3, No. 3, 1990, pp. 293-308.
- Nüttgens, Markus; Zimmermann, Volker (1998) „Geschäftsprozeßmodellierung mit der objektorientierten Ereignisgesteuerten Prozeßkette“, in: „Informationsmodellierung. Referenzmodelle und Werkzeuge“, hrsg. v. Maicher, Michael; Scheruhn, Hans-Jürgen, Wiesbaden: Gabler, 1998, S. 23-35.
- Nwana, Hyacinth S. (1996) „Software Agents: An Overview“, in: *Knowledge Engineering Review*, Vol. 11, No. 3, 1996, pp. 205-244.

Bibliographie

- Nwana, Hyacinth S.; Lee, Lyndon; Jennings, Nicholas R. (1996) „Co-ordination in Software Agent Systems“, in: *BT Technology Journal*, Vol. 14, No. 4, 1996, pp. 79-88.
- O'Brien, Paul D.; Wiegand, Mark E. (1997) „Agents of Change in Business Process Management“, in: „Software Agents and Soft Computing Towards Enhancing Machine Intelligence. Concepts and Applications“, ed. by Nwana, Hyacinth S.; Azarmi, Nader, Berlin et al.: Springer, 1997, pp. 132-145.
- O'Connor, Martin J.; Das, Amar K. (2011) „A Method for Representing and Querying Temporal Information in OWL“, in: „Biomedical Engineering Systems and Technologies“, ed. by Fred, Ana et al., Third International Joint Conference, BIOSTEC 2010, Valencia, Spain, January 20-23, 2010, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 97-110.
- O'Connor, Timothy (1994) „Emergent Properties“, in: *American Philosophical Quarterly*, Vol. 31, No. 2, 1994, pp. 91-104.
- O'Connor, Timothy; Wong, Hong Yu (2005) „The Metaphysics of Emergence“, in: *Noûs*, Vol. 39, No. 4, 2005, pp. 658-678.
- O'Hara, Kieron; Hall, Wendy (2012) „Semantic Web“, in: „Understanding Information Retrieval Systems: Management, Types, and Standards“, ed. by Bates, Marcia J., Boca Raton/FL: CRC Pr., 2012, pp. 325-343.
- O'Hare, Gregory M.P.; Jennings, Nicholas R. (eds.) (1996) „Foundations of Distributed Artificial Intelligence“, New York et al.: Wiley, 1996.
- O'Leary, Daniel E. (2000) „Different Firms, Different Ontologies, and No One Best Ontology“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 15, No. 5, 2000, pp. 72-78.
- O'Leary, Daniel E. (2001) „Functional Ontology Artifacts: Existent and Emergent Knowledge“, in: *International Journal of Intelligent Systems*, Vol. 16, No. 3, 2001, pp. 411-424.
- O'Leary, Daniel E. (2004) „On the Relationship between REA and SAP“, in: *International Journal of Accounting Information Systems*, Vol. 5, No. 1, 2004, pp. 65-81.
- O'Leary, Daniel E. (2008) „Supporting Decisions in Real-Time Enterprises: Autonomic Supply Chain Systems“, in: „Handbook on Decision Support Systems 2“, ed. by Burstein, Frada; Holsapple, Clyde W., Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 19-37.
- O'Leary, Daniel E. (2010) „Enterprise Ontologies: Review and an Activity Theory Approach“, in: *International Journal of Accounting Information Systems*, Vol. 11, No. 4, 2010, pp. 336-352.
- O'Leary, Daniel E. (2013a) „'Big Data', the 'Internet of Things' and the 'Internet of Signs'“, in: *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, Vol. 20, 2013, pp. 53-65.
- O'Leary, Daniel E. (2013b) „Exploiting Big Data from Mobile Device Sensor-Based Apps: Challenges and Benefits“, in: *MIS Quarterly Executive*, Vol. 12, No. 4, 2013, pp. 1-2.
- O'Toole, Eamonn; Nallur, Vivek; Clarke, Siobhán (2014) „Towards Decentralised Detection of Emergence in Complex Adaptive Systems“, *IEEE Eighth International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems (SASO)*, London, 8-12 Sept., 2014, pp. 60-69.
- Oaklander, L. Nathan (2004) „The Ontology of Time“, Amherst/NY: Prometheus, 2004.
- OASIS (2006) „Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0“, OASIS Standard, 12 October, 2006.
- OASIS (2008) „Reference Ontology for Semantic Service Oriented Architectures Version 1.0“, Public Review Draft 01, 5 Nov., 2008.
- Obergrießer, Mathias; Ji, Yang; Schorr, Markus; Lukas, Katharina; Borrmann, André (2008) „Einsatzpotenzial kommerzieller PDM/PLM-Softwareprodukte für Ingenieurbauprojekte“, in: „Forum Bauinformatik 2008“, hrsg. v. Windisch, Ronny et al., Techn. Univ. Dresden, Inst. für Bauinformatik, 2008, S. 43-50.
- Oberle, Daniel (2006) „Semantic Management of Middleware“, New York/NY: Springer, 2006.
- Oberle, Daniel (2014) „How Ontologies Benefit Enterprise Applications“, in: *Semantic Web*, Vol. 5, No. 6, 2014, pp. 473-491.
- Oberle, Daniel et al. (2007) „DOLCE ergo SUMO: On Foundational and Domain Models in SWIntO (SmartWeb Integrated Ontology)“, in: *Journal of Web Semantics*, Vol. 5, No. 3, 2007, pp. 156-174.
- Oberle, Daniel; Bhatti, Nadeem; Brockmans, Saartje; Niemann, Michael; Janiesch, Christian (2009) „Countering Service Information Challenges in the Internet of Services“, in: *Business & Information Systems Engineering*, Vol. 1, No. 5, 2009, pp. 370-390.
- Oberle, Daniel; Bornhövd, Christof; Altenhofen, Michael (2008) „Ontologies for Scalable Services-Based Ubiquitous Computing“, in: „Handbook of Research on Ubiquitous Computing Technology for Real Time Enterprises“, ed. by Mühlhäuser, Max; Gurevych, Iryna, Hershey/PA: Information Science Reference, 2008, pp. 88-106.

Bibliographie

- Obitko, Marek; Marík, Vladimír (2002) „Ontologies for Multi-Agent Systems in Manufacturing Domain“, DEXA '02: Proceedings of the 13th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2-6 Sept., IEEE, 2002, pp. 597-602.
- Obrst, Leo (2010) „Ontological Architectures“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 27-66.
- Obrst, Leo; Cassidy, Patrick (2011) „The Need for Ontologies: Bridging the Barriers of Terminology and Data Structure“, in: „Societal Challenges and Geoinformatics“, ed. by Sinha, A. Krishna et al., Boulder/CO: Geological Soc. of America, 2011, pp. 99-123.
- Obrst, Leo; Cassidy, Patrick; Ray, Steven R.; Smith, Barry; Soergel, Dagobert; West, Matthew; Yim, Peter (2006) „The 2006 Upper Ontology Summit Joint Communiqué“, in: Applied Ontology, Vol. 1, No. 2, 2006, pp. 203-211.
- Obrst, Leo; Ceusters, Werner; Mani, Inderjeet; Ray, Steven R.; Smith, Barry (2007) „The Evaluation of Ontologies, Toward Improved Semantic Interoperability“, in: „Semantic Web: Revolutionizing Knowledge Discovery in the Life Sciences“, ed. by Baker, Christopher J.O.; Cheung, Kei-Hoi, New York/NY: Springer, 2007, pp. 139-158.
- Obrst, Leo; Hughes, Todd; Ray, Steven R. (2006) „Prospects and Possibilities for Ontology Evaluation: The View from NCOR“, WWW 2006, May 22-26, 2006, Edinburgh, UK, 2006.
- Obwegger, Hannes; Schiefer, Josef; Suntinger, Martin; Thullner, Robert (2011) „Entity-Based State Management for Complex Event Processing Applications“, in: „Rule-Based Reasoning, Programming, and Applications“, ed. by Bassiliades, Nick et al., 5th International Symposium, RuleML 2011 - Europe, Barcelona, Spain, July 19-21, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 154-169.
- Oda, Sobei H.; Miura, Ken; Ueda, Kanji (1997) „The Application of Cellular Automata to Network Externalities in Consumer's Theory: A Generalisation of Life Game“, in: „Artificial Life V. Proceedings of the Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Langton, Christopher G.; Shimohara, Katsunori, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1997, pp. 473-480.
- Oddie, Graham (1982) „Armstrong on the Eleatic Principle and Abstract Entities“, in: Philosophical Studies, Vol. 41, No. 2, 1982, pp. 285-295.
- Odell, James; Parunak, Henry Van Dyke; Bauer, Bernhard (2003) „Extending UML for Agent-Based Systems“, in: „Practical Foundations of Business System Specifications“, ed. by Kilov, Haim; Baclawski, Kenneth, Dordrecht et al.: Springer, 2003, pp. 245-270.
- Oderberg, David S. (1993) „The Metaphysics of Identity Over Time“, Basingstoke et al.: Macmillan et al., 1993.
- Oderberg, David S. (1996) „Coincidence under a Sortal“, in: Philosophical Review, Vol. 105, No. 2, 1996, pp. 145-171.
- Ogden, Charles K.; Richards, Ivor A. (1923) „The Meaning of Meaning“, London: Paul, Trench, Trubner & Co., 1923.
- Ogrodnik, Bogdan (2011) „How Can We Verify Metaphysical Hypotheses? On Necessary Connections Between Metaphysics, Ontology and Science“, in: „Ontological Landscapes. Recent Thought on Conceptual Interfaces between Science and Philosophy“, ed. by Petrov, Vesselin, Frankfurt et al.: Ontos, 2011, pp. 43-52.
- Olfati-Saber, Reza; Fax, J. Alex; Murray, Richard M. (2007) „Consensus and Cooperation in Networked Multi-Agent Systems“, in: Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No. 1, 2007, pp. 215-233.
- Olivé, Antoni (2005) „Conceptual Schema-Centric Development: A Grand Challenge for Information Systems Research“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Pastor, Oscar; Falcão e Cunha, João, 17th International Conference, CAiSE 2005, Porto, Portugal, June 13-17, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 1-15.
- Olivé, Antoni (2007) „Conceptual Modeling of Information Systems“, Berlin et al.: Springer, 2007.
- Oliver Wyman (2015) „The Internet of Things. Disrupting Traditional Business Models“, 2015.
- Ollinger, Lisa; Schlick, Jochen; Hodek, Stefan (2011) „Leveraging the Agility of Manufacturing Chains by Combining Process-Oriented Production Planning and Service-Oriented Manufacturing Automation“, Proceedings of the 18th IFAC World Congress, Milan, Italy, 28 August-2 September, 2011, pp. 5231-5236.
- Olschki, Leonardo (1943) „Galileo's Philosophy of Science“, in: Philosophical Review, Vol. 52, No. 4, 1943, pp. 349-365.
- Olson, Eric T. (1997) „The Ontological Basis of Strong Artificial Life“, in: Artificial Life, Vol. 3, No. 1, 1997, pp. 29-39.

Bibliographie

- OMG (2008) „Business Process Maturity Model (BPMM)“, Object Management Group, Vers. 1.0, 2008.
- OMG (2009a) „Ontology Definition Metamodel“, Object Management Group, Vers. 1.0, 2009.
- OMG (2009b) „Production Rule Representation (PRR)“, Vers. 1.0, 2009.
- OMG (2010) „Business Motivation Model“, Vers. 1.1, 2010.
- OMG (2011a) „Product Lifecycle Management Services“, Vers. 2.1, 2011.
- OMG (2011b) „Unified Modeling Language (OMG UML), Superstructure“, Vers. 2.4.1, 2011.
- OMG (2013a) „Business Process Model and Notation (BPMN)“, Vers. 2.0.1, 2013.
- OMG (2013b) „Semantics of Business Vocabulary and Business Rules (SBVR)“, Vers. 1.2, 2013.
- OMG (2014) „EDMC- Financial Industry Business Ontology (FIBO) Foundations (EDMC-FIBO/FND)“, Vers. 1.0 - Beta 1, 2014.
- OMG (2016) „Decision Model and Notation (DMN)“, V1.1, 2016.
- Onngo, Bhakti S.S. (2012) „BPMN Pattern for Agent-Based Simulation Model Representation“, Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC), 9-12 Dec., Berlin, 2012, pp. 1-10.
- Ooi, Beng C.; Tan, Kian L.; Tung, Anthony (2009) „Sense the Physical, Walkthrough the Virtual, Manage the Co (Existing) Spaces: A Database Perspective“, in: ACM SIGMOD Record, Vol. 38, No. 3, 2009, pp. 5-10.
- Opdahl, Andreas L. (2006) „Response to Wyssusek's 'On Ontological Foundations of Conceptual Modelling'“, in: Scandinavian Journal of Information Systems, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 95-106.
- Opdahl, Andreas L. (2007) „The UEML Approach to Modelling Construct Description“, in: „Enterprise Interoperability. New Challenges and Approaches“, ed. by Doumeingts, Guy et al., London et al.: Springer, 2007, pp. 159-168.
- Opdahl, Andreas L. (2010) „Aligning the UEML Ontology with SUMO“, in: „Enterprise Interoperability IV: Making the Internet of the Future for the Future of Enterprise“, ed. by Popplewell, Keith et al., London: Springer, 2010, pp. 409-418.
- Opdahl, Andreas L. (2011) „Anatomy of the Unified Enterprise Modelling Ontology“, in: „Enterprise Interoperability“, ed. by Van Sinderen, Marten; Johnson, Pontus, Third International IFIP Working Conference, IWEI 2011, Stockholm, Sweden, March 23-24, 2011, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 163-176.
- Opdahl, Andreas L.; Berio, Giuseppe (2007) „A Roadmap for UEML“, in: „Enterprise Interoperability. New Challenges and Approaches“, ed. by Doumeingts, Guy et al., London et al.: Springer, 2007, pp. 169-178.
- Opdahl, Andreas L.; Henderson-Sellers, Brian (1999) „Evaluating and Improving OO Modelling Languages Using the BWV-Model“, Proceedings of the Information Systems Foundation Workshop, 1999.
- Opdahl, Andreas L.; Henderson-Sellers, Brian (2001) „Grounding the OML Metamodel in Ontology“, in: Journal of Systems and Software, Vol. 57, No. 2, 2001, pp. 119-143.
- Opdahl, Andreas L.; Henderson-Sellers, Brian (2002) „Ontological Evaluation of the UML Using the Bunge-Wand-Weber Model“, in: Software and Systems Modeling, Vol. 1, No. 1, 2002, pp. 43-67.
- Opdahl, Andreas L.; Henderson-Sellers, Brian (2004) „A Template for Defining Enterprise Modelling Constructs“, in: Journal of Database Management, Vol. 15, No. 2, 2004, pp. 39-73.
- Opdahl, Andreas L.; Henderson-Sellers, Brian (2005) „Template-Based Definition of Information Systems and Enterprise Modelling Constructs“, in: „Business Systems Analysis with Ontologies“, ed. by Green, Peter; Rosemann, Michael, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2005, pp. 105-129.
- Opdahl, Andreas L.; Sindre, Guttorm (1997) „Facet Modelling: An Approach to Flexible and Integrated Conceptual Modelling“, in: Information Systems, Vol. 22, No. 5, 1997, pp. 291-323.
- Opdahl, Andreas L.; Sindre, Guttorm (2007) „Interoperable Management of Conceptual Models“, in: „Conceptual Modelling in Information Systems Engineering“, ed. by Krogstie, John et al., Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 75-90.
- Open Group (2010) „Service-Oriented Architecture Ontology“, Technical Standard, 2010.
- Oppenheim, Paul; Putnam, Hilary (1958) „Unity of Science as a Working Hypothesis“, in: „Concepts, Theories, and the Mind-Body Problem“, ed. by Feigl, Herbert; Scriven, Michael; Maxwell, Grover, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol. 2, Minneapolis: Univ. of Minnesota Pr., 1958, pp. 3-36.
- Oracle (2008) „Product Lifecycle Management in the Medical Device Industry“, White Paper, 2008.
- Oracle (2009a) „Agile Product Lifecycle Management Integration Pack for SAP ERP: Design to Release“, 2009.
- Oracle (2009b) „Service-enable Agile PLM with Oracle SOA Suite BPEL Process Manager“, 2009.
- Oracle (2010) „Product Lifecycle Management for the Pharmaceutical Industry“, White Paper, 2010.

Bibliographie

- Oracle (2011) „Managing the Product Value Chain for the Industrial Manufacturing Industry“, Oracle White Paper, 2011.
- Oracle (2012a) „Oracle Agile PLM for the Semiconductor Industry“, 2012.
- Oracle (2012b) „Oracle Application Integration Architecture“, 2012.
- Oracle (2012c) „Oracle Agile PLM for the Consumer Packaged Goods Industry“, 2012.
- Oracle (2012d) „Oracle Agile PLM for the Electronics and High Tech Industries“, 2012.
- Oracle (2012e) „Software Product Lifecycle Management“, (Webcast, April 3, 2012 with Stephen Van Lare, VP of PLM Product Development), 2012.
- Oracle (2015) „Java and the Internet of Things: Automating the Industrial Economy“, White Paper, February, 2015.
- Oscarsson, Jan et al. (2016) „Towards Virtual Confidence - Extended Product Lifecycle Management“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 708-717.
- Osler, Margaret J. (1994) „Divine Will and the Mechanical Philosophy. Gassendi and Descartes on Contingency and Necessity in the Created World“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1994.
- Ostermaier, Benedikt; Römer, Kay; Mattern, Friedemann; Fahrmaier, Michael; Kellerer, Wolfgang (2010) „A Real-Time Search Engine for the Web of Things“, Internet of Things (IOT), 29 Nov.-1 Dec., 2010, pp. 1-8.
- Osterwalder, Alexander (2004) „The Business Model Ontology. A Proposition in a Design Science Approach“, PhD-Thesis, Univ. of Lausanne, 2004.
- Osterwalder, Alexander; Parent, Christine; Pigneur, Yves (2004) „Setting Up an Ontology of Business Models“, in: „EMOI - INTEROP 2004. Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability“, ed. by Missikoff, Michele, Proceedings of the Open InterOp Workshop on Enterprise Modelling and Ontologies for Interoperability, co-located with CAiSE'04 Conference, Riga (Latvia), 7-8 June, 2004.
- Osterwalder, Alexander; Pigneur, Yves (2002) „An e-Business Model Ontology for Modeling e-Business“, 15th Bled Electronic Commerce Conference e-Reality: Constructing the e-Economy, Bled, Slovenia, June 17-19, 2002.
- Osterwalder, Alexander; Pigneur, Yves (2004) „An Ontology for E-Business Models“, in: „Value Creation from E-Business Models“, ed. by Currie, Wendy L., Oxford et al.: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004, pp. 65-97.
- Ostwald, Wilhelm (1902) „Vorlesungen über Naturphilosophie“, (gehalten im Sommer 1901 an der Univ. Leipzig), Leipzig: Veit, 1902.
- Ostwald, Wilhelm (1909) „Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaft“, Leipzig: Klinkhardt, 1909.
- Ouertani, Mohamed Z.; Baïna, S.; Gzara, L.; Morel, G. (2011) „Traceability and Management of Dispersed Product Knowledge During Design and Manufacturing“, in: Computer-Aided Design, Vol. 43, No. 5, 2011, pp. 546-562.
- Ouertani, Mohamed Z.; Srinivasan, Vijay; Parlikad, Ajith K.; Luyer, Eric; McFarlane, Duncan (2010) „Through-Life Active Asset Configuration Management“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 197-207.
- Ouksel, Aris M.; Sheth, Amit (1999) „Semantic Interoperability in Global Information Systems“, in: ACM SIGMOD Record, Vol. 28, No. 1, 1999, pp. 5-12.
- Ouyang, Chun; Dumas, Marlon; ter Hofstede, Arthur H.M.; Van der Aalst, Wil M.P. (2007) „Pattern-based Translation of BPMN Process Models to BPEL Web Services“, in: International Journal of Web Services Research, Vol. 5, No. 1, 2007, pp. 42-62.
- Ovchinnikova, Ekaterina (2012) „Integration of World Knowledge for Natural Language Understanding“, Amsterdam et al.: Atlantis Pr., 2012.
- Overbeek, Sietse; Janssen, Marijn; Tan, Yao-Hua (2012) „An Ontology-Based Event-Driven Architecture for Integrating Information, Processes and Services Applied to International Trade“, in: „Advanced Information Systems Engineering Workshops“, ed. by Bajec, Marko; Eder, Johann, CAiSE 2012 International Workshops, Gdansk, Poland, June 25-26, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 143-158.
- Owen, Roderick; Horváth, Imre (2002) „Towards Product-related Knowledge Asset Warehousing in Enterprises“, Proceedings of the TMCE, 2002, pp. 155-170.
- Özorhan, Mustafa Onur; Cicekli, Nihan Kesim (2012) „Web Service Discovery: A Service Oriented, Peer-to-Peer Approach with Categorization“, in: „Computer and Information Sciences II“, ed. by Gelenbe, Erol et

Bibliographie

- al., 26th International Symposium on Computer and Information Sciences, London et al.: Springer, 2012, pp. 27-33.
- Oztemel, Ercan (2010) „Intelligent Manufacturing Systems“, in: „Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises Management“, ed. by Benyoucef, Lyes; Grabot, Bernard, London: Springer, 2010, pp. 1-41.
- Oztemel, Ercan; Tekez, Esra Kurt (2009a) „A General Framework of a Reference Model for Intelligent Integrated Manufacturing Systems (REMIMS)“, in: Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 22, No. 6, 2009, pp. 855-864.
- Oztemel, Ercan; Tekez, Esra Kurt (2009b) „Integrating Manufacturing Systems through Knowledge Exchange Protocols within an Agent-based Knowledge Network“, in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 25, No. 1, 2009, pp. 235-245.
- Pacheco, Ana; Real, Pedro (2009) „Getting Topological Information for a 80-Adjacency Doxel-Based 4D Volume through a Polytopal Cell Complex“, in: „Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications“, ed. by Bayro-Corrochano, Eduardo; Eklundh, Jan-Olof, Proceedings 14th Iberoamerican Conference on Pattern Recognition, CIARP 2009, Guadalajara, Jalisco/Mexico, November 15-18, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 279-286.
- Pack, Derik; Singh, Rahul; Brennan, Sean; Jain, Ramesh (2004) „An Event Model and its Implementation for Multimedia Information Representation and Retrieval“, IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME '04), 27-30 June, 2004.
- Padilha, Natalia F.; Baiao, Fernanda; Revoredo, Kate (2012) „Ontology Alignment for Semantic Data Integration through Foundational Ontologies“, in: „Advances in Conceptual Modeling“, ed. by Castano, Silvana et al., ER 2012 Workshops CMS, ECDM-NoCoDA, MoDIC, MORE-BI, RIGiM, SeCoGIS, WISM, Florence, Italy, October 15-18, 2012. Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 172-181.
- Padmanabhan, Deepak; Deshpande, Prasad M.; Murthy, Karin (2012) „Configurable and Extensible Multi-flows for Providing Analytics as a Service on the Cloud“, Annual SRII Global Conference (SRII), San Jose/CA, 24-27 July, 2012, pp. 1-10.
- Page, Kevin; De Roure, David; Martinez, Kirk; Sadler, Jason; Kit, Oles (2009) „Linked Sensor Data: REST-fully serving RDF and GML“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 2nd International Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN09), collocated with the 8th Int. Semantic Web Conference (ISWC-2009), Washington DC/USA, Oct. 26, 2009, pp. 49-63.
- Pagels, Heinz R. (1982) „The Cosmic Code. Quantum Physics as the Language of Nature“, Repr., Mineola/NY: Dover, 2011.
- Pagels, Heinz R. (1988) „The Dreams of Reason. The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity“, New York et al.: Simon and Schuster, 1988.
- Paiano, Roberto; Pandurino, Andrea; Guido, Anna Lisa (2006) „Conceptual Design of Web Application Families: the BWW Approach“, 2006.
- Palmer, Claire; Urwin, Esmond N.; Pinazo-Sánchez, Jose; Sánchez Cid, Francisco; Pajkowska-Goceva, Sonja; Young, Robert (2014) „Reference Ontologies to Support the Development of New Product-Service Lifecycle Systems“, in: „Advances in Production Management Systems: Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World“, ed. by Grabot, Bernard et al., IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2014, Ajaccio, France, September 20-24, 2014, Proceedings, Part II, Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 642-649.
- Palmer, Richard G.; Arthur, W. Brian; Holland, John H.; LeBaron, Blake; Tayler, Paul (1994) „Artificial Economic Life: A Simple Model of a Stockmarket“, in: Physica D, Vol. 75, 1994, pp. 264-274.
- Palomäki, Jari (2008) „Modelling the World: A Process-Ontological Approach“, Philosophy of Nature Today, national conference with the participation of foreign guests, Maria Curie Skłodowska University, Inst. of Philosophy, Lublin/Poland, 17-18 April, 2008.
- Palomäki, Jari (2009) „Ontology Revisited: Concepts, Languages, and the World(s)“, in: „Databases and Information Systems V“, ed. by Haav, Hele-Mai; Kalja, Ahto, Amsterdam: IOS Pr., 2009, pp. 3-13.
- Palomäki, Jari; Keto, Harri (2006) „A Process-Ontological Model for Software Engineering“, in: „CAiSE'06“, ed. by Latour, T.; Petit, M., The 18th International Conference on Advanced Information Systems Engineering, Namur: Namur Univ. Pr., 2006, pp. 720-726.
- Palomäki, Jari; Keto, Harri (2009) „A Process-Ontological Model: A More Formal Approach“, in: „ONTOSE'09. Ontology, Conceptualization and Epistemology for Information Systems, Software Engineering and Service Science“, ed. by Kop, Christian et al., Proceedings of the Third International Workshop held in conjunction with CAiSE'09 Conference, Amsterdam, The Netherlands, June 8, 2009, pp. 136-144.

Bibliographie

- Palomäki, Jari; Radicevic, Momir (2006) „Concept Theory in the Context of Information Systems“, in: „Information Modelling and Knowledge Bases XVII“, ed. by Kiyoki, Yasushi et al., Proceedings of the 2006 conference on Information Modelling and Knowledge Bases XVII, Amsterdam: IOS Pr., 2006, pp. 321-328.
- Palter, Robert M. (1960) „Whitehead's Philosophy of Science“, Chicago: Univ. of Chicago Pr., 1960.
- Palter, Robert M. (1961) „The Place of Mathematics in Whitehead's Philosophy“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 58, No. 19, Whitehead Centennial Issue, 1961, pp. 565-576.
- Pan, Jeff Z. (2009) „Resource Description Framework“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Stefan; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 71-90.
- Pan, Weisen; Chen, Shizhan; Feng, Zhiyong (2012) „Service-Oriented Ontology and Its Evolution“, in: „Advances in Grid and Pervasive Computing“, ed. by Li, Ruixuan et al., 7th International Conference, GPC 2012, Hong Kong, China, May 11-13, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 109-121.
- Pandey, Manish Kumar; Subbiah, Karthikeyan (2016) „Social Networking and Big Data Analytics Assisted Reliable Recommendation System Model for Internet of Vehicles“, in: „Internet of Vehicles - Technologies and Services“, ed. by Hsu, Ching-Hsien et al., Third International Conference, IOV 2016, Nadi, Fiji, December 7-10, 2016, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 149-163.
- Panetto, Hervé; Zdravkovic, Milan; Jardim-Goncalves, Ricardo; Romero, David; Cecil, J.; Mezgár, István (2016) „New Perspectives for the Future Interoperable Enterprise Systems“, in: *Computers in Industry*, Vol. 79, 2016, pp. 47-63.
- Panov, Pance; Dzeroski, Saso; Soldatova, Larisa N. (2008) „OntoDM: An Ontology of Data Mining“, 2008 IEEE International Conference on Data Mining Workshops, Pisa, 2008, pp. 752-760.
- Paolucci, Massimo; Sycara, Katia (2003) „Autonomous Semantic Web Services“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 7, No. 5, 2003, pp. 34-41.
- Pap, Arthur (1952) „The Concept of Absolute Emergence“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 2, No. 8, 1952, pp. 302-311.
- Papadimitriou, Christos H.; Sideri, Martha (1998) „Computational Complexity in the Life Sciences“, in: „Artificial Life VI. Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Life“, ed. by Adami, Christoph et al., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1998, pp. 4-5.
- Papadokostaki, Koralia; Mastorakis, George; Panagiotakis, Spyros; Mavromoustakis, Constandinos X. et al. (2017) „Handling Big Data in the Era of Internet of Things (IoT)“, in: „Advances in Mobile Cloud Computing and Big Data in the 5G Era“, ed. by Mavromoustakis, Constandinos X. et al., Cham et al.: Springer, 2017, pp. 3-22.
- Papafragou, Anna; Hulbert, Justin; Trueswell, John (2008) „Does Language Guide Event Perception? Evidence from Eye Movements“, in: *Cognition*, Vol. 108, No. 1, 2008, pp. 155-184.
- Papazoglou, Michael P.; Aiello, Marco; Giorgini, Paolo (2004) „Service-Oriented Computing and Software Agents“, in: „Extending Web Services Technologies. The Use of Multi-Agent Approaches“, ed. by Cavedon, Lawrence et al., New York/NY: Springer, 2004, pp. 29-52.
- Papazoglou, Michael P.; Georgakopoulos, Dimitrios (2003) „Service-Oriented Computing“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 46, No. 10, 2003, pp. 25-28.
- Papazoglou, Michael P.; Van den Heuvel, Willem-Jan (2007) „Service Oriented Architectures: Approaches, Technologies and Research Issues“, in: *The VLDB Journal*, Vol. 16, No. 3, 2007, pp. 389-415.
- Papert, Seymour A. (1988) „One AI or Many?“, in: *Daedalus*, Vol. 117, No. 1, 1988, pp. 1-14.
- Paraiso, Emerson Cabrera; Malucelli, Andreia (2011) „Ontologies Supporting Intelligent Agent-Based Assistance“, in: *Computing and Informatics*, Vol. 30, No. 4, 2011, pp. 829-855.
- Parent, Christine; Spaccapietra, Stefano (1989) „About Entities, Complex Objects and Object-oriented Data Models“, in: „Information System Concepts: An In-depth Analysis“, ed. by Falkenberg, Eckhard D.; Lindgreen, Paul, Amsterdam: North-Holland, 1989, pp. 193-223.
- Parent, Christine; Spaccapietra, Stefano; Zimányi, Esteban (1999) „Spatio-Temporal Conceptual Models: Data Structures + Space + Time“, *GIS '99 Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information System*, New York/NY: ACM, 1999, pp. 26-33.
- Parhi, Manoranjan; Pattanayak, Binod Kumar; Patra, Manas Ranjan (2015) „A Multi-agent-Based Framework for Cloud Service Description and Discovery Using Ontology“, in: „Intelligent Computing, Communication and Devices“, ed. by Jain, Lakhmi C. et al., Proceedings of ICCD 2014, Volume 1, New Delhi: Springer, 2015, pp. 337-348.
- Parikh, Priti P.; Zheng, Jie; Logan-Klumpler, Flora; Stoeckert, Christian J., Jr.; Louis, Christos et al. (2012) „The Ontology for Parasite Lifecycle (OPL): Towards a Consistent Vocabulary of Lifecycle Stages in Parasitic Organisms“, in: *Journal of Biomedical Semantics*, Vol. 3, No. 5, 2012, pp. 1-13.

Bibliographie

- Parisi, Domenico (1997) „Artificial Life and Higher Level Cognition“, in: *Brain and Cognition*, Vol. 34, No. 1, 1997, pp. 160-184.
- Park, Kyung-Joon; Zheng, Rong; Liu, Xue (2012) „Cyber-Physical Systems: Milestones and Research Challenges“, in: *Computer Communications*, Vol. 36, No. 1, 2012, pp. 1-7.
- Parkinson, George H.R. (1965) „Logic and Reality in Leibniz's Metaphysics“, Oxford: Clarendon Pr., 1965.
- Parrotta, Simone; Cassina, Jacopo; Terzi, Sergio; Taisch, Marco; Potter, David; Främling, Kary (2013) „Proposal of an Interoperability Standard Supporting PLM and Knowledge Sharing“, in: „Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains“, ed. by Prabhu, Vittal et al., IFIP WG 5.7 Int. Conference, APMS 2013, State College, PA, USA, September 9-12, 2013, Proceedings, Part II, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 286-293.
- Parsia, Bijan; Patel-Schneider, Peter F. (2006) „Meaning and the Semantic Web“, *Architecture and Philosophy of the Web: Identity, Reference, and the Web IRW2006, WWW2006 Workshop*, Edinburgh/Scotland May 23rd, 2006.
- Parsia, Bijan; Smith, Michael (2008) „Quantities in OWL“, in: „OWLED 2008. OWL: Experiences and Directions“, ed. by Dolbear, Catherine et al., *Proceedings of the Fifth OWLED Workshop on OWL: Experiences and Directions*, Collocated with the 7th International Semantic Web Conference (ISWC-2008), Karlsruhe, October 26-27, 2008.
- Parsons, Jeffrey; Wand, Yair (2000) „Emancipating Instances from the Tyranny of Classes in Information Modeling“, in: *ACM Transactions on Database Systems*, Vol. 25, No. 2, 2000, pp. 228-268.
- Parsons, Josh (2000) „Must a Four-dimensionalist Believe in Temporal Parts?“, in: *The Monist*, Vol. 83, No. 3, 2000, pp. 399-418.
- Partridge, Chris (1996) „Business Objects: Re-Engineering for Re-Use“, Oxford et al.: Butterworth-Heinemann, 1996.
- Partridge, Chris (2002a) „Shifting the Ontological Foundations of Accounting's Conceptual Scheme“, 2002.
- Partridge, Chris (2002b) „The Role of Ontology in Integrating Semantically Heterogeneous Databases“, *Technical Report 05/02, LADSEB-CNR, Padova, Italy*, June, 2002.
- Partridge, Chris (2002c) „What is Pump Facility PF101? A Study in Ontology“, *LADSEB-CNR - Technical Report 04/02*, 2002.
- Partridge, Chris; Bailey, Ian (2010) „An Analysis of Services“, *Model Futures Ltd., Southend-On-Sea/Essex*, Vers. 1.3, 11 May, 2010.
- Partridge, Chris; Gonzalez-Perez, Cesar; Henderson-Sellers, Brian (2013) „Are Conceptual Models Concept Models?“, in: „Conceptual Modeling“, ed. by Ng, Wilfred et al., *32th International Conference, ER 2013, Hong-Kong, China, November 11-13, 2013, Proceedings*, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 96-105.
- Partridge, Chris; Mitchell, Andy; de Cesare, Sergio (2013) „Guidelines for Developing Ontological Architectures in Modelling and Simulation“, in: „Ontology, Epistemology, and Teleology for Modeling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications“, ed. by Tolk, Andreas, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 27-57.
- Partridge, Chris; Stefanova, Milena (2003a) „A Program for Building a State of the Art Enterprise Ontology: Report on Progress“, in: „Practical Foundations of Business System Specifications“, ed. by Kilov, Haim; Baclawski, Kenneth, Dordrecht et al.: Springer, 2003, pp. 271-279.
- Partridge, Chris; Stefanova, Milena (2003b) „Synthesising an Industrial Strength Enterprise Ontology“, in: „Enterprise Inter- and Intra-Organizational Integration: Building International Consensus“, ed. by Kosanke, Kurt et al., Boston/MA: Kluwer, 2003, pp. 101-109.
- Pascale, Richard T. (1999) „Surfing the Edge of Chaos - Treating Organizations as Complex Adaptive Systems Provides Powerful Insights into the Nature of Strategic Work“, in: *Sloan Management Review*, Vol. 40, No. 3, 1999, pp. 83-94.
- Paschke, Adrian (2006) „ECA-LP / ECA-RuleML: A Homogeneous Event-Condition-Action Logic Programming Language“, *Int. Conf. on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web (RuleML'06)*, Athens, Georgia, USA, Nov., 2006.
- Paschke, Adrian (2009) „A Semantic Design Pattern Language for Complex Event Processing“, *AAAI Spring Symposium 'Intelligent Event Processing'*, March 2009, Stanford/USA, 2009, pp. 54-60.
- Paschke, Adrian; Boley, Harold et al. (2012) „Reaction RuleML 1.0: Standardized Semantic Reaction Rules“, in: „Rules on the Web: Research and Applications“, ed. by Bikakis, Antonis; Giurca, Adrian, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 100-119.
- Paschke, Adrian; Coskun, Gökhan et al. (2011) „Corporate Semantic Web Report IV. State of the Art Analysis, Working Packages in Project Phase II“, *Freie Univ. Berlin, Department of Mathematics and Computer Science, Corporate Semantic Web Group, Technical Report TR-B-11-07*, 2011.

Bibliographie

- Paschke, Adrian; Kozlenkov, Alexander (2009) „Rule-Based Event Processing and Reaction Rules“, in: „Rule Interchange and Applications“, ed. by Governatori, Guido et al., International Symposium, RuleML 2009, Las Vegas, Nevada, USA, November 5-7, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 53-66.
- Paschke, Adrian; Teymourian, Kia (2015) „From Semantic Complex Event Processing to Ubiquitous Pragmatic Web 4.0“, 2015.
- Paschke, Adrian; Vincent, Paul; Springer, Florian (2011) „Standards for Complex Event Processing and Reaction Rules“, in: „Rule-Based Modeling and Computing on the Semantic Web“, ed. by Olken, Frank et al., 5th International Symposium, RuleML 2011- America, Ft. Lauderdale, FL, Florida, USA, November 3-5, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 128-139.
- Pasic, Aljosa (2010) „Delivering Building Blocks for Internet of Services: Trust, Security, Privacy and Dependability“, in: „New Network Architectures. The Path to the Future Internet“, ed. by Tronco, Tania R., Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 205-214.
- Pask, Gordon (1969) „The Meaning of Cybernetics in the Behavioural Sciences (The Cybernetics of Behaviour and Cognition; Extending the Meaning of 'Goal')“, in: „Progress of Cybernetics“, ed. by Rose, John, London, New York: Gordon and Breach, 1969, pp. 15-44.
- Pasley, James (2005) „How BPEL and SOA Are Changing Web Services Development“, in: IEEE Internet Computing, Vol. 9, No. 3, 2005, pp. 60-67.
- Pastor, Oscar; Fons, Joan; Pelechano, Vicente; Abrahão, Silvia (2006) „Conceptual Modelling of Web Applications: The OOWS Approach“, in: „Web Engineering“, ed. by Mendes, Emilia; Mosley, Nile, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 277-302.
- Pastor, Oscar; Molina, Juan Carlos (2007) „Model-Driven Architecture in Practice. A Software Production Environment Based on Conceptual Modeling“, Berlin: Springer, 2007.
- Patel-Schneider, Peter F.; Hayes, Patrick J.; Horrocks, Ian (2004) „OWL Web Ontology Language: Semantics and Abstract Syntax“, W3C Recommendation 10 February 2004, 2004.
- Patel, Karan (2013) „Incremental Journey for World Wide Web: Introduced with Web 1.0 to Recent Web 5.0 - A Survey Paper“, in: International Journal of Advanced Research In Computer Science and Software Engineering, Vol. 3, No. 10, 2013, pp. 410-417.
- Pathak, Surya D.; Day, Jamison M.; Nair, Anand; Sawaya, William J.; Kristal, M. Murat (2007) „Complexity and Adaptivity in Supply Networks: Building Supply Network Theory Using a Complex Adaptive Systems Perspective“, in: Decision Sciences, Vol. 38, No. 4, 2007, pp. 547-580.
- Patil, Lalit; Dutta, Debasish; Sriram, Ram (2005) „Ontology Formalization of Product Semantics for Product Lifecycle Management“, 2005.
- Patil, Ramesh S.; Fikes, Richard E.; Patel-Schneider, Peter F.; McKay, Don; Finin, Tim; Gruber, Thomas; Neches, Robert (1992) „The DARPA Knowledge Sharing Effort: Progress Report“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Nebel, Bernhard et al., Proceedings of the Third Int. Conference (KR'92), Cambridge/Mass., October 25-29, San Mateo/CA: Morgan Kaufman, 1992, pp. 777-788.
- Paton, Herbert J. (1936) „Kant's Metaphysic of Experience. A Commentary on the First Half of the Kritik der reinen Vernunft“, (Repr. New York: Humanities Pr. et al.), London: Allen & Unwin, 1936.
- Patrick, G.T.W. (1922) „The Emergent Theory of Mind“, in: Journal of Philosophy, Vol. 19, No. 26, 1922, pp. 701-708.
- Pattee, Howard H. (1995) „Artificial Life Needs a Real Epistemology“, in: „Advances in Artificial Life“, ed. by Morán, Federico et al., Third European Conference on Artificial Life Granada, Spain, June 4-6, 1995 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1995, pp. 21-38.
- Pattee, Howard H. (2000) „Causation, Control, and the Evolution of Complexity“, in: „Downward Causation. Minds, Bodies and Matter“, ed. by Andersen, Peter Bøgh et al., Aarhus: Aarhus Univ. Pr., 2000, pp. 63-77.
- Paulheim, Heiko (2011) „Ontology-based Application Integration“, New York et al.: Springer, 2011.
- Paulheim, Heiko et al. (2015) „Serving DBpedia with DOLCE - More than Just Adding a Cherry on Top“, in: „The Semantic Web - ISWC 2015“, ed. by Arenas, Marcelo et al., 14th International Semantic Web Conference, Bethlehem, PA, USA, October 11-15, 2015, Proceedings, Part I, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 180-196.
- Pavicic, Mladen (1992a) „A New Axiomatization of Unified Quantum Logic“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 31, No. 9, 1992, pp. 1753-1766.
- Pavicic, Mladen (1992b) „Bibliography on Quantum Logics and Related Structures“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 31, No. 3, 1992, pp. 373-461.

Bibliographie

- Pawlewski, Pawel; Dossou, Paul Eric (2011) „Comparison of Enterprise Integration Concepts (PLM and EA) from the Point of View Green Manufacturing“, in: „Information Technologies in Environmental Engineering“, ed. by Golinska, Paulina et al., Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 659-673.
- Pazzi, Luca (1998) „Three Points of View in the Characterization of Complex Entities“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Guarino, Nicola, Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), Amsterdam et al.: IOS Pr., 1998, pp. 195-206.
- Pazzi, Luca (1999) „Implicit Versus Explicit Characterization of Complex Entities and Events“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 31, No. 2, 1999, pp. 115-134.
- Peacock, Mark (2004) „No Methodology without Ontology! Reorienting Economics“, in: *Journal of Economic Methodology*, Vol. 11, No. 3, 2004, pp. 313-319.
- Pearce, Bryan; Kurz, Mary E.; Phelan, Keith; Summers, Joshua; Schulte, Jörg; Dieminger, Wolfgang; Funk, Kilian (2016) „Configuration Management through Satisfiability“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 44, 2016, pp. 204-209.
- Pease, Adam (2007) „Formal Representation of Concepts: The Suggested Upper Merged Ontology and its Use in Linguistics“, in: „Ontolinguistics. How Ontological Status Shapes the Linguistic Coding of Concepts“, ed. by Schalley, Andrea C.; Zaefferer, Dietmar, Berlin: Mouton de Gruyter, 2007, pp. 103-114.
- Pease, Adam (2011) „Ontology. A Practical Guide“, Angwin/CA: Articulate Software Pr., 2011.
- Pease, Adam; Li, John (2010) „Controlled English to Logic Translation“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 245-258.
- Pease, Adam; Niles, Ian (2002a) „IEEE Standard Upper Ontology: A Progress Report“, in: *Knowledge Engineering Review*, Vol. 17, No. 1, 2002, pp. 65-70.
- Peckhaus, Volker (1994) „Leibniz und die britischen Logiker des 19. Jahrhunderts“, erweiterte und revidierte Fassung des Vortrages, gehalten am 22. Juli 1994 auf dem VI. Internationalen Leibniz-Kongreß in Hannover, 1994.
- Peckhaus, Volker (1997) „Logik, Mathesis universalis und allgemeine Wissenschaft. Leibniz und die Wiederentdeckung der formalen Logik im 19. Jahrhundert“, zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Habil.-Schr., 1996, Berlin: Akademie-Verl., 1997.
- Peckhaus, Volker (1999) „19th Century Logic between Philosophy and Mathematics“, in: *Bulletin of Symbolic Logic*, Vol. 5, No. 4, 1999, pp. 433-450.
- Peckhaus, Volker (2000) „Was George Boole Really the 'Father' of Modern Logic?“, in: „A Boole Anthology. Recent and Classical Studies in the Logic of George Boole“, ed. by Gasser, James, Dordrecht et al.: Kluwer, 2000, pp. 271-285.
- Pednault, Edwin P.D. (1989) „ADL: Exploring the Middle Ground Between STRIPS and the Situation Calculus“, in: „Proceedings of the First International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Brachman, Ronald J.; Levesque, Hector J.; Reiter, Raymond, (Toronto/Ont., May 15-18, 1989), San Mateo/Cal.: Morgan Kaufmann, 1989, pp. 324-332.
- Pedrinaci, Carlos; Domingue, John (2007) „Towards an Ontology for Process Monitoring and Mining“, in: „SBPM 2007. Semantic Business Process and Product Lifecycle Management“, ed. by Hepp, Martin et al., Proceedings of the Workshop on Semantic Business Process and Product Lifecycle Management, held in conjunction with ESWC 2007, Innsbruck, Austria, June 7, 2007.
- Pedrinaci, Carlos; Domingue, John; Brelage, Christian; Van Lessen, Tammo; Karastoyanova, Dimka; Leymann, Frank (2008b) „Semantic Business Process Management: Scaling Up the Management of Business Processes“, *IEEE International Conference on Semantic Computing*, 2008, pp. 546-553.
- Pedrinaci, Carlos; Domingue, John; De Medeiros, Ana Karla Alves (2008a) „A Core Ontology for Business Process Analysis“, in: „The Semantic Web: Research and Applications“, ed. by Bechhofer, Sean et al., 5th European Semantic Web Conference, ESWC 2008, Tenerife, Canary Islands, Spain, June 1-5, 2008, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 49-64.
- Pedrinaci, Carlos; Domingue, John; Sheth, Amit P. (2011) „Semantic Web Services“, in: „Handbook of Semantic Web Technologies“, ed. by Domingue, John et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 977-1035.
- Pei, Eujin (2014a) „4D Printing - Revolution or Fad?“, in: *Assembly Automation*, Vol. 34, No. 2, 2014, pp. 123-127.
- Pei, Eujin (2014b) „4D Printing: Dawn of an Emerging Technology Cycle“, in: *Assembly Automation*, Vol. 34, No. 4, 2014, pp. 310-314.
- Pei, Eujin; Loh, Giselle Hsiang; Harrison, David; Almeida, Henrique de Amorim; Verona, Mario Domingo Monzón; Paz, Rubén (2017) „A Study of 4D Printing and Functionally Graded Additive Manufacturing“, in: *Assembly Automation*, Vol. 37, No. 2, 2017, pp. 147-153.

Bibliographie

- Peirce, Charles S. (1880) „On the Algebra of Logic“, in: *American Journal of Mathematics*, Vol. 3, No. 1, 1880, pp. 15-57.
- Peirce, Charles S. (1887) „Logical Machines“, in: *The American Journal of Psychology*, Vol. 1, No. 1, 1887, pp. 165-170.
- Peirce, Charles S. (1897) „The Logic of Relatives“, in: *The Monist*, Vol. 7, No. 2, 1897, pp. 161-217.
- Peirce, Charles S. (1898) „Reasoning and the Logic of Things“, ed. by Ketner, Kenneth L., *The Cambridge Conferences Lectures of 1898*, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1992.
- Peirce, Charles S. (1905a) „Issues of Pragmatism“, in: *The Monist*, Vol. 15, No. 4, 1905, pp. 481-499.
- Peirce, Charles S. (1905b) „What Pragmatism Is“, in: *The Monist*, Vol. 15, No. 2, 1905, pp. 161-181.
- Peirce, Charles S. (1906) „Prolegomena to an Apology for Pragmatism“, in: *The Monist*, Vol. 16, No. 4, 1906, pp. 492-546.
- Peirce, Charles S. (1933) „Collected Papers of Charles Sanders Peirce“, ed. by Hartshorne, Charles; Weiss, Paul, Vol. IV: *The Simplest Mathematics*, Cambridge/Mass.: Belknap Pr. of Harvard Univ. Pr., 1933.
- Peirce, Charles S. (1935) „Scientific Metaphysics“, in: „Collected Papers of Charles Sanders Peirce“, ed. by Hartshorne, Charles; Weiss, Paul, Vol. VI, 2nd Pr., Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1960.
- Peitgen, Heinz-Otto; Jürgens, Hartmut; Saupe, Dietmar (1994) „Chaos. Bausteine der Ordnung“, Neudr., Reinbek: Rowohlt, 1998.
- Peko, Gabrielle; Dong, Ching-Shen; Sundaram, David (2013) „Contextually Aware Adaptive Systems for Enterprise Transformation“, in: „Context-Aware Systems and Applications“, ed. by Vinh, Phan Cong et al., *First International Conference, ICCASA 2012*, Ho Chi Minh City, Vietnam, November 26-27, 2012, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 51-61.
- Peko, Gabrielle; Dong, Ching-Shen; Sundaram, David (2014) „Adaptive Sustainable Enterprises: A Framework, Architecture and Implementation“, in: „Context-Aware Systems and Applications“, ed. by Vinh, Phan Cong et al., *Second International Conference, ICCASA 2013*, Phu Quoc Island, Vietnam, November 25-26, 2013, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 293-303.
- Pelechano, Vicente; Fons, Joan; Albert, Manoli; Pastor, Oscar (2003) „Developing Web Applications from Conceptual Models“, in: „CAiSE '03 Forum“, ed. by Eder, Johann et al., *15th Conference on Advanced Information Systems Engineering*, Klagenfurt/Velden, Austria, 16-20 June, 2003, pp. 221-224.
- Pelletier, Francis J. (2011) „Descriptive Metaphysics, Natural Language Metaphysics, Sapir-Whorf, and All That Stuff: Evidence from the Mass-Count Distinction“, in: *The Baltic International Yearbook of Cognition, Logic and Communication*, Vol. 6, 2011, pp. 1-46.
- Penaz, Tomas; Dostal, Radek; Yilmaz, Isik; Marschalko, Marian (2014) „Design and Construction of Knowledge Ontology for Thematic Cartography Domain“, in: *Episodes: Journal of International Geoscience*, Vol. 37, No. 1, 2014, pp. 48-58.
- Penciuc, Diana; Durupt, Alexandre; Belkadi, Farouk; Eynard, Benoît; Rowson, Harvey (2014) „Towards a PLM Interoperability for a Collaborative Design Support System“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 25, 2014, pp. 369-376.
- Peng, Shanglian; He, Jia (2016) „Efficient Context-Aware Nested Complex Event Processing over RFID Streams“, in: „Web-Age Information Management“, ed. by Song, Shaoxu; Tong, Yongxin, *WAIM 2016 International Workshops, MWDA, SDMMW, and SemiBDMA*, Nanchang, China, June 3-5, 2016, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 125-136.
- Peng, Yun; Kang, Yan (2013) „Ontology-Based Dynamic Forms for Manufacturing Capability Information Collection“, in: „Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains“, ed. by Prabhu, Vittal et al., *IFIP WG 5.7 Int. Conference, APMS 2013*, State College, PA, USA, September 9-12, 2013, Proceedings, Part II, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 468-476.
- Penicina, Ludmila (2013) „Choosing a BPMN 2.0 Compatible Upper Ontology“, 2013, pp. 89-96.
- Penrose, Lionel S. (1959) „Self-Reproducing Machines“, in: *Scientific American*, Vol. 200, June, 1959, pp. 105-114.
- Penrose, Roger (1989) „The Emperor's New Mind. Concerning Computers, Minds, and The Laws of Physics“, New York, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1989.
- Penrose, Roger (1995) „Schatten des Geistes“, Heidelberg: Spektrum, 1995.
- Penrose, Roger (1997a) „The Large, the Small and the Human Mind“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1997.
- Penrose, Roger (1997b) „Warum wir zum Verständnis von Geist eine neue Physik brauchen“, in: „Was ist Leben? Die Zukunft der Biologie. Eine alte Frage in neuem Licht - 50 Jahre nach Erwin Schrödinger“, hrsg. v. Murphy, Michael P.; O'Neill, Luke A.J., Heidelberg et al.: Spektrum Akad. Verl., 1997, S. 135-150.

Bibliographie

- Penrose, Roger (2012) „Foreword“, in: „A Computable Universe“, ed. by Zenil, Hector, Singapore: World Scientific, 2012, pp. xiii- xxxvi.
- Pepels, Betsy; Plasmeyer, Rinus (2005) „Generating Applications from Object Role Models“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems 2005: CoopIS, DOA, and ODBASE: OTM Confederated International Conferences, CoopIS, DOA, and ODBASE“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 656-665.
- Peper, Ferdinand; Isokawa, Teijiro; Kouda, Noriaki; Matsui, Nobuyuki (2002) „Self-Timed Cellular Automata and their computational ability“, in: Future Generation Computer Systems, Vol. 18, No. 7, 2002, pp. 893-904.
- Peppas, Pavlos (2008) „Belief Revision“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 317-359.
- Pepper, Stephen C. (1926) „Emergence“, in: Journal of Philosophy, Vol. 23, No. 9, 1926, pp. 241-245.
- Pepper, Steve (2006) „The Case for Published Subjects“, Architecture and Philosophy of the Web: Identity, Reference, and the Web IRW2006, WWW2006 Workshop, Edinburgh/Scotland May 23rd, 2006.
- Perera, Charith; Jayaraman, Prem P.; Zaslavsky, Arkady; Christen, Peter; Georgakopoulos, Dimitrios (2014) „Context-Aware Dynamic Discovery and Configuration of 'Things' in Smart Environments“, in: „Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments“, ed. by Bessis, Nik; Dobre, Ciprian, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 215-241.
- Perera, Charith; Zaslavsky, Arkady; Christen, Peter; Georgakopoulos, Dimitrios (2013a) „Context Aware Computing for the Internet of Things: A Survey“, in: IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 16, No. 1, 2013, pp. 414-454.
- Perera, Charith; Zaslavsky, Arkady; Christen, Peter; Georgakopoulos, Dimitrios (2013b) „Sensing as a Service Model for Smart Cities Supported by Internet of Things“, in: Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, Vol. 25, No. 1, 2013, pp. 81-93.
- Perlis, Donald (1990) „Intentionality and Defaults“, in: International Journal of Expert Systems, Vol. 3, No. 4, 1990, pp. 345-354.
- Perovich, Anthony N., Jr. (1981) „Inkommensurabilität - ihre Unterarten und ihre ontologischen Konsequenzen“, in: „Versuchungen. Aufsätze zur Philosophie Paul Feyerabends“, hrsg. v. Duerr, Hans Peter, Bd. 2, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1981, S. 76-94.
- Perroud, Thierry; Inversini, Reto (2013) „Enterprise Architecture Patterns. Practical Solutions for Recurring IT-Architecture Problems“, Berlin et al.: Springer, 2013.
- Perry, John (1986) „From Worlds to Situations“, in: Journal of Philosophical Logic, Vol. 15, No. 1, 1986, pp. 83-107.
- Perry, Matthew; Hakimpour, Farshad; Sheth, Amit P. (2006) „Analyzing Theme, Space and Time: An Ontology-based Approach“, ed. by De By, Rolf A.; Nittel, Silvia, Proceedings, 14th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS '06), Arlington, VA, November 10-11, 2006, pp. 147-154.
- Perry, Matthew; Jain, Prateek; Sheth, Amit P. (2011) „SPARQL-ST: Extending SPARQL to Support Spatio-temporal Queries“, in: „Geospatial Semantics and the Semantic Web. Foundations, Algorithms, and Applications“, ed. by Ashish, Naveen; Sheth, Amit P., New York/NY: Springer, 2011, pp. 61-86.
- Persentili, Emine; Alptekin, Sema (1993) „Integration of Simulation Modeling and Computer Aided Production Management in Computer Integrated Enterprise“, in: Computers & Industrial Engineering, Vol. 25, 1993, pp. 191-194.
- Petersen, Steve (2013) „Toward an Algorithmic Metaphysics“, in: „Algorithmic Probability and Friends. Bayesian Prediction and Artificial Intelligence“, ed. by Dowe, David L., Papers from the Ray Solomonoff 85th Memorial Conference, Melbourne, VIC, Australia, November 30 - December 2, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 306-317.
- Peterson, Philip L. (1989) „Complex Events“, in: Pacific Philosophical Quarterly, Vol. 70, No. 1, 1989, pp. 19-41.
- Petnga, Leonard; Austin, Mark (2013) „Ontologies of Time and Time-based Reasoning for MBSE of Cyber-Physical Systems“, in: Procedia Computer Science, Vol. 16, 2013, pp. 403-412.
- Petraglio, Enrico; Henry, Jean-Marc; Tempesti, Gianluca (1999) „Arithmetic Operations on Self-Replicating Cellular Automata“, in: „Advances in Artificial Life“, ed. by Floreano, Dario; Nicoud, Jean-Daniel; Mondada, Francesco, Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 447-456.
- Petri, Carl A. (1962) „Kommunikation mit Automaten“, Institut für instrumentelle Mathematik der Univ. Bonn, Bonn, 1962.

Bibliographie

- Petri, Carl A. (1963) „Fundamentals of a Theory of Asynchronous Information Flow“, in: „Information Processing 1962. Proceedings of IFIP Congress 62“, ed. by Popplewell, Cicely M., Amsterdam: North-Holland, 1963, pp. 386-390.
- Petri, Carl A. (1982) „State-Transition Structures in Physics and in Computation“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, No. 12, 1982, pp. 979-992.
- Petrie, Charles J. (1992) „Introduction“, in: „Enterprise Integration Modeling“, ed. by Petrie, Charles J., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1992, pp. 1-13.
- Petrie, Charles J. (2007) „No Science without Semantics“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 11, No. 4, 2007, pp. 86-88.
- Petrie, Charles J. (2009) „The Semantics of 'Semantics'“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 13, No. 5, 2009, pp. 94-96.
- Petrie, Charles J. (2011) „Enterprise Coordination on the Internet“, in: *Future Internet*, Vol. 3, No. 1, 2011, pp. 49-66.
- Petrie, Charles J.; Genesereth, Michael R.; Bjornsson, Hans; Chirkova, Rada; Ekstrom, Martin; Gomi, Hidehito et al. (2004) „Adding AI to Web Services“, in: „Agent-Mediated Knowledge Management“, ed. by Van Elst, Ludger et al., International Symposium AMKM 2003, Stanford, CA, USA, March 24-26, Revised and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 322-338.
- Petrie, Charles J.; Hochstein, Axel; Genesereth, Michael R. (2011) „Semantics for Smart Services“, in: „The Science of Service Systems“, ed. by Demirkan, Haluk et al., New York/NY et al.: Springer, 2011, pp. 91-105.
- Petrosky, Tomio Y.; Ordonez, Gonzalo; Prigogine, Ilya (2003) „Irreversibility, Probabilities and Dressed Unstable States in Quantum Mechanics“, in: *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol. 72, Supplement C, 2003, pp. 12-17.
- Petrosky, Tomio Y.; Prigogine, Ilya (1990) „Laws and Events: The Dynamical Basis of Self-Organization“, in: *Canadian Journal of Physics*, Vol. 68, No. 9, 1990, pp. 670-682.
- Petrov, Vesselin (2011) „Process Ontology in the Context of Applied Philosophy“, in: „Ontological Landscapes. Recent Thought on Conceptual Interfaces between Science and Philosophy“, ed. by Petrov, Vesselin, Frankfurt et al.: Ontos, 2011, pp. 137-156.
- Petrucchi, Giulio; Ghidini, Chiara; Rospocher, Marco (2016) „Ontology Learning in the Deep“, in: „Knowledge Engineering and Knowledge Management“, ed. by Blomqvist, Eva et al., 20th International Conference, EKAW 2016, Bologna, Italy, November 19-23, 2016, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 480-495.
- Pezzotta, Giuditta; Cavalieri, Sergio; Gaiardelli, Paolo (2010) „Product-Service Engineering Process: Theoretical and Empirical Evidences“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 699-711.
- Pfeifer, Rolf; Bongard, Josh (2007) „How the Body Shapes the Way we Think: A New View of Intelligence“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2007.
- Pfeifer, Rolf; Iida, Fumiya (2004) „Embodied Artificial Intelligence: Trends and Challenges“, in: „Embodied Artificial Intelligence“, ed. by Iida, Fumiya et al., International Seminar, Dagstuhl Castle, Germany, July 7-11, 2003, Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 1-26.
- Pfeifer, Rolf; Iida, Fumiya; Bongard, Josh (2005) „New Robotics: Design Principles for Intelligent Systems“, in: *Artificial Life*, Vol. 11, No. 1/2, 2005, pp. 99-120.
- Pfisterer, Dennis; Römer, Kay; Bimschas, Daniel; Kleine, Oliver; Mietz, Richard; Truong, Cuong; Hasemann, Henning et al. (2011) „SPITFIRE: Toward a Semantic Web of Things“, in: *IEEE Communications Magazine*, Vol. 49, No. 11, 2011, pp. 40-48.
- Pfrommer, Julius; Schleipen, Miriam; Beyerer, Jürgen (2013) „PPRS: Production Skills and their Relation to Product, Process, and Resource“, 2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), Cagliari, 2013, pp. 1-4.
- Pham, Cong Cuong; Durupt, Alexandre; Matta, Nada; Eynard, Benoit (2016) „Knowledge Sharing Using Ontology Graph-Based: Application in PLM and Bio-Imaging Contexts“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 238-247.
- Phan, Nhathai; Dou, Dejing; Wang, Hao; Kil, David; Piniewski, Brigitte (2017) „Ontology-based Deep Learning for Human Behavior Prediction With Explanations in Health Social Networks“, in: *Information Sciences*, Vol. 384, 2017, pp. 298-313.

Bibliographie

- Philipse, Herman (2001) „What is a Natural Conception of the World?“, in: *International Journal of Philosophical Studies*, Vol. 9, No. 3, 2001, pp. 385-399.
- Phillips, Robert L. (1965) „Logical Subjects and Descriptive Metaphysics“, in: *Theoria*, Vol. 31, No. 3, 1965, pp. 278-282.
- Phillips, Robert L. (1967) „Descriptive versus Revisionary Metaphysics and the Mind-Body Problem“, in: *Philosophy*, Vol. 42, No. 160, 1967, pp. 105-118.
- Piaget, Jean (1950) „Die Entwicklung des Erkennens I. Das mathematische Denken“, (dt. Übers. v. 'Introduction à l'Épistémologie Génétique. Tome I: La Pensée Mathématique', Paris: Presses Universitaires de France, 1950), Stuttgart: Klett, 1975.
- Piaget, Jean (1959) „Genese und Struktur in der Psychologie“, in: „Der moderne Strukturbegriff“, hrsg. v. Naumann, Hans, Darmstadt: Wiss. Buchges., 1973, S. 281-295.
- Piaget, Jean (1972) „The Epistemology of Interdisciplinary Relationships“, in: „Interdisciplinarity. Problems of Teaching and Research in Universities“, ed. by Apostel, Léo et al., Report, based on the results of a Seminar on Interdisciplinarity in Universities which was organised by CERI (Centre for Educational Research and Innovation), Sept. 7th-12th, 1970, Paris: OECD, 1972, pp. 127-139.
- Piaget, Jean (1973) „Der Strukturalismus“, Olten: Walter Verl., 1973.
- Pichler, Horst; Eder, Johann (2011) „Business Process Modeling and Workflow Design“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 259-286.
- Pierra, Guy (2004) „Context-Explication in Conceptual Ontologies: PLIB Ontologies and their Use for Industrial Data“, 2004.
- Pika, Anastasiia; Van der Aalst, Wil M.P.; Fidge, Colin J.; ter Hofstede, Arthur H.M.; Wynn, Moe T. (2013) „Predicting Deadline Transgressions Using Event Logs“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by La Rosa, Marcello; Soffer, Pnina, BPM 2012 International Workshops Tallinn, Estonia, September 3, 2012, Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 211-216.
- Pike, William; Gahegan, Mark (2007) „Beyond Ontologies: Toward Situated Representations of Scientific Knowledge“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 65, No. 7, 2007, pp. 674-688.
- Pincock, Christopher (2002) „Russell's Influence On Carnap's Aufbau“, in: *Synthese*, Vol. 131, No. 1, 2002, pp. 1-37.
- Pinna, G. Michele; Poigné, Axel (1995a) „Event Automata as a Generic Model of Reactive Systems“, in: „KORSO: Methods, Languages, and Tools for the Construction of Correct Software“, ed. by Broy, Manfred; Jähnichen, Stefan, Berlin et al.: Springer, 1995, pp. 74-91.
- Pinna, G. Michele; Poigné, Axel (1995b) „On the Nature of Events: Another Perspective in Concurrency“, in: *Theoretical Computer Science*, Vol. 138, No. 2, 1995, pp. 425-454.
- Pinto, Helena Sofia; Martins, João P. (2002) „Evolving Ontologies in Distributed and Dynamic Settings“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Fensel, Dieter et al., Proceedings of the Eighth International Conference (KR2002), Toulouse, France, April 22-25, 2002, San Francisco/Calif.: Morgan Kaufmann, 2002, pp. 365-374.
- Pinto, Helena Sofia; Martins, João P. (2004) „Ontologies: How can They be Built?“, in: *Knowledge and Information Systems*, Vol. 6, No. 4, 2004, pp. 441-464.
- Pinto, Helena Sofia; Tempich, Christoph; Staab, Steffen (2009) „Ontology Engineering and Evolution in a Distributed World Using DILIGENT“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 153-176.
- Pintus, Antonio; Carboni, Davide; Piras, Andrea (2012) „Paraimpu: a Platform for a Social Web of Things“, *WWW 2012 Companion*, April 16-20, 2012, Lyon/France, 2012, pp. 401-404.
- Pires, Antonio; Landau, David P.; Herrmann, Hans J. (eds.) (1990) „Workshop on Computational Physics and Cellular Automata“, (Ouro Preto, Brazil, August 8-11, 1989), Singapore et al.: World Scientific, 1990.
- Pirlein, Thomas; Studer, Rudi (1995) „An Environment for Reusing Ontologies Within a Knowledge Engineering Approach“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 945-965.
- Pisanelli, Domenico M.; Gangemi, Aldo (2004) „If Ontology is the Solution, What is the Problem?“, in: „Ontologies in Medicine“, ed. by Pisanelli, Domenico M., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 1-19.
- Pisanelli, Domenico M.; Gangemi, Aldo; Steve, Geri (2002) „Ontologies and Information Systems: the Marriage of the Century?“, in: *New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques*, Amsterdam: IOS Pr., 2002, pp. 125-133.
- Pisanelli, Domenico M.; Zaccagnini, Davide; Capurso, Lucio; Koch, Maurizio (2003) „An Ontological Approach to Evidence-Based Medicine and Meta-Analysis“, in: „The New Navigators: From Professionals to

Bibliographie

- Patients. Proceedings of Medical Informatics Europe 2003“, ed. by Baud, Robert et al., Amsterdam: IOS Pr., 2003, pp. 543-548.
- Pitney Bowes (2009) „Driving a Coherent IT Infrastructure with an Enterprise Ontology“, White Paper, Troy/NY, 2009.
- Pitowsky, Itamar (1989) „Quantum Probability - Quantum Logic“, Berlin et al.: Springer, 1989.
- Pitowsky, Itamar (1994) „George Boole's 'Conditions of Possible Experience' and the Quantum Puzzle“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 45, No. 1, 1994, pp. 95-125.
- Pitt, Joseph C. (2008) „Common Sense“, in: „Rescher Studies: A Collection of Essays on the Philosophical Work of Nicholas Rescher“, ed. by Almeder, Robert F., Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 253-259.
- Pitt, Joseph C. (2013) „Fitting Engineering into Philosophy“, in: „Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process“, ed. by Michelfelder, Diane P. et al., Dordrecht et al.: Springer, 2013, pp. 91-101.
- Pittendrigh, Colin S. (1958) „Adaptation, Natural Selection, and Behavior“, in: „Behavior and Evolution“, ed. by Roe, Anne; Simpson, George G., New Haven/CT: Yale Univ. Pr., 1958, pp. 390-416.
- Plamondon, Ann (1977) „Whitehead and the Philosophy of Science“, in: „Mind in Nature: Essays on the Interface of Science and Philosophy“, ed. by Cobb, John B., Jr.; Griffin, David Ray, Washington: Univ. Pr. of America, 1977, pp. 109-120.
- Plamondon, Ann (1979) „Whitehead's Organic Philosophy of Science“, Albany: State Univ. of New York Pr., 1979.
- Planck, Max (1929) „Das Weltbild der neuen Physik“, in: *Monatshefte für Mathematik und Physik*, Bd. 36, Nr. 1, 1929, S. 387-410.
- Plantinga, Alvin (1974) „The Nature of Necessity“, Oxford: Clarendon Pr., 1974.
- Plantinga, Alvin (1976) „Actualism and Possible Worlds“, in: *Theoria*, Vol. 42, No. 1-3, 1976, pp. 139-160.
- Plantinga, Alvin (1995) „Haeceity“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, p. 199.
- Platon (Soph.) „Sophistes“, in: „Platon. Sämtliche Dialoge“, hrsg. v. Apelt, Otto, Bd. 6 (unveränd. Nachdr. d. 2., durchges. Aufl., Leipzig: Meiner, 1922), Hamburg: Meiner, 2004.
- Platon (Theait.) „Platons Dialog Theätet“, übersetzt und erläutert von Otto Apelt, 2., der neuen Übers. 1. Aufl., Leipzig: Dürr, 1911.
- Poels, Geert (2010a) „A Conceptual Model of Service Exchange in Service-Dominant Logic“, in: „Exploring Services Science“, ed. by Morin, Jean-Henry et al., First International Conference, IESS 2010, Geneva, Switzerland, February 17-19, 2010, Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 224-238.
- Poels, Geert (2010b) „The Resource-Service-System Model for Service Science“, in: „Advances in Conceptual Modeling - Applications and Challenges“, ed. by Trujillo, Juan et al., ER 2010 Workshops ACM-L, CMLSA, CMS, DE@ER, FP-UML, SeCoGIS, WISM, Vancouver/BC, Canada, November 1-4, 2010, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 117-126.
- Poels, Geert (2011) „Understanding Business Domain Models: The Effect of Recognizing Resource-Event-Agent Conceptual Modeling Structures“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 22, No. 1, 2011, pp. 69-101.
- Poels, Geert; Van Der Vurst, Griet; Lemey, Elisah (2013) „Towards an Ontology and Modeling Approach for Service Science“, in: „Exploring Services Science“, ed. by Falcão e Cunha, João et al., 4th International Conference, IESS 2013, Porto, Portugal, February 7-8, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 285-291.
- Poggi, Agostino; Tomaiuolo, Michele; Turci, Paola (2007) „An Agent-Based Service Oriented Architecture“, 8th AI*IA/TABOO Joint Workshop "From Objects to Agents": Agents and Industry: Technological Applications of Software Agents, 24-25 September 2007, Genova/Italy, 2007.
- Pohjola, Pasi (2007) „Technical Artefacts. An Ontological Investigation of Technology“, Diss., Univ. Jyväskylä, Finland, 2007.
- Polanyi, Michael (1958) „Personal Knowledge. Towards a Post-Critical Philosophy“, 2nd ed., London: Routledge and Kegan Paul, 1962.
- Polanyi, Michael (1967) „The Tacit Dimension“, London: Routledge and Kegan Paul, 1967.
- Polanyi, Michael (1968) „Life's Irreducible Structure. Live Mechanisms and Information in DNA are Boundary Conditions with a Sequence of Boundaries Above Them“, in: *Science*, Vol. 160, No. 3834, 21 June, 1968, pp. 1308-1312.
- Poletaeva, Tatiana; Abdulrab, Habib; Babkin, Eduard (2014) „Ontological Framework of the Information Systems Aimed to Facilitate Business Transformations“, in: „ONTO-COM-ODISE 2014. Ontologies in

Bibliographie

- Conceptual Modeling and Information Systems Engineering“, ed. by Guizzardi, Giancarlo et al., Proceedings of the 1st Joint Workshop ONTO.COM / ODISE on Ontologies in Conceptual Modeling and Information Systems Engineering, Rio de Janeiro, Brazil, September 21, 2014, pp. 1-12.
- Poli, Roberto (1995) „Bimodality of Formal Ontology and Mereology“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 687-696.
- Poli, Roberto (1996) „Ontology for Knowledge Organization“, in: „*Knowledge Organization and Change*“, ed. by Green, R., Frankfurt: Indeks, 1996, pp. 313-319.
- Poli, Roberto (1998) „Levels“, in: *Axiomathes*, Nos. 1-2, 1998, pp. 197-211.
- Poli, Roberto (2001a) „Foreword“, in: *Axiomathes*, Vol. 12, No. 1-2, 2001, pp. 1-5.
- Poli, Roberto (2001b) „The Basic Problem of the Theory of Levels of Reality“, in: *Axiomathes*, Vol. 12, No. 3-4, 2001, pp. 261-283.
- Poli, Roberto (2002a) „Glancing at the Problems of Contemporary Ontology“, in: *Scire: Representación y organización del conocimiento*, Vol. 8, No. 1, 2002, pp. 17-40.
- Poli, Roberto (2002b) „Ontological Methodology“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 56, 2002, pp. 639-664.
- Poli, Roberto (2003a) „Descriptive, Formal and Formalized Ontologies“, in: „*Husserl's Logical Investigations Reconsidered*“, ed. by Fiset, Denis, Dordrecht: Kluwer, 2003, pp. 183-210.
- Poli, Roberto (2003b) „Ontology, Step by Step“, in: „*New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques*“, ed. by Fujita, H.; Johannesson, P., Proceedings of Lyee_W03, IOS Pr., 2003, pp. 60-70.
- Poli, Roberto (2004) „Process Semantics“, in: „*After Whitehead. Rescher on Process Metaphysics*“, ed. by Weber, Michel, Heusenstamm: Ontos, 2004, pp. 267-288.
- Poli, Roberto (2010a) „Ontology: The Categorial Stance“, in: „*Theory and Applications of Ontology: Philosophical Perspectives*“, ed. by Poli, Roberto; Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 1-22.
- Poli, Roberto (2010b) „An Introduction to the Ontology of Anticipation“, in: *Futures*, Vol. 42, No. 7, 2010, pp. 769-776.
- Poli, Roberto (2011a) „Ontological Categories, Latents and the Irrational“, in: „*Ontological Categories*“, ed. by Cumpa, Javier; Tegtmeier, Erwin, Frankfurt/Main: Ontos, 2011, pp. 153-164.
- Poli, Roberto (2011b) „Ontology as Categorial Analysis“, in: „*Classification & Ontology. Formal Approaches and Access to Knowledge*“, ed. by Slavic, Aida; Civalero, Edgardo, Proceedings of the International UDC Seminar 19-20 September 2011, The Hague, The Netherlands, Würzburg: Ergon, 2011, pp. 145-157.
- Poli, Roberto; Obrst, Leo (2010) „The Interplay Between Ontology as Categorial Analysis and Ontology as Technology“, in: „*Theory and Applications of Ontology: Computer Applications*“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 1-26.
- Poli, Roberto; Simons, Peter (1996) „Foreword“, in: „*Formal Ontology*“, ed. by Poli, Roberto; Simons, Peter, Dordrecht et al.: Kluwer, 1996, pp. vii-viii.
- Pollard, Evangeline; Morignot, Philippe; Nashashibi, Fawzi (2013) „An Ontology-based Model to Determine the Automation Level of an Automated Vehicle for Co-Driving“, 16th International Conference on Information Fusion, Istanbul/Turkey, July 9-12, 2013, pp. 596-603.
- Pollio, Howard R. (1963) „A Simple Matrix Analysis of Associative Structure“, in: *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol. 2, No. 2, 1963, pp. 166-169.
- Pollio, Howard R. (1966) „The Structural Basis of Word Association Behavior“, The Hague et al.: Mouton, 1966.
- Pollock, John L. (1997) „Reasoning about Change and Persistence: A Solution to the Frame Problem“, in: *Noûs*, Vol. 31, No. 2, 1997, pp. 143-169.
- Pollock, John L. (1998) „Procedural Epistemology“, in: „*The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy*“, ed. by Bynum, Terrell W.; Moor, James H., Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 17-36.
- Pombinho, João; Aveiro, David; Tribolet, José (2014) „Aligning e3Value and DEMO - Combining Business Modelling and Enterprise Engineering“, 2014.
- Pombinho, João; Tribolet, José (2012) „Towards Modeling the Value of a System's Production - Matching DEMO and e3Value“, 2012.
- Pombinho, João; Tribolet, José (2012) „Service System Design and Engineering - A Value-Oriented Approach Based on DEMO“, in: „*Exploring Services Science*“, ed. by Snene, Mehdi, Third International Conference, IESS 2012, Geneva, Switzerland, February 15-17, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 243-257.

Bibliographie

- Poniszewska-Maranda, Aneta; Kaczmarek, Daniel (2015) „Selected Methods of Artificial Intelligence for Internet of Things Conception“, Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems, 2015, pp. 1343-1348.
- Poole, David L.; Mackworth, Alan K. (2010) „Artificial Intelligence. Foundations of Computational Agents“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2010.
- Pop, Daniel; Iuhasz, Gabriel; Petcu, Dana (2016) „Distributed Platforms and Cloud Services: Enabling Machine Learning for Big Data“, in: „Data Science and Big Data Computing. Frameworks and Methodologies“, ed. by Mahmood, Zaigham, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 139-159.
- Popper, Karl R. (1959) „The Logic of Scientific Discovery“, London: Hutchinson, 1959.
- Popper, Karl R. (1962) „Die Logik der Sozialwissenschaften. Referat“, in: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, 14. Jg., 1962, S. 233-248.
- Popper, Karl R. (1963a) „Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge“, London: Routledge and Kegan Paul, 1963.
- Popper, Karl R. (1963b) „Über die Unwiderlegbarkeit philosophischer Theorien einschließlich jener, welche falsch sind“, in: Club Voltaire, Bd. 1, 1963, S. 271-279.
- Popper, Karl R. (1965) „Of Clouds and Clocks: An Approach to the Problem of Rationality and the Freedom of Man“, (the Arthur Holly Compton Memorial Lecture, presented at Washington Univ. on 21 Apr. 1965), Washington Univ., 1966.
- Popper, Karl R. (1967) „Epistemology Without a Knowing Subject“, in: „Logic, Methodology and Philosophy of Science III“, ed. by Van Rootselaar, Bob; Staal, Johan Fredrik, Proceedings of the Third International Congress for Logic, Methodology and Philosophy of Science, Amsterdam 1967, Amsterdam: North-Holland, 1968, pp. 333-373.
- Popper, Karl R. (1971) „Das Elend des Historizismus“, 3., verb. Aufl., Tübingen: Mohr, 1971.
- Popper, Karl R. (1972a) „Objective Knowledge. An Evolutionary Approach“, Rev. ed., Oxford: Clarendon Pr., 1979.
- Popper, Karl R. (1972b) „Wissenschaftliche Reduktion und die essentielle Unvollständigkeit der Wissenschaft“, in: „Alles Leben ist Problemlösen. Über Erkenntnis, Geschichte und Politik“, hrsg. v. Popper, Karl R., 6. Aufl., München, Zürich: Piper, 2001, S. 47-92.
- Popper, Karl R. (1973) „Evolutionäre Erkenntnistheorie“, in: „Lesebuch. Ausgewählte Texte zu Erkenntnistheorie, Philosophie der Naturwissenschaften, Metaphysik, Sozialphilosophie“, hrsg. v. Miller, David, 2., durchges. Aufl., Tübingen: Mohr Siebeck, 1997, S. 60-69.
- Popper, Karl R. (1974a) „Scientific Reduction and the Essential Incompleteness of All Science“, in: „Studies in the Philosophy of Biology“, ed. by Ayala, Francisco J.; Dobzhansky, Theodosius, London et al.: Macmillan, 1974, pp. 259-284.
- Popper, Karl R. (1974b) „Replies to My Critics: Campbell on the Evolutionary Theory of Knowledge“, in: „The Philosophy of Karl Popper“, ed. by Schilpp, Paul Arthur, Book II, La Salle/Ill.: Open Court, 1974, pp. 1059-1065.
- Popper, Karl R. (1978a) „Three Worlds“, The Tanner Lecture on Human Values, delivered at the University of Michigan, April 7, 1978.
- Popper, Karl R. (1979) „Ausgangspunkte. Meine intellektuelle Entwicklung“, 1. Aufl. (dt. Übers. v.: 'Unended Quest. An Intellectual Autobiography', London, Glasgow: Fontana/Collins, 1974), Hamburg: Hoffmann u. Campe, 1979.
- Popper, Karl R. (1982a) „The Open Universe. An Argument for Indeterminism“, London, New York: Routledge, 1982.
- Popper, Karl R. (1982b) „Quantum Theory and the Schism in Physics“, Totowa/N.J.: Rowman and Littlefield, 1982.
- Popper, Karl R. (1987a) „Die erkenntnistheoretische Position der Evolutionären Erkenntnistheorie“, in: „Die Evolutionäre Erkenntnistheorie“, hrsg. v. Riedl, Rupert; Wuketits, Franz M., Berlin, Hamburg: Parey, 1987, S. 29-37.
- Popper, Karl R. (1992a) „Die offene Gesellschaft und ihre Feinde. Band I: Der Zauber Platons“, 7. Aufl. mit weitgehenden Verb. und neuen Anh., Tübingen: Mohr, 1992.
- Popper, Karl R. (1992b) „Die offene Gesellschaft und ihre Feinde. Band II: Falsche Propheten. Hegel, Marx und die Folgen“, 7. Aufl. mit weitgehenden Verb. und neuen Anh., Tübingen: Mohr, 1992.
- Popper, Karl R. (1994a) „Knowledge and the Shaping of Reality: The Search for a Better World“, in: „In Search of a Better World. Lectures and Essays from Thirty Years“, ed. by Popper, Karl R., London, New York: Routledge, 1994, pp. 3-29.

Bibliographie

- Popper, Karl R. (1994b) „On Knowledge and Ignorance“, in: „In Search of a Better World. Lectures and Essays from Thirty Years“, ed. by Popper, Karl R., London, New York: Routledge, 1994, pp. 30-43.
- Popper, Karl R. (1994c) „Logik der Forschung“, Nachdr. der 10., verb. u. verm. Aufl., Tübingen: Mohr Siebeck, 2002.
- Popper, Karl R. (1994d) „The Logic of the Social Sciences“, in: „In Search of a Better World. Lectures and Essays from Thirty Years“, ed. by Popper, Karl R., London, New York: Routledge, 1994, pp. 64-81.
- Popper, Karl R. (1997a) „Der Realismus“, in: „Lesebuch. Ausgewählte Texte zu Erkenntnistheorie, Philosophie der Naturwissenschaften, Metaphysik, Sozialphilosophie“, hrsg. v. Miller, David, 2., durchges. Aufl., Tübingen: Mohr Siebeck, 1997, S. 205-210.
- Popper, Karl R. (1997b) „Metaphysik und Kritisierbarkeit“, in: „Lesebuch. Ausgewählte Texte zu Erkenntnistheorie, Philosophie der Naturwissenschaften, Metaphysik, Sozialphilosophie“, hrsg. v. Miller, David, 2., durchges. Aufl., Tübingen: Mohr Siebeck, 1997, S. 194-204.
- Popper, Karl R. (2001) „Die Welt des Parmenides. Der Ursprung des europäischen Denkens“, München, Zürich: Piper, 2001.
- Popper, Karl R. (2002a) „Alle Menschen sind Philosophen“, München, Zürich: Piper, 2002.
- Popper, Karl R. (2002b) „Realismus und das Ziel der Wissenschaft“, in: „Aus dem Postskript zur Logik der Forschung, Bd. 1“, hrsg. v. Bartley, William W. III, (Gesammelte Werke, Bd. 7), Tübingen: Mohr Siebeck, 2002.
- Popper, Karl R. (2012) „Wissen und das Leib-Seele-Problem. Eine Verteidigung der Interaktionstheorie“, Tübingen: Mohr Siebeck, 2012.
- Popper, Karl R.; Eccles, John C. (1977) „The Self and Its Brain“, London et al.: Routledge & Kegan Paul, 1983.
- Popper, Karl R.; Lorenz, Konrad (1985) „Die Zukunft ist offen. Das Altenberger Gespräch. Mit den Texten des Wiener Popper-Symposiums“, hrsg. v. Kreuzer, Franz, München, Zürich: Piper, 1985.
- Porter, Michael E.; Heppelmann, James E. (2014) „How Smart, Connected Products Are Transforming Competition“, in: Harvard Business Review, Vol. 92, No. 11, 2014, pp. 64-88.
- Portner, Paul H. (1992) „Situation Theory and the Semantics of Propositional Expressions“, Ph.D. Thesis, Univ. of Massachusetts/Amherst, Department of Linguistics, 1992.
- Porto, Fabio; de C. Moura, Ana Maria; Goncalves, Bernardo; Costa, Ramon; Spaccapietra, Stefano (2012) „A Scientific Hypothesis Conceptual Model“, in: „Advances in Conceptual Modeling“, ed. by Castano, Silvana et al., ER 2012 Workshops CMS, ECDM-NoCoDA, MoDIC, MORE-BI, RIGiM, SeCoGIS, WISM, Florence, Italy, October 15-18, 2012. Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 101-110.
- Porto, Fabio; Spaccapietra, Stefano (2011) „Data Model for Scientific Models and Hypotheses“, in: „The Evolution of Conceptual Modeling“, ed. by Kaschek, Roland; Delcambre, Lois, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 285-305.
- Porzel, Robert; Warden, Tobias (2010) „Working Simulations with a Foundational Ontology“, in: European Conference in Artificial Intelligence. Workshop on Artificial Intelligence and Logistics (AILog), 2010, pp. 67-72.
- Poser, Hans (1979) „Signum, notio und idea. Elemente der Leibnizschen Zeichentheorie“, in: Zeitschrift für Semiotik, 1. Jg., Nr. 4, 1979, S. 309-324.
- Poser, Hans (1986) „Whiteheads Kosmologie als revidierbare Metaphysik“, in: „Whiteheads Metaphysik der Kreativität“, hrsg. v. Rapp, Friedrich; Wiehl, Reiner, Int. Whitehead-Symposium Bad Homburg 1983, Freiburg, München: Alber, 1986, S. 105-125.
- Poser, Hans (1988) „Gibt es noch eine Einheit der Wissenschaften? Zum Wissenschaftsverständnis der Gegenwart“, in: „Technologisches Zeitalter oder Postmoderne“, hrsg. v. Zimmerli, Walther Ch., München: Fink, 1988, S. 111-126.
- Poser, Hans (1998) „Mathesis Universalis and Scientia Singularis. Connections and Disconnections between Scientific Disciplines“, in: Philosophia Naturalis, Bd. 35, Nr. 1, 1998, S. 3-21.
- Poser, Hans (2005) „Die Integration der Wissenschaften und die Theorie des Komplexen“, in: „1. Symposium zur Gründung einer Deutsch-Japanischen Akademie für integrative Wissenschaft“, hrsg. v. Daiseionji e.V. und der Leibniz-Gemeinschaft e.V., Dettelbach: Röhl, 2005, S. 89-97.
- Poser, Hans (2006) „Wissenschaftsmodelle des Neuen und ihre Grenzen. Kreativität und die Theorien der Komplexität“, in: „Kreativität“, hrsg. v. Abel, Günter, Hamburg: Meiner, 2006, S. 966-982.
- Poser, Hans (2007) „Harmony and Self-Organization“, in: „Dynamisches Denken und Handeln. Philosophie und Wissenschaft in einer komplexen Welt“, hrsg. v. Leiber, Theodor, Festschrift für Klaus Mainzer zum 60. Geburtstag, Stuttgart: Hirzel, 2007, S. 237-254.

Bibliographie

- Poser, Hans (2012) „Komplexität, Integration und Harmonie. Der Aufbruch zu einer neuen Sicht von Mensch und Welt“, in: „Integration als globale Herausforderung der Menschheit“, hrsg. v. Daiseion-ji e.V.; aca-tech, Dettelbach: Röhl, 2012, S. 57-70.
- Poser, Hans (2016) „Leibniz' Philosophie. Über die Einheit von Metaphysik und Wissenschaft“, hrsg. v. Li, Wenchao, Hamburg: Meiner, 2016.
- Post, Heinz R. (1960) „Simplicity in Scientific Theories“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 11, No. 41, 1960, pp. 32-41.
- Post, Heinz R. (1962) „A Criticism of Popper's Theory of Simplicity“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 12, No. 48, 1962, pp. 328-331.
- Potiron, Katia; El Fallah Seghrouchni, Amal; Taillibert, Patrick (2013) „From Fault Classification to Fault Tolerance for Multi-Agent Systems“, London: Springer, 2013.
- Prades Martell, Lledó; Romero Subirón, Fernando; Estruch Ivars, Antonio; García-Domínguez, Antonio; Serrano Mira, Julio (2013) „Defining a Methodology to Design and Implement Business Process Models in BPMN according to the Standard ANSI/ISA-95 in a Manufacturing Enterprise“, in: *Procedia Engineering*, Vol. 63, 2013, pp. 115-122.
- Prater, Jean; Mueller, Ralf; Beauregard, Bill (2011) „An Ontological Approach to Oracle BPM“, in: „The Semantic Web“, ed. by Pan, Jeff Z. et al., *Proceedings Joint International Semantic Technology Conference, JIST 2011, Hangzhou/China, December 4-7, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 402-410.*
- Preden, Jurgo; Kaugerand, Jaanus; Suurjaak, Erki; Astapov, Sergei; Motus, Leo; Pahtma, Raido (2015) „Data to Decision: Pushing Situational Information Needs to the Edge of the Network“, *IEEE International Interdisciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA), Orlando/FL, 9-12 March, 2015, pp. 158-164.*
- Preist, Chris (2004) „A Conceptual Architecture for Semantic Web Services“, in: „The Semantic Web - ISWC 2004“, ed. by McIlraith, Sheila A. et al., *Third International Semantic Web Conference, Hiroshima, Japan, November 7-11, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 395-409.*
- Prescott, Tony J.; Mayhew, John E.W. (1993) „Building Long-Range Cognitive Maps Using Local Landmarks“, in: „From Animals to Animats 2: Proceedings of the Second International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour, Hawaii, 1992“, ed. by Meyer, Jean-Arcady; Roitblat, Herbert L.; Wilson, Stewart W., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1993, pp. 233-242.
- Presser, Mirko; Daras, Petros; Baker, Nigel; Karnouskos, Stamatis; Gluhak, Alexander et al. (2008) „Real World Internet. Position Paper“, 2008.
- Prestes, Edson et al. (2013) „Towards a Core Ontology for Robotics and Automation“, in: *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 61, No. 11, 2013, pp. 1193-1204.
- Prestes, Edson et al. (2014) „Core Ontology for Robotics and Automation“, ed. by Gonçalves, Paulo J.S. et al., *Proceedings of the 1st Standardized Knowledge Representation and Ontologies for Robotics and Automation, Workshop Chicago, Illinois/USA, 18th September, 2014, pp. 7-9.*
- Preston, Beth (2006) „Social Context and Artefact Function“, in: *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 37-41.
- Preston, Beth (2009) „Philosophical Theories of Artifact Function“, in: „Handbook of Philosophy of Technology and Engineering Sciences“, ed. by Meijers, Anthonie, Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 213-233.
- Preston, Beth (2014) „Ethnotechnology: A Manifesto“, in: „Artefact Kinds. Ontology and the Human-Made World“, ed. by Franssen, Maarten et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 145-163.
- Preuß, Heinzwerner (1997) „Materie ist nicht materiell. Die Bedeutung der Quantenchemie für unser Denken und Handeln“, Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1997.
- Pribram, Karl H. (1996) „Interfacing Complexity at a Boundary Between the Natural and Social Sciences“, in: „Evolution, Order and Complexity“, ed. by Khalil, Elias L.; Boulding, Kenneth E., London, New York: Routledge, 1996, pp. 40-60.
- Price, David; Bodington, Rob (2004) „Applying Semantic Web Technology to the Life Cycle Support of Complex Engineering Assets“, in: „The Semantic Web - ISWC 2004“, ed. by McIlraith, Sheila A. et al., *Third International Semantic Web Conference, Hiroshima, Japan, November 7-11, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 812-822.*
- Price, Huw (2009) „Metaphysics after Carnap: The Ghost Who Walks?“, in: „Metametaphysics. New Essays on the Foundations of Ontology“, ed. by Chalmers, David J.; Manley, David; Wasserman, Ryan, Oxford et al.: Clarendon Pr., 2009, pp. 320-346.
- Priddat, Birger P. (2000) „Dissipationsökonomie 'In Between Virtual and Learning Organizations'“, in: „Evolutorische Ökonomik und Theorie der Unternehmung“, hrsg. v. Beschorner, Thomas; Pfriem, Reinhard, Marburg: Metropolis, 2000, S. 257-276.

Bibliographie

- Prieto, Abraham; Bellas, Francisco; Caamaño, Pilar; Duro, Richard J. (2008) „A Complex Systems Based Tool for Collective Robot Behavior Emergence and Analysis“, in: „Hybrid Artificial Intelligence Systems“, ed. by Corchado, Emilio et al., Third Int. Workshop, HAIS 2008, Burgos, Spain, September 24-26, 2008, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 633-640.
- Prigogine, Ilya (1945) „Modération et Transformations Irréversibles des Systèmes Ouverts“, in: Académie Royale des Sciences, Bulletin de la Classe des Sciences/1945 = Sér. 5, T. 31, 1945, p. 600-606.
- Prigogine, Ilya (1947) „Étude Thermodynamique des Phénomènes Irreversibles“, Ph.D. Thesis, presented in 1945, Liège: Dunod, 1947.
- Prigogine, Ilya (1955) „Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes“, 3rd ed., New York et al.: Interscience Publ., 1967.
- Prigogine, Ilya (1973a) „Irreversibility as a Symmetry-breaking Process“, in: Nature, Vol. 246, No. 5428, 1973, pp. 67-71.
- Prigogine, Ilya (1973b) „Time, Irreversibility and Structure“, in: „The Physicist's Conception of Nature“, ed. by Mehra, Jagdish, Dordrecht: Reidel, 1973, pp. 561-593.
- Prigogine, Ilya (1973c) „Measurement Process and the Macroscopic Level of Quantum Mechanics“, in: „The Physicist's Conception of Nature“, ed. by Mehra, Jagdish, Dordrecht: Reidel, 1973, pp. 697-701.
- Prigogine, Ilya (1975) „Physique et Métaphysique“, in: Connaissance Scientifique et Philosophie, Colloque organisé les 16 et 17 mai 1973 par l'Acad. Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique à l'occasion du deuxième centenaire de sa fondation, Bruxelles: Palais des Acad., 1975, pp. 291-319.
- Prigogine, Ilya (1977) „Wandlungen der Wissenschaft - Kultur und Wissenschaft heute“, in: Wirtschaft und Wissenschaft, 25. Jg., Nr. 3, 1977, S. 22-32.
- Prigogine, Ilya (1979a) „Vom Sein zum Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften“, 4., überarb. u. erw. Aufl. (dt. Übers. v.: 'From Being to Becoming - Time and Complexity in Physical Sciences'), München, Zürich: Piper, 1985.
- Prigogine, Ilya (1979b) „The Microscopic Theory of Irreversible Processes“, in: „Rarefied Gas Dynamics“, ed. by Campargue, R., 11th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Cannes, July 1978, Vol. 1 (Commissariat à l'Energie Atomique), Paris: CEA, 1979, pp. 3-28.
- Prigogine, Ilya (1980a) „From Being to Becoming. Time and Complexity in the Physical Sciences“, San Francisco: Freeman, 1980.
- Prigogine, Ilya (1980b) „Zeit, Entropie und der Evolutionsbegriff in der Physik“, in: „Mannheimer Forum. Ein Panorama der Naturwissenschaften, Bd. 80/81“, hrsg. v. Ditfurth, Hoimar v., Hamburg: Hoffmann u. Campe, 1980, S. 9-44.
- Prigogine, Ilya (1981a) „In Memory of Erich Jantsch“, in: „The Evolutionary Vision. Toward a Unifying Paradigm of Physical, Biological, and Sociocultural Evolution“, ed. by Jantsch, Erich, Boulder/Col.: Westview Pr., 1981, pp. xiii-xiv.
- Prigogine, Ilya (1981b) „Time, Irreversibility, and Randomness“, in: „The Evolutionary Vision. Toward a Unifying Paradigm of Physical, Biological, and Sociocultural Evolution“, ed. by Jantsch, Erich, Boulder/Col.: Westview Pr., 1981, pp. 73-82.
- Prigogine, Ilya (1984a) „The Rediscovery of Time“, in: Zygon, Vol. 19, No. 4, 1984, pp. 433-447.
- Prigogine, Ilya (1984b) „The Microscopic Theory of Irreversible Processes“, in: „Self-Organization. Autowaves and Structures Far from Equilibrium“, ed. by Krinsky, V.I., (Proceedings of an Int. Symposium Pushchino, USSR, July 18-23, 1983), Berlin et al.: Springer, 1984, pp. 22-28.
- Prigogine, Ilya (1985a) „The Rediscovery of Time“, in: „Science and Complexity“, ed. by Nash, Sara, Proceedings of an Interdisciplinary IBM Conference, London, February, Northwood: Science Reviews, 1985, pp. 11-25.
- Prigogine, Ilya (1985b) „Time and Human Knowledge“, in: Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 12, No. 1, 1985, pp. 5-20.
- Prigogine, Ilya (1985c) „New Perspectives on Complexity“, in: „The Science and Praxis of Complexity“, ed. by Aida, Shuhei et al., Contributions to the Symposium Held at Montpellier, France, 9-11 May, 1984, Tokyo: The United Nations Univ., 1985, pp. 107-118.
- Prigogine, Ilya (1986a) „Dialektik im Gespräch“, in: „Die Welt als offenes System. Eine Kontroverse um das Werk von Ilya Prigogine“, hrsg. v. Altner, Günter, Frankfurt/Main: Fischer, 1986, S. 172-187.
- Prigogine, Ilya (1986b) „Ilya Prigogine äußert sich zu diesem Buch“, in: „Die Welt als offenes System. Eine Kontroverse um das Werk von Ilya Prigogine“, hrsg. v. Altner, Günter, Frankfurt/Main: Fischer, 1986, S. 188-190.
- Prigogine, Ilya (1987) „Exploring Complexity“, in: European Journal of Operational Research, Vol. 30, 1987, pp. 97-103.

Bibliographie

- Prigogine, Ilya (1988) „Die physikalisch-chemischen Wurzeln des Lebens“, in: „Die Herausforderung der Evolutionsbiologie“, hrsg. v. Meier, Heinrich, München, Zürich: Piper, 1988, S. 19-52.
- Prigogine, Ilya (1989a) „The Philosophy of Instability“, in: *Futures*, Vol. 21, No. 4, 1989, pp. 396-400.
- Prigogine, Ilya (1989b) „What Is Entropy?“, in: *Naturwissenschaften*, Vol. 76, No. 1, 1989, pp. 1-8.
- Prigogine, Ilya (1993a) „Bounded Rationality: From Dynamical Systems to Socio-economic Models“, in: „Nonlinear Dynamics and Evolutionary Economics“, ed. by Day, Richard H.; Chen, Ping, New York, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1993, pp. 3-13.
- Prigogine, Ilya (1993b) „Time, Dynamics and Chaos: Integrating Poincaré's 'Non-Integrable Systems'“, in: „Chaos: The New Science“, ed. by Holte, John, Nobel Conference <26th, 1990, Gustavus Adolphus College, Saint Peter, Minn.>, Lanham/Md.: Univ. Pr. of America, 1993, pp. 55-88.
- Prigogine, Ilya (1993c) „Wir sind keine Zigeuner am Rande des Universums“, in: „Grenzgespräche. Dreizehn Dialoge über Wissenschaft“, hrsg. v. Reif, Adelbert; Reif, Ruth Renée, Stuttgart: Hirzel, 1993, S. 11-18.
- Prigogine, Ilya (1995a) „Why Irreversibility? The Formulation of Classical and Quantum Mechanics for Nonintegrable Systems“, in: *International Journal of Quantum Chemistry*, Vol. 53, No. 1, 1995, pp. 105-118.
- Prigogine, Ilya (1997) „The End of Certainty. Time, Chaos, and the New Laws of Nature“, New York et al.: Free Pr., 1997.
- Prigogine, Ilya (2000a) „The Future is not Given, in Society or Nature“, in: *New Perspectives Quarterly*, Vol. 17, No. 2, 2000, pp. 35-37.
- Prigogine, Ilya (2000b) „Norbert Wiener and the Idea of Contingence“, in: *Kybernetes*, Vol. 29, No. 7/8, 2000, pp. 825-834.
- Prigogine, Ilya (2003) „Is Future given?“, Singapore et al.: World Scientific, 2003.
- Prigogine, Ilya; Allen, Peter M. (1982) „The Challenge of Complexity“, in: „Self-Organization and Dissipative Structures. Applications in the Physical and Social Sciences“, ed. by Schieve, William C.; Allen, Peter M., Austin: Univ. of Texas Pr., 1982, pp. 3-39.
- Prigogine, Ilya; Allen, Peter M.; Herman, Robert (1977) „Long Term Trends and the Evolution of Complexity“, in: „Goals in a Global Community. The Original Background Papers for Goals for Mankind: A Report to the Club of Rome“, ed. by Laszlo, Ervin; Bierman, Judah, Vol. 1 - Studies on the Conceptual Foundations, New York et al.: Pergamon, 1977, pp. 1-63.
- Prigogine, Ilya; Grecos, A.P. (1973) „Irreversibility and Dissipativity of Quantum Systems“, in: „Cooperative Phenomena“, ed. by Haken, Hermann; Wagner, Max, Berlin et al.: Springer, 1973, pp. 373-380.
- Prigogine, Ilya; Nicolis, Grégoire (1973) „Fluctuations and the Mechanism of Instabilities“, in: „From Theoretical Physics to Biology“, ed. by Marois, Maurice, Proc. of the 3rd int. Conf. From Theoretical Physics to Biology, Versailles 1971, Basel et al.: Karger, 1973, pp. 89-109.
- Prigogine, Ilya; Stengers, Isabelle (1981) „Dialog mit der Natur. Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens“, 6. Aufl., München, Zürich: Piper, 1990.
- Prigogine, Ilya; Stengers, Isabelle (1984) „Order out of Chaos. Man's New Dialogue with Nature“, New York et al.: Bantam, 1984.
- Prigogine, Ilya; Stengers, Isabelle (1993) „Das Paradox der Zeit. Zeit, Chaos und Quanten“, München, Zürich: Piper, 1993.
- Prior, Arthur N. (1968a) „Changes in Events and Changes in Things“, in: „Papers on Time and Tense“, ed. by Prior, Arthur N., Oxford: Clarendon Pr., 1968, pp. 1-14.
- Prior, Arthur N. (1968b) „Quasi-Propositions and Quasi-Individuals“, in: „Papers on Time and Tense“, ed. by Prior, Arthur N., Oxford: Clarendon Pr., 1968, pp. 135-144.
- Prior, Arthur N. (1972) „The Notion of the Present“, in: „The Study of Time“, ed. by Fraser, Julius T. et al., Proceedings of the First Conference of the International Society for the Study of Time Oberwolfach (Black Forest)/Germany, New York et al.: Springer, 1972, pp. 320-323.
- Probst, Florian; Espeter, Martin (2006) „Spatial Dimensionality as a Classification Criterion for Qualities“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 77-88.
- Proops, Ian (2004) „Wittgenstein on the Substance of the World“, in: *European Journal of Philosophy*, Vol. 12, No. 1, 2004, pp. 106-126.
- ProSTEP iViP (2014) „Code of PLM Openness“, Vers. 1.3, 2014.
- Proth, Jean-Marie (2006) „Petri Nets“, in: „Handbook on Architectures of Information Systems“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 133-151.

Bibliographie

- Provan, Gregory (2002) „A Model-Based Diagnosis Framework for Distributed Embedded Systems“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Fensel, Dieter et al., Proceedings of the Eighth International Conference (KR2002), Toulouse, France, April 22-25, 2002, San Francisco/Calif.: Morgan Kaufmann, 2002, pp. 341-352.
- Psillos, Stathis (2001) „Is Structural Realism Possible?“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 68, No. 3, Supplement, 2001, pp. S13-S24.
- Psillos, Stathis (2009) „Knowing the Structure of Nature. Essays on Realism and Explanation“, Basingstoke et al.: Palgrave Macmillan, 2009.
- Pták, Pavel; Pulmannová, Sylvia (1991) „Orthomodular Structures as Quantum Logics“, Dordrecht et al.: Kluwer, 1991.
- PTC (2008a) „Managing the Total Product Life Cycle. The Changing Face of Medical Device Product Development“, White Paper, Parametric Technology Corporation, 2008.
- PTC (2008b) „PTC Windchill and a Service Oriented Architecture. Strategies for Optimizing New Product Development“, White Paper, Parametric Technology Corporation (PTC), 2008.
- PTC (2011) „PLM und ERP: Ihre Rolle in der modernen Fertigung“, White Paper, Parametric Technology Corporation (PTC), 2011.
- PTC (2013) „PTC Retail PLM Solution“, 2013.
- Pulkkinen, Antti; Huhtala, Petri; Leino, Simo-Pekka; Anttila, Juha-Pekka; Vainio, Ville V. (2016) „Characterising the Industrial Context of Engineering Change Management“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 618-627.
- Pulkkinen, Antti; Riitahuhta, Asko (2010) „On the Relation of Business Processes and Engineering Change Management“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 36-45.
- Pulkkinen, Antti; Vainio, Ville; Rissanen, Noora (2013) „Case Study on the Relation of PLM Maturity, Architecture and Business Processes“, in: „Product Lifecycle Management for Society“, ed. by Bernard, Alain et al., 10th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2013, Nantes, France, July 6-10, 2013, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 432-438.
- Pullman, Bernard (ed.) (1996) „The Emergence of Complexity in Mathematics, Physics, Chemistry and Biology“, Proceedings; Plenary Session of the Pontifical Academy of Sciences 27-31 October 1992, Vatican City: Pontificia Academia Scientiarum, 1996.
- Puppe, Frank (1993) „Systematic Introduction to Expert Systems. Knowledge Representations and Problem-Solving Methods“, Berlin et al.: Springer, 1993.
- Purcell, Edward (1968) „Parts and Wholes in Physics“, in: „Modern Systems Research for the Behavioral Scientist“, ed. by Buckley, Walter, Repr., Chicago/Ill.: Aldine, 1968, pp. 39-44.
- Pustejovsky, James (1991) „The Syntax of Event Structure“, in: *Cognition*, Vol. 41, No. 1-3, 1991, pp. 47-81.
- Pustejovsky, James (1998) „Lexical Semantics and Formal Ontologies“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Guarino, Nicola, Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), Amsterdam et al.: IOS Pr., 1998, pp. 328-336.
- Pusthay, Kiran K.; Wang, Zhiyong (2004) „Product Life-Cycle Management - An Essential Component for Agile Manufacturing“, in: „Advances in e-Engineering and Digital Enterprise Technology - I“, ed. by Cheng, Kai; Webb, David; Marsh, Rodney, Bury St Edmunds, London: Professional Engineering Publ., 2004, pp. 275-283.
- Putnam, Hilary (1960) „Minds and Machines“, in: „Mind, Language, and Reality. Philosophical Papers Vol. 2“, ed. by Putnam, Hilary, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1975, pp. 362-385.
- Putnam, Hilary (1967) „The Nature of Mental States“, in: „Mind, Language, and Reality. Philosophical Papers Vol. 2“, ed. by Putnam, Hilary, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1975, pp. 429-440.
- Putnam, Hilary (1973) „Philosophy and our Mental Life“, in: „Mind, Language, and Reality. Philosophical Papers Vol. 2“, ed. by Putnam, Hilary, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1975, pp. 291-303.
- Putnam, Hilary (1975a) „The Thesis that Mathematics is Logic“, in: „Mathematics, Matter and Method. Philosophical Papers, Vol. 1“, ed. by Putnam, Hilary, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1975, pp. 12-42.
- Putnam, Hilary (1975b) „The Logic of Quantum Mechanics“, in: „Mathematics, Matter and Method. Philosophical Papers, Vol. 1“, ed. by Putnam, Hilary, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1975, pp. 174-197.

Bibliographie

- Putnam, Hilary (1980) „Models and Reality“, in: *Journal of Symbolic Logic*, Vol. 45, No. 3, 1980, pp. 464-482.
- Putnam, Hilary (1981) „Reason, Truth, and History“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1981.
- Putnam, Hilary (1983a) „Why There Isn't a Ready-made World“, in: „Realism and Reason. Philosophical Papers, Vol. 3“, ed. by Putnam, Hilary, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1983, pp. 205-228.
- Putnam, Hilary (1983b) „Why Reason Can't Be Naturalized“, in: „Realism and Reason. Philosophical Papers, Vol. 3“, ed. by Putnam, Hilary, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1983, pp. 229-247.
- Putnam, Hilary (1987) „The Many Faces of Realism“, LaSalle/Ill.: Open Court, 1987.
- Putnam, Hilary (1990) „Realism With a Human Face“, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1990.
- Putnam, Hilary (1999) „Repräsentation und Realität“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1999.
- Pylyshyn, Zenon W. (1987) „Preface“, in: „The Robot's Dilemma: The Frame Problem in Artificial Intelligence“, ed. by Pylyshyn, Zenon W., Norwood/NJ: Ablex, 1987, pp. vii-xi.
- Qiao, Lihong; Kao, Shuting; Zhang, Yizhu (2011) „Manufacturing Process Modelling Using Process Specification Language“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 55, No. 5, 2011, pp. 549-563.
- Qin, Yongrui; Sheng, Quan Z.; Falkner, Nickolas J.G.; Dustdar, Schahram; Wang, Hua; Vasilakos, Athanasios V. (2016) „When Things Matter: A Survey on Data-Centric Internet of Things“, in: *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 64, 2016, pp. 137-153.
- Qu, Shuhui; Jian, Raymond; Chu, Tianshu; Wang, Jie; Tan, Tian (2014) „Computational Reasoning and Learning for Smart Manufacturing Under Realistic Conditions“, *International Conference on Behavior, Economic and Social Computing (BESC)*, Shanghai, Oct. 30-Nov. 1, 2014, pp. 1-8.
- Quillian, M. Ross (1962) „A Revised Design for an Understanding Machine“, in: *Mechanical Translation*, Vol. 7, No. 1, 1962, pp. 17-29.
- Quillian, M. Ross (1966) „Semantic Memory“, Unpublished Doctoral Diss., Carnegie Inst. of Technology, (Repr. in Part in Minsky, Marvin L. (ed.): *Semantic Information Processing*, Cambridge/Mass., MIT Pr., 1968), 1966.
- Quillian, M. Ross (1967) „Word Concepts: A Theory and Simulation of some Basic Semantic Capabilities“, in: *Behavioral Science*, Vol. 12, No. 5, 1967, pp. 410-430.
- Quillian, M. Ross (1968) „Semantic Memory“, in: „Semantic Information Processing“, ed. by Minsky, Marvin L., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1968, pp. 227-270.
- Quillian, M. Ross (1969) „The Teachable Language Comprehender“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 12, No. 8, 1969, pp. 459-476.
- Quine, Willard Van Orman (1932) „The Logic of Sequences. A Generalization of 'Principia Mathematica'“, Diss. Harvard Univ., New York et al.: Garland Publ., 1990.
- Quine, Willard Van Orman (1934) „A System of Logistic“, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1934.
- Quine, Willard Van Orman (1936) „Truth by Convention“, in: „Philosophical Essays for Alfred North Whitehead“, ed. by Lee, Otis H., New York: Longmans, 1936, pp. 90-124.
- Quine, Willard Van Orman (1939) „Designation and Existence“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 36, No. 26, 1939, pp. 701-709.
- Quine, Willard Van Orman (1941) „Whitehead and the Rise of Modern Logic“, in: „The Philosophy of Alfred North Whitehead“, ed. by Schilpp, Paul A., Evanston, Chicago: Northwestern Univ., 1941, pp. 125-163.
- Quine, Willard Van Orman (1943) „Notes on Existence and Necessity“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 40, No. 5, 1943, pp. 113-127.
- Quine, Willard Van Orman (1947) „On Universals“, in: *Journal of Symbolic Logic*, Vol. 12, No. 3, 1947, pp. 74-84.
- Quine, Willard Van Orman (1948) „On What There Is“, in: *Review of Metaphysics*, Vol. 2, No. 5, 1948, pp. 21-38.
- Quine, Willard Van Orman (1951a) „On Carnap's Views on Ontology“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 2, No. 5, 1951, pp. 65-72.
- Quine, Willard Van Orman (1951b) „Two Dogmas of Empiricism“, in: *Philosophical Review*, Vol. 60, No. 1, 1951, pp. 20-43.
- Quine, Willard Van Orman (1952) „On Mental Entities“, in: „The Ways of Paradox and Other Essays“, ed. by Quine, Willard van Orman, rev. and enlarged ed., Cambridge/Mass., London: Harvard Univ. Pr., 1976, pp. 221-227.

Bibliographie

- Quine, Willard Van Orman (1953a) „Mr. Strawson on Logical Theory“, in: *Mind*, N.S., Vol. 62, No. 248, 1953, pp. 433-451.
- Quine, Willard Van Orman (1953b) „Three Grades of Modal Involvement“, in: „The Ways of Paradox and other Essays“, ed. by Quine, Willard van Orman, Repr., Harvard Univ. Pr.: Cambridge/Mass., 1976, pp. 158-176.
- Quine, Willard Van Orman (1956) „Quantifiers and Propositional Attitudes“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 53, No. 5, 1956, pp. 177-187.
- Quine, Willard Van Orman (1957/58) „Speaking of Objects“, in: *Proceedings and Addresses of the American Philosophical Association*, Vol. 31, 1957/58, pp. 5-22.
- Quine, Willard Van Orman (1960a) „Word and Object“, 10th Pr., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1976.
- Quine, Willard Van Orman (1960b) „Carnap and Logical Truth“, in: *Synthese*, Vol. 12, No. 4, 1960, pp. 350-374.
- Quine, Willard Van Orman (1963) „Set Theory and Its Logic“, Cambridge/Mass.: The Belknap Pr. of Harvard Univ. Pr., 1963.
- Quine, Willard Van Orman (1965) „Mathematical Logic“, 5th Pr. of the Rev. Ed., Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1965.
- Quine, Willard Van Orman (1968) „Ontological Relativity“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 65, No. 7, 1968, pp. 185-212.
- Quine, Willard Van Orman (1969a) „Epistemology Naturalized“, in: „Ontological Relativity and Other Essays“, ed. by Quine, Willard van Orman, New York et al.: Columbia Univ. Pr., 1969, pp. 69-90.
- Quine, Willard Van Orman (1969b) „Propositional Objects“, in: „Ontological Relativity and Other Essays“, ed. by Quine, Willard van Orman, New York et al.: Columbia Univ. Pr., 1969, pp. 139-160.
- Quine, Willard Van Orman (1970a) „Grades of Theoreticity“, in: „Experience and Theory“, ed. by Foster, Lawrence; Swanson, Joe W., Amherst/Mass.: Univ. of Massachusetts Pr., 1970, pp. 1-17.
- Quine, Willard Van Orman (1970b) „Philosophy of Logic“, 2nd ed., Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1986.
- Quine, Willard Van Orman (1974) „The Roots of Reference“, La Salle/Ill.: Open Court, 1974.
- Quine, Willard Van Orman (1975a) „On Empirically Equivalent Systems of the World“, in: *Erkenntnis*, 9. Jg., Nr. 3, 1975, S. 313-328.
- Quine, Willard Van Orman (1975b) „Ontologische Relativität und andere Schriften“, Nachdr., Stuttgart: Reclam, 1984.
- Quine, Willard Van Orman (1976a) „Wither Physical Objects?“, in: „Essays in Memory of Imre Lakatos“, ed. by Cohen, Robert S.; Feyerabend, Paul; Wartofsky, Marx, Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 39, Dordrecht: D. Reidel, 1976, pp. 497-504.
- Quine, Willard Van Orman (1976b) „Worlds Away“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 73, No. 22, 1976, pp. 859-863.
- Quine, Willard Van Orman (1976c) „The Ways of Paradox and other Essays“, Rev. and enlarged ed., Harvard Univ. Pr.: Cambridge/Mass., 1976.
- Quine, Willard Van Orman (1977) „Facts of the Matter“, in: *American Philosophy from Edwards to Quine*, Norman/OK: Univ. of Oklahoma Pr., 1977, pp. 176-196.
- Quine, Willard Van Orman (1980) „From a Logical Point of View“, 2nd ed., Cambridge/Mass., London: Harvard Univ. Pr., 1980.
- Quine, Willard Van Orman (1981) „Theories and Things“, Cambridge/Mass.: Belknap Pr., 1981.
- Quine, Willard Van Orman (1982) „Methods of Logic“, 4th ed., Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1982.
- Quine, Willard Van Orman (1984) „Carnap's Positivistic Travail“, in: *Fundamenta Scientiae*, Vol. 5, 1984, pp. 325-334.
- Quine, Willard Van Orman (1985a) „Events and Reification“, in: „Actions and Events“, ed. by LePore, Ernest; McLaughlin, Brian P., Oxford et al.: B. Blackwell, 1985, pp. 162-171.
- Quine, Willard Van Orman (1985b) „In the Logical Vestibule. Desmond MacHale: George Boole, Dublin: Boole Pr. (Review)“, in: *The Times Literary Supplement (TLS)*, No. 4293, 12 July, 1985, p. 767.
- Quine, Willard Van Orman (1987) „Quiddities. An Intermittently Philosophical Dictionary“, Cambridge/Mass., London: The Belknap Pr. of Harvard Univ. Pr., 1987.
- Quine, Willard Van Orman (1992a) „Pursuit of Truth“, rev. ed., Cambridge/Mass., London: Harvard Univ. Pr., 1992.
- Quine, Willard Van Orman (1992b) „Structure and Nature“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 89, No. 1, 1992, pp. 5-9.

- Quine, Willard Van Orman (1995) „From Stimulus to Science“, Cambridge/Mass. et al.: Harvard Univ. Pr., 1995.
- Quine, Willard Van Orman (1997) „Response to Leemon McHenry“, in: *Process Studies*, Vol. 26, No. 1-2, 1997, pp. 13-14.
- Quine, Willard Van Orman (2000) „Naturalismus - oder: Nicht über seine Verhältnisse leben“, in: „Naturalismus. Philosophische Beiträge“, hrsg. v. Keil, Geert; Schnädelbach, Herbert, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 2000, S. 113-127.
- Quine, Willard Van Orman; Ullian, Joseph S. (1970) „The Web of Belief“, New York: Random House, 1970.
- Quinton, Anthony (1979) „Objects and Events“, in: *Mind*, Vol. 88, No. 350, 1979, pp. 197-214.
- Raabe, Oliver; Wacker, Richard; Oberle, Daniel; Baumann, Christian; Funk, Christian (2012) „Recht ex machina. Formalisierung des Rechts im Internet der Dienste“, Berlin et al.: Springer Vieweg, 2012.
- Rabin, Steve (2003) „The Real-Time Enterprise, the Real-Time Supply Chain“, in: *Information Systems Management*, Vol. 20, No. 2, 2003, pp. 58-62.
- Rachuri, Sudarsan et al. (2008) „Information Sharing and Exchange in the Context of Product Lifecycle Management: Role of Standards“, in: *Computer-Aided Design*, Vol. 40, 2008, pp. 789-800.
- Radenkovic, Bozidar; Kocovic, Petar (2017) „From Ubiquitous Computing to the Internet of Things“, in: „Emerging Trends and Applications of the Internet of Things“, ed. by Kocovic, Petar et al., Hershey/PA: IGI Global, 2017, pp. 1-42.
- Radziwon, Agnieszka; Bilberg, Arne; Bogers, Marcel; Madsen, Erik Skov (2014) „The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions“, in: *Procedia Engineering*, Vol. 69, 2014, pp. 1184-1190.
- Raggett, Dave (2010) „The Web of Things: Extending the Web into the Real World“, in: „SOFSEM 2010: Theory and Practice of Computer Science“, ed. by Van Leeuwen, Jan et al., 36th Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science, Spindleruv Mlýn, Czech Republic, January 23-29, 2010, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 96-107.
- Rahimi, Ali; Sallez, Yves; Berger, Thierry (2016) „Framework for Smart Containers in the Physical Internet“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 71-79.
- Rahmani, Keyvan; Thomson, Vincent (2010) „New Interface Management Tools and Strategies for Complex Products“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 84-94.
- Rai, Arun; Sambamurthy, Vallabh (2006) „Editorial Notes - The Growth of Interest in Services Management: Opportunities for Information Systems Scholars“, in: *Information Systems Research*, Vol. 17, No. 4, 2006, pp. 327-331.
- Raj, Amit; Agrawal, Ashish; Prabhakar, T.V. (2013) „Transformation of Business Processes into UML Models: An SBVR Approach“, in: *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 4, No. 7, 2013, pp. 647-661.
- Raj, Amit; Prabhakar, T.V.; Hendryx, Stan (2008) „Transformation of SBVR Business Design to UML Models“, ISEC '08 Proceedings of the 1st India Software Engineering Conference, Hyderabad/India, February 19-22, New York/NY: ACM, 2008, pp. 29-38.
- Rajabi, Zeinab; Minaei, Behrouz; Seyyedi, Mir Ali (2013) „Enterprise Architecture Development Based on Enterprise Ontology“, in: *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, Vol. 8, No. 2, 2013, pp. 85-95.
- Rajkumar, Ragnathan Raj; Lee, Insup; Sha, Lui; Stankovic, John (2010) „Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution“, Proceedings of the 47th Design Automation Conference (DAC), 13-18 June, ACM/IEEE, 2010, pp. 731-736.
- Rajpathak, Dnyanesh; Motta, Enrico (2004) „An Ontological Formalization of the Planning Task“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 305-316.
- Rajpathak, Dnyanesh; Motta, Enrico; Roy, Rajkumar (2001) „A Generic Task Ontology for Scheduling Applications“, International Conference on Artificial Intelligence (IC AI'2001), 25-28 Jun 2001, Las Vegas, USA, 2001.
- Ramesh, Venkataraman; Parsons, Jeffrey; Browne, Glenn J. (1999) „What Is the Role of Cognition in Conceptual Modeling? A Report on the First Workshop on Cognition and Conceptual Modeling“, in: „Conceptual Modeling. Current Issues and Future Directions“, ed. by Chen, Peter P. et al., Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 272-280.

Bibliographie

- Ramos, Carlos; Vale, Zita; Faria, Luiz (2011) „Cyber-Physical Intelligence in the Context of Power Systems“, in: „Future Generation Information Technology“, ed. by Kim, Tai-hoon et al., Third International Conference, FGIT 2011 in Conjunction with GDC 2011, Jeju Island, Korea, December 8-10, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 19-29.
- Ramsey, Frank P. (1927) „Facts and Propositions“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, Vol. 7, 1927, pp. 153-170.
- Rana, Md Masud (2017) „Architecture of the Internet of Energy Network: An Application to Smart Grid Communications“, in: IEEE Access, Vol. 5, 2017, pp. 4704-4710.
- Ranasinghe, Damith C.; Harrison, Mark; Främpling, Kary; McFarlane, Duncan (2011) „Enabling Through Life Product-Instance Management: Solutions and Challenges“, in: Journal of Network and Computer Applications, Vol. 34, 2011, pp. 1015-1031.
- Rander, Peter; Narayanan, P.J.; Kanade, Takeo (1997) „Virtualized Reality: Constructing Time-varying Virtual Worlds from Real World Events“, IEEE Conference on Visualization, Phoenix/AZ, 19 Oct - 24 Oct, 1997, pp. 277-283.
- Rangarajan, Hari; Garcia-Luna-Aceves, Jose J. (2004) „Reliable Data Delivery in Event-driven Wireless Sensor Networks“, Ninth International Symposium on Computers and Communications (ISCC 2004), Proceedings, Vol. 1, 2004, pp. 232-237.
- Rantala, Veikko (1990) „Knowledge Representation and Epistemic Logic: An Overview“, in: „Information Modelling and Knowledge Bases“, ed. by Kangassalo, Hannu et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 1990, pp. 1-18.
- Rao, Anand S.; Foo, Norman Y. (1989) „Formal Theories of Belief Revision“, in: „Proceedings of the First International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Brachman, Ronald J.; Levesque, Hector J.; Reiter, Raymond, (Toronto/Ont., May 15-18, 1989), San Mateo/Cal.: Morgan Kaufmann, 1989, pp. 369-380.
- Rao, Anand S.; Georgeff, Michael P. (1991) „Modeling Rational Agents within a BDI-Architecture“, Australian Artificial Intelligence Institute, Technical Note 14, 1991.
- Rapaport, William J. (1987) „Belief Systems“, in: „Encyclopedia of Artificial Intelligence“, ed. by Shapiro, Stuart C., Vol. 1, New York et al.: Wiley, 1987, pp. 63-73.
- Rapaport, William J. (1991) „Predication, Fiction, and Artificial Intelligence“, in: Topoi, Vol. 10, 1991, pp. 79-111.
- Rapaport, William J. (2017) „What Is Computer Science?“, in: APA Newsletters, Vol. 16, No. 2, 2017, pp. 2-22.
- Raphael, Bertram (1971) „The Frame Problem in Problem-Solving Systems“, in: „Artificial Intelligence and Heuristic Programming“, ed. by Findler, Nicholas V.; Meltzer, Bernard, Edinburgh: Edinburgh Univ. Pr., 1971, pp. 159-169.
- Rapp, Christof (2005) „Aristoteles und aristotelische Substanzen“, in: „Substanz. Neue Überlegungen zu einer klassischen Kategorie des Seienden“, hrsg. v. Trettin, Käthe, Frankfurt/Main: Klostermann, 2005, S. 145-169.
- Rapp, Friedrich (1986) „Der Kreativitätsbegriff Whiteheads und die moderne Naturwissenschaft“, in: „Whiteheads Metaphysik der Kreativität“, hrsg. v. Rapp, Friedrich; Wiehl, Reiner, Int. Whitehead-Symposium Bad Homburg 1983, Freiburg, München: Alber, 1986, S. 81-104.
- Raskin, Robert G.; Pan, Michael J. (2005) „Knowledge Representation in the Semantic Web for Earth and Environmental Terminology (SWEET)“, in: Computers & Geosciences, Vol. 31, No. 9, 2005, pp. 1119-1125.
- Rasmussen, Steen (1992) „Aspects of Information, Life, Reality, and Physics“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. 767-773.
- Ratcliffe, Matthew (2012) „There Can Be No Cognitive Science of Dasein“, in: „Heidegger and Cognitive Science“, ed. by Kiverstein, Julian; Wheeler, Michael, Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2012, pp. 135-156.
- Raviv, Dan; Zhao, Wei; McKnelly, Carrie; Papadopoulou, Athina; Kadambi, Achuta; Shi, Boxin; Hirsch, Shai et al. (2014) „Active Printed Materials for Complex Self-Evolving Deformations“, in: Scientific Reports, Vol. 4, Art. 7422, 2014.
- Rawat, Danda B.; Bajracharya, Chandra (2017) „Vehicular Cyber Physical Systems: Adaptive Connectivity and Security“, Cham et al.: Springer, 2017.
- Ray, Partha Pratim (2016) „Towards Internet of Things Based Society“, International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPEs), 2016, pp. 1-8.

Bibliographie

- Ray, Steven R. (2002) „Interoperability Standards in the Semantic Web“, in: *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 2, 2002, pp. 65-71.
- Ray, Steven R. (2009) „Smart Manufacturing - Interoperability Lessons from Manufacturing's Turn“, in: *Intelligent Utility*, Vol. 1, No. 2, 2009, pp. 30-31.
- Ray, Thomas S. (1992) „An Approach to the Synthesis of Life“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., *Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico*, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. 371-408.
- Ray, Thomas S. (1995) „An Evolutionary Approach to Synthetic Biology: Zen and the Art of Creating Life“, in: „Artificial Life. An Overview“, ed. by Langton, Christopher G., Repr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1997, pp. 179-201.
- Raza, Muhammad Baqar; Harrison, Robert (2011a) „Design, Development & Implementation of Ontological Knowledge Based System for Automotive Assembly Lines“, in: *International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process*, Vol. 1, No. 5, 2011, pp. 21-40.
- Raza, Muhammad Baqar; Harrison, Robert (2011b) „Ontological Knowledge Based System for Product, Process and Resource Relationships in Automotive Industry“, in: *Proceedings of the 1st International Workshop on Ontology and Semantic Web for Manufacturing*, co-located with the 8th Extended Semantic Web Conference, ESWC2011, Heraklion, Crete/Greece, May 29, 2011, pp. 23-36.
- Raza, Muhammad Baqar; Kirkham, T.; Harrison, Robert; Reul, Q. (2011) „Knowledge Based Flexible and Integrated PLM System at Ford“, in: *Journal of Information & Systems Management*, Vol. 1, No. 1, 2011.
- Razzaque, Mohammad A.; Milojevic-Jevric, Marija; Palade, Andrei; Clarke, Siobhán (2016) „Middleware for Internet of Things: A Survey“, in: *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 3, No. 1, 2016, pp. 70-95.
- Rea, Michael C. (1995) „The Problem of Material Constitution“, in: *Philosophical Review*, Vol. 104, No. 4, 1995, pp. 525-552.
- Rea, Michael C. (1998) „Temporal Parts Unmotivated“, in: *Philosophical Review*, Vol. 107, No. 2, 1998, pp. 225-260.
- Rea, Michael C. (2000) „Constitution and Kind Membership“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 97, No. 2, 2000, pp. 169-193.
- Rea, Michael C. (2003) „Four-Dimensionalism“, in: „The Oxford Handbook of Metaphysics“, ed. by Loux, Michael J.; Zimmerman, Dean W., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2003, pp. 246-280.
- Read, Stephen (1997) „Philosophie der Logik. Eine Einführung“, Reinbek: Rowohlt, 1997.
- Reck, Andrew J. (1958) „Substance, Process, and Nature“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 55, No. 18, 1958, pp. 762-772.
- Reck, Andrew J. (1975) „Process Philosophy, a Categorical Analysis“, in: „Studies in Process Philosophy II“, ed. by Whittlemore, Robert C., The Hague: Martinus Nijhoff, 1975, pp. 58-91.
- Reck, Erich H.; Price, Michael P. (2000) „Structures and Structuralism in Contemporary Philosophy of Mathematics“, in: *Synthese*, Vol. 125, 2000, pp. 341-383.
- Recker, Jan C. (2005) „Developing Ontological Theories for Conceptual Models Using Qualitative Research“, ed. by Beekhuyzen, Jenine, 2nd International Conference on Qualitative Research in IT and IT in Qualitative Research: Challenges for Qualitative Research, November 23-25, 2005, Brisbane, Australia, 2005.
- Recker, Jan C. (2011) „Evaluations of Process Modeling Grammars. Ontological, Qualitative and Quantitative Analyses Using the Example of BPMN“, Berlin et al.: Springer, 2011.
- Recker, Jan C.; Indulska, Marta; Rosemann, Michael; Green, Peter (2005) „Do Process Modelling Techniques Get Better? A Comparative Ontological Analysis of BPMN“, in: „16th Australasian Conference on Information Systems“, ed. by Campbell, Bruce; Underwood, Jim; Bunker, Deborah, November 30 - December 2, 2005, Sydney, Australia, 2005.
- Recker, Jan C.; Indulska, Marta; Rosemann, Michael; Green, Peter (2006) „How Good is BPMN Really? Insights from Theory and Practice“, in: „14th European Conference on Information Systems“, ed. by Ljungberg, Jan; Andersson, Magnus, June 12-14, 2006, Goeteborg, Sweden, 2006.
- Recker, Jan C.; Indulska, Marta; Rosemann, Michael; Green, Peter (2008) „An Exploratory Study of Process Modeling Practice with BPMN“, *BPMCenter Report*, No. BPM-08-12, 2008.
- Recker, Jan C.; Mendling, Jan (2006) „On the Translation between BPMN and BPEL: Conceptual Mismatch between Process Modeling Languages“, 2006.
- Recker, Jan C.; Niehaves, Björn (2008) „Epistemological Perspectives on Ontology-based Theories for Conceptual Modeling“, in: *Applied Ontology*, Vol. 3, No. 1/2, 2008, pp. 111-130.
- Recker, Jan C.; Rosemann, Michael (2010) „The Measurement of Perceived Ontological Deficiencies of Conceptual Modeling Grammars“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 69, 2010, pp. 516-532.

Bibliographie

- Recker, Jan C.; Zur Mühlen, Michael; Siau, Keng; Erickson, John; Indulska, Marta (2009) „Measuring Method Complexity: UML versus BPMN“, in: 15th Americas Conference on Information Systems, 6-9 August, 2009, San Francisco, California, 2009.
- Rector, Alan; Brandt, Sebastian; Drummond, Nick; Horridge, Matthew; Pulestin, Colin; Stevens, Robert (2012) „Engineering Use Cases for Modular Development of Ontologies in OWL“, in: *Applied Ontology*, Vol. 7, No. 2, 2012, pp. 113-132.
- Rector, Alan; Rogers, Jeremy (2004) „Patterns, Properties and Minimizing Commitment: Reconstruction of the GALEN Upper Ontology in OWL“, in: „Core Ontologies in Ontology Engineering 2004. (Un)Successful Cases and Best Practices for Ontology Engineering: Reusing Well-founded Ontologies for Domain Content Specification“, ed. by Gangemi, Aldo; Borgo, Stefano, Proceedings of the EKAW*04 Workshop on Core Ontologies in Ontology Engineering, Northamptonshire (UK), October 8, 2004.
- Rector, Alan; Rogers, Jeremy (2005) „Ontological & Practical Issues in using a Description Logic to Represent Medical Concepts: Experience from GALEN“, Univ. of Manchester, School of Computer Science, BioHealth Information Group, CSPP-35, 2005.
- Redlich, David; Gilani, Wasif (2012) „Event-Driven Process-Centric Performance Prediction via Simulation“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Daniel, Florian et al., BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011, Revised Selected Papers, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 473-478.
- Reed, Michael; Harvey, David L. (1992) „The New Science and the Old: Complexity and Realism in the Social Sciences“, in: *Journal for the Theory of Social Behaviour*, Vol. 22, No. 4, 1992, pp. 353-380.
- Reeder, Harry; Langsdorf, Lenore (1988) „A Phenomenological Exploration of Popper's 'World 3'“, in: „The Horizons of Continental Philosophy“, ed. by Silverman, Hugh J. et al., Dordrecht: Springer, 1988, pp. 93-129.
- Reinach, Adolf (1914) „Was ist Phänomenologie?“, Vortrag, gehalten in Marburg, Januar 1914, München: Kösel, 1951.
- Reinhartz-Berger, Iris; Dori, Dov (2005) „A Reflective Meta-Model of Object-Process Methodology: The System Modeling Building Blocks“, in: „Business Systems Analysis with Ontologies“, ed. by Green, Peter; Rosemann, Michael, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2005, pp. 130-173.
- Reinhartz-Berger, Iris; Itzik, Nili; Wand, Yair (2014) „Analyzing Variability of Software Product Lines Using Semantic and Ontological Considerations“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Jarke, Matthias et al., 26th International Conference, CAiSE 2014, Thessaloniki/Greece, June 16-20, 2014, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 150-164.
- Reinhartz-Berger, Iris; Sturm, Arnon; Wand, Yair (2013) „Comparing Functionality of Software Systems: An Ontological Approach“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 87, 2013, pp. 320-338.
- Reiser, Oliver L. (1926) „Probability, Natural Law, and Emergence“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 23, No. 16, 1926, pp. 421-435.
- Reiter, Raymond (1991) „The Frame Problem in the Situation Calculus: A Simple Solution (Sometimes) and a Completeness Result for Goal Regression“, in: „Artificial Intelligence and Mathematical Theory of Computation“, ed. by Lifschitz, Vladimir, Papers in Honor of John McCarthy, New York: Academic Pr., 1991, pp. 359-380.
- Reiter, Raymond (2001) „Knowledge in Action. Logical Foundations for Specifying and Implementing Dynamical Systems“, Cambridge/Mass. et al.: MIT Pr., 2001.
- Reitsma, Femke; Laxton, John; Ballard, Stuart; Kuhn, Werner; Abdelmoty, Alia (2009) „Semantics, Ontologies and eScience for the Geosciences“, in: *Computers & Geosciences*, Vol. 35, No. 4, 2009, pp. 706-709.
- Ren, Chuanjun; Huang, Hongbing; Jin, Shiyao (2008) „Specification of Agent in Complex Adaptive System“, International Symposium on Computer Science and Computational Technology (ISCST '08), Vol. 2, Shanghai, 20-22 Dec., 2008, pp. 210-216.
- Ren, Xiaoxu; Ong, Max; Allan, Geoffrey; Kadirkamanathan, Visakan; Thompson, Haydn; Fleming, Peter (2005) „A Service Oriented Architecture for Integration of Fault Diagnostics“, in: „Scientific Applications of Grid Computing“, ed. by Herrero, Pilar et al., First International Workshop, SAG 2004, Beijing, China, September 20-24, 2004, Revised Selected and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 146-157.
- Rennard, Jean-Philippe (2005) „Perspectives for Strong Artificial Life“, in: „Recent Developments in Biologically Inspired Computing“, ed. by De Castro, Leandro Nunes; Zuben, Fernando J., von, Hershey et al.: Idea Group Publ., 2005, pp. 301-318.
- Rescher, Nicholas (1953) „Mr. Madden on Gestalt Theory“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 20, No. 4, 1953, pp. 327-328.

Bibliographie

- Rescher, Nicholas (1962) „The Revolt Against Process“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 59, No. 15, 1962, pp. 410-417.
- Rescher, Nicholas (1973a) „Conceptual Idealism“, Oxford: Basil Blackwell, 1973.
- Rescher, Nicholas (1973b) „The Coherence Theory of Truth“, London et al.: Oxford Univ. Pr., 1973.
- Rescher, Nicholas (1979) „The Ontology of the Possible“, in: „The Possible and the Actual. Readings in the Metaphysics of Modality“, ed. by Loux, Michael J., Ithaca et al.: Cornell Univ. Pr., 1979, pp. 166-181.
- Rescher, Nicholas (1980) „Conceptual Schemes“, in: „Midwest Studies in Philosophy, Vol. 5: Studies in Epistemology“, ed. by French, Peter A. et al., Minneapolis: Univ. of Minnesota Pr., 1980, pp. 323-345.
- Rescher, Nicholas (1987a) „Forbidden Knowledge and Other Essays on the Philosophy of Cognition“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1987.
- Rescher, Nicholas (1987b) „Scientific Realism. A Critical Reappraisal“, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1987.
- Rescher, Nicholas (1988) „Rationality. A Philosophical Inquiry into the Nature and the Rationale of Reason“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1988.
- Rescher, Nicholas (1989) „Cognitive Economy. The Economic Dimension of the Theory of Knowledge“, Pittsburgh/Pa.: Univ. of Pittsburgh Pr., 1989.
- Rescher, Nicholas (1991a) „Conceptual Idealism Revisited“, in: *Review of Metaphysics*, Vol. 44, No. 3, 1991, pp. 495-523.
- Rescher, Nicholas (1991b) „Natural Science as a Human Artifact“, in: „Einheit der Wissenschaften“, hrsg. v. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Int. Kolloquium der Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Bonn, 25.-27. Juni 1990, Forschungsbericht Nr. 4, Berlin, New York: De Gruyter, 1991, S. 487-512.
- Rescher, Nicholas (1992) „The Promise of Process Philosophy“, in: „Frontiers in American Philosophy, Vol. 1“, ed. by Burch, Robert W.; Saatkamp, Herman J., Jr., College Station: Texas A&M Univ. Pr., 1992, pp. 75-92.
- Rescher, Nicholas (1994) „Précis of A System of Pragmatic Idealism“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 54, No. 2, 1994, pp. 377-390.
- Rescher, Nicholas (1995a) „Being and Becoming“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 46-47.
- Rescher, Nicholas (1995b) „Idealism“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 227-229.
- Rescher, Nicholas (1995c) „Process Philosophy“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 417-419.
- Rescher, Nicholas (1996) „Process Metaphysics. An Introduction to Process Philosophy“, Albany/N.Y.: State Univ. of New York Pr., 1996.
- Rescher, Nicholas (1997) „What Sort of Idealism is Viable Today?“, in: *Idealistic Studies*, Vol. 27, 1997, pp. 239-250.
- Rescher, Nicholas (1998) „Complexity: A Philosophical Overview“, New Brunswick/N.J.: Transaction Publishers, 1998.
- Rescher, Nicholas (1999a) „How Many Possible Worlds Are There?“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 59, No. 2, 1999, pp. 403-420.
- Rescher, Nicholas (1999b) „On Situating Process Philosophy“, in: *Process Studies*, Vol. 28, No. 1/2, 1999, pp. 37-42.
- Rescher, Nicholas (2000a) „Nature and Understanding. The Metaphysics and Method of Science“, Oxford: Clarendon Pr., 2000.
- Rescher, Nicholas (2000b) „Process Philosophy. A Survey of Basic Issues“, Pittsburgh: Univ. of Pittsburgh Pr., 2000.
- Rescher, Nicholas (2001a) „Cognitive Pragmatism“, Pittsburgh: Univ. of Pittsburgh Pr., 2001.
- Rescher, Nicholas (2001b) „Minding Matter And Other Essays in Philosophical Inquiry“, Lanham et al.: Rowman & Littlefield, 2001.
- Rescher, Nicholas (2003a) „Epistemology. An Introduction to the Theory of Knowledge“, Albany: State Univ. of New York, 2003.
- Rescher, Nicholas (2003b) „On Leibniz“, Pittsburgh/Pa.: Univ. of Pittsburgh Pr., 2003.
- Rescher, Nicholas (2005a) „Common-Sense: A New Look at an Old Philosophical Problem“, Marquette: Marquette Univ. Pr., 2005.
- Rescher, Nicholas (2005b) „What If?: Thought Experimentation in Philosophy“, New Brunswick/N.J. et al.: Transaction Publ., 2005.

Bibliographie

- Rescher, Nicholas (2006) „Metaphysics: The Key Issues from a Realistic Perspective“, Amherst/NY: Prometheus, 2006.
- Rescher, Nicholas (2007) „Taxonomic Complexity and the Laws of Nature“, in: „Dynamisches Denken und Handeln. Philosophie und Wissenschaft in einer komplexen Welt“, hrsg. v. Leiber, Theodor, Festschrift für Klaus Mainzer zum 60. Geburtstag, Stuttgart: Hirzel, 2007, S. 187-191.
- Rescher, Nicholas (2008) „Epistemic Pragmatism and other Studies in the Theory of Knowledge“, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2008.
- Rescher, Nicholas (2009) „Ideas in Process. A Study on the Development of Philosophical Concepts“, Heusenstamm et al.: Ontos, 2009.
- Rescher, Nicholas; Oppenheim, Paul (1955) „Logical Analysis of Gestalt Concepts“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 6, No. 22, 1955, pp. 89-106.
- Rescher, Nicholas; Parks, Zane (1973) „Possible Individuals, Trans-World Identity, and Quantified Modal Logic“, in: Noûs, Vol. 7, No. 4, 1973, pp. 330-350.
- Rescher, Nicholas; Urquhart, Alasdair (1971) „Temporal Logic“, Wien, New York: Springer, 1971.
- Rese, Mario; Karger, Markus; Strotmann, Wolf-Christian (2009) „The Dynamics of Industrial Product Service Systems (IPS2) - Using the Net Present Value Approach and Real Options Approach to Improve Life Cycle Management“, in: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 1, No. 4, 2009, pp. 279-286.
- Resnik, Michael D. (1997) „Mathematics as a Science of Patterns“, Oxford: Clarendon Pr., 1997.
- Reynares, Emiliano; Caliusco, María Laura; Galli, María Rosa (2014) „Approaching the Feasibility of SBVR as Modeling Language for Ontology Development: An Exploratory Experiment“, in: Expert Systems with Applications, Vol. 41, No. 4, 2014, pp. 1576-1583.
- Rezgui, Yacine; Boddy, Stefan; Wetherill, Matthew; Cooper, Grahame (2011) „Past, Present and Future of Information and Knowledge Sharing in the Construction Industry: Towards Semantic Service-based E-construction?“, in: Computer-Aided Design, Vol. 43, No. 5, 2011, pp. 502-515.
- Ribeiro, Luís; Barata, José; Mendes, Pedro (2008) „MAS and SOA: Complementary Automation Paradigms“, in: „Innovation in Manufacturing Networks“, ed. by Azevedo, Américo, Eighth IFIP International Conference on Information Technology for Balanced Automation Systems, Porto, Portugal, June 23-25, New York/NY: Springer, 2008, pp. 259-268.
- Ribeiro, Márcio M. (2012) „Belief Revision in Non-Classical Logics“, London et al.: Springer, 2012.
- Ricci, Alessandro; Croatti, Angelo; Brunetti, Pietro; Viroli, Mirko (2015) „Programming Mirror Worlds: An Agent-Oriented Programming Perspective“, in: „Engineering Multi-Agent Systems“, ed. by Baldoni, Matteo et al., Third International Workshop, EMAS 2015, Istanbul, Turkey, May 5, 2015, Revised, Selected, and Invited Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 191-211.
- Richard, Stephen M. (2006) „Geoscience Concept Models“, in: „Geoinformatics: Data to Knowledge“, ed. by Sinha, A. Krishna, Boulder/Col.: Geological Society of America, 2006, pp. 81-107.
- Richards, Debbie (2004) „Addressing the Ontology Acquisition Bottleneck Through Reverse Ontological Engineering“, in: Knowledge and Information Systems, Vol. 6, No. 4, 2004, pp. 402-427.
- Richards, Debbie; Simoff, Simeon J. (2001) „Design Ontology in Context - A Situated Cognition Approach to Conceptual Modelling“, in: Artificial Intelligence in Engineering, Vol. 15, No. 2, 2001, pp. 121-136.
- Richardson, Alan (1990) „How Not to Russell Carnap's Aufbau“, in: PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Vol. 1990/1, 1990, pp. 3-14.
- Richardson, Kurt A. (2005) „The Hegemony of the Physical Sciences: An Exploration in Complexity Thinking“, in: Futures, Vol. 37, No. 7, 2005, pp. 615-653.
- Riche, Jacques (2004) „Process Logic and Epistemology“, in: „After Whitehead. Rescher on Process Metaphysics“, ed. by Weber, Michel, Heusenstamm: Ontos, 2004, pp. 173-196.
- Riche, Jacques (2007) „Whitehead's Answer to the New Physics“, in: „Les Principes de la connaissance naturelle d'Alfred North Whitehead/Alfred North Whitehead's Principles of Natural Knowledge“, ed. by Durand, Guillaume; Weber, Michel, Heusenstamm: Ontos, 2007, pp. 157-177.
- Ricken, Maria; Vogel-Heuser, Birgit (2010) „Modeling of Manufacturing Execution Systems: an Interdisciplinary Challenge“, IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Bilbao, 13-16 Sept., 2010, pp. 1-8.
- Rickert, Heinrich (1899) „Kulturwissenschaft und Naturwissenschaft“, Freiburg i. Br. et al.: Mohr, 1899.
- Rickert, Heinrich (1902) „Die Grenzen der naturwissenschaftlichen Begriffsbildung“, Tübingen, Leipzig: Mohr, 1902.

Bibliographie

- Riedl, Rupert (1979) „Biologie der Erkenntnis. Die stammesgeschichtlichen Grundlagen der Vernunft“, 3., durchges. Aufl., Berlin, Hamburg: Parey, 1981.
- Riedl, Rupert (2000) „Strukturen der Komplexität. Eine Morphologie des Erkennens und Erklärens“, Berlin et al.: Springer, 2000.
- Rieke, Roland; Zhdanova, Maria; Repp, Jürgen (2015) „Security and Business Situational Awareness“, in: „Cyber Security and Privacy“, ed. by Cleary, Frances; Felici, Massimo, 4th Cyber Security and Privacy Innovation Forum, CSP Innovation Forum 2015, Brussels, Belgium April 28-29, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 103-115.
- Rietveld, Erik (2012) „Context-Switching and Responsiveness to Real Relevance“, in: „Heidegger and Cognitive Science“, ed. by Kiverstein, Julian; Wheeler, Michael, Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2012, pp. 105-134.
- Rietveld, Laurens; Verborgh, Ruben; Beek, Wouter; Vander Sande, Miel; Schlobach, Stefan (2015) „Linked Data-as-a-Service: The Semantic Web Redeployed“, in: „The Semantic Web. Latest Advances and New Domains“, ed. by Gandon, Fabien et al., 12th European Semantic Web Conference, ESWC 2015, Portoroz, Slovenia, May 31 - June 4, 2015, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 471-487.
- Riffert, Franz (1995) „Whitehead und Piaget“, zugl. Diss., Univ. Salzburg, 1992, Frankfurt/Main et al.: Lang, 1995.
- Riffert, Franz (2004) „Whitehead's Process Philosophy as Scientific Metaphysics“, in: „Physics and Whitehead. Quantum, Process, and Experience“, ed. by Eastman, Timothy E.; Keeton, Hank, Albany: State Univ. of New York Pr., 2004, pp. 199-222.
- Riggan, George Arkell (1982) „Quantum Physics and Freedom in a Whiteheadian Perspective“, in: *Zygon*, Vol. 17, No. 3, 1982, pp. 255-265.
- Rijgersberg, Hajo; Top, Jan (2004) „UnitDim: An Ontology of Physical Units and Quantities“, 2004.
- Rijgersberg, Hajo; Van Assem, Mark; Top, Jan (2013) „Ontology of Units of Measure and Related Concepts“, in: *Semantic Web*, Vol. 4, No. 1, 2013, pp. 3-13.
- Ring, Mark B. (1998) „CHILD: A First Step Towards Continual Learning“, in: „Learning to Learn“, ed. by Thrun, Sebastian; Pratt, Lorian, New York: Springer, 1998, pp. 261-292.
- Ringle, Martin (ed.) (1979) „Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence“, Brighton: The Harvester Pr., 1979.
- Rini, Adriane A.; Cresswell, Maxwell J. (2012) „The World-Time Parallel. Tense and Modality in Logic and Metaphysics“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2012.
- Rinne, Mikko (2012) „SPARQL Update for Complex Event Processing“, in: „The Semantic Web - ISWC 2012“, ed. by Cudré-Mauroux, Philippe et al., 11th International Semantic Web Conference, Boston, MA, USA, November 11-15, 2012, Proceedings, Part II, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 453-456.
- Rinne, Mikko; Blomqvist, Eva; Keskiarika, Robin; Nuutila, Esko (2013) „Event Processing in RDF“, in: „WOP 2013. Workshop on Ontology and Semantic Web Patterns“, ed. by Gangemi, Aldo et al., Proceedings of the 4th Workshop on Ontology and Semantic Web Patterns co-located with 12th International Semantic Web Conference (ISWC 2013), Sydney, Australia, October 21, 2013.
- Risse, Wilhelm (1969) „Die Characteristica Universalis bei Leibniz“, in: *Studi Internazionali di Filosofia*, Vol. 1, 1969, pp. 107-116.
- Ritchie, Arthur D. (1924) „Prof. Lloyd Morgan's 'Emergent Evolution'“, in: *Mind*, N.S., Vol. 33, No. 129, 1924, p. 123.
- Ritchie, Arthur D. (1941) „Whitehead's Defence of Speculative Reason“, in: „The Philosophy of Alfred North Whitehead“, ed. by Schilpp, Paul A., Evanston, Chicago: Northwestern Univ., 1941, pp. 329-349.
- Ritchie, Jack (2010) „Naturalized Metaphysics“, in: *International Journal of Philosophical Studies*, Vol. 18, No. 5, 2010, pp. 673-685.
- Ritchie, James M.; Sung, Raymond C.W.; Rea, Heather; Lim, Theodore; Corney, Jonathan R.; Howley, Iris (2008) „The Use of Non-intrusive User Logging to Capture Engineering Rationale, Knowledge and Intent during the Product Life Cycle“, Proceedings of International Conference on Management of Engineering & Technology (PICMET) 2008 Proceedings, 27-31 July, Cape Town, South Africa, 2008, pp. 981-989.
- Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen (eds.) (2012) „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012 Montreal, QC, Canada, July 9-11, 2012, Heidelberg et al.: Springer, 2012.
- Robbins, David E.; Tanik, Murat M. (2014) „Cyber-Physical Ecosystems: App-Centric Software Ecosystems in Cyber-Physical Environments“, in: „Applied Cyber-Physical Systems“, ed. by Suh, Sang C. et al., New York et al.: Springer, 2014, pp. 141-147.
- Roberts, Don D. (1973) „The Existential Graphs of Charles S. Peirce“, The Hague: Mouton, 1973.

Bibliographie

- Robertson, Douglas S. (1999) „Algorithmic Information Theory, Free Will, and the Turing Test“, in: *Complexity*, Vol. 4, No. 3, 1999, pp. 25-34.
- Robin, Vincent; Girard, Philippe (2006) „An Integrated Product-Process-Organisation Model to Manage Design System“, *IMACS Multiconference on "Computational Engineering in Systems Applications" (CESA)*, October 4-6, 2006, Beijing, China, 2006, pp. 1287-1293.
- Robinson, Stewart (2010) „Conceptual Modelling: Who Needs It?“, in: *SCS M&S Magazine*, No. 2, 2010, pp. 1-7.
- Rockmore, Tom (1990) „Realismus, Idealismus und spekulative Metaphysik“, in: „Whitehead und der deutsche Idealismus - Whitehead and German Idealism“, hrsg. v. Lucas, George R., Jr.; Braeckman, Antoon, Bern et al.: Peter Lang, 1990, S. 47-56.
- Rockmore, Tom (2008) „On Rescher's View of Idealism (and Pragmatism)“, in: „Rescher Studies: A Collection of Essays on the Philosophical Work of Nicholas Rescher“, ed. by Almeder, Robert F., Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 287-308.
- Rodríguez, Sara; De Paz, Juan F.; Villarrubia, Gabriel; Zato, Carolina; Bajo, Javier; Corchado, Juan M. (2015) „Multi-Agent Information Fusion System to Manage Data from a WSN in a Residential Home“, in: *Information Fusion*, Vol. 23, 2015, pp. 43-57.
- Rogge-Solti, Andreas et al.; Van der Aalst, Wil M.P.; Weske, Mathias (2014) „Discovering Stochastic Petri Nets with Arbitrary Delay Distributions from Event Logs“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Lohmann, Niels et al., *BPM 2013 International Workshops*, Beijing, China, August 26, 2013, Revised Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 15-27.
- Rohrlich, Fritz (1997) „Cognitive Emergence“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 64, Supplement. Proceedings of the 1996 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers, 1997, pp. S346-S358.
- Roli, Andrea; Zambonelli, Franco (2002) „Emergence of Macro Spatial Structures in Dissipative Cellular Automata“, in: „Cellular Automata“, ed. by Bandini, Stefania et al., *5th International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, ACRI 2002 Geneva, Switzerland*, October 9-11, 2002 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 144-155.
- Rolland, Colette; Cauvet, Corine (1992) „Trends and Perspectives in Conceptual Modeling“, in: „Conceptual Modeling, Databases, and Case. An Integrated View of Information Systems Development“, ed. by Loucopoulos, Pericles; Zicari, Roberto, New York et al.: Wiley, 1992, pp. 27-48.
- Rolstadås, Asbjørn (1991) „CIM and One Of A Kind Production“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeingts, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, *Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September*, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 55-63.
- Roman, Dumitru; Keller, Uwe; Lausen, Holger; De Bruijn, Jos; Lara, Rubén; Stollberg, Michael; Polleres, Axel et al. (2005) „Web Service Modeling Ontology“, in: *Applied Ontology*, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 77-106.
- Rombach, Heinrich (1965) „Substanz, System, Struktur. Die Ontologie des Funktionalismus und der philosophische Hintergrund der modernen Wissenschaft“, 2., unveränd. Aufl. (2 Bde.), Freiburg, München: Alber, 1981.
- Römer, Kay; Mattern, Friedemann (2004) „Event-Based Systems for Detecting Real-World States with Sensor Networks: A Critical Analysis“, *Proceedings of the 2004 Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference*, 14-17 Dec., 2004, pp. 389-395.
- Römer, Kay; Mattern, Friedemann (2005) „Towards a Unified View on Space and Time in Sensor Networks“, in: *Computer Communications*, Vol. 28, No. 13, 2005, pp. 1484-1497.
- Romero Rojo, Francisco J.; Roy, Rajkumar; Shehab, Essam; Cheruvu, Kalyan; Blackman, Ian; Rumney, Graeme A. (2010) „Key Challenges in Managing Software Obsolescence for Industrial Product-Service Systems (IPS²)“, ed. by Sakao, Tomohiko et al., *CIRP IPS² Conference*, Linköping, 14-15 April, 2010, pp. 393-398.
- Romero Rojo, Francisco J.; Roy, Rajkumar; Shehab, Essam; Wardle, Philip J. (2009) „Obsolescence Challenges for Product-Service Systems in Aerospace and Defence Industry“, *Proceedings of the 1st CIRP Industrial Product-Service Systems (IPS²) Conference*, Cranfield Univ., 1-2 April, 2009, pp. 255-260.
- Romero, David; Vernadat, François (2016) „Enterprise Information Systems State of the Art: Past, Present and Future Trends“, in: *Computers in Industry*, Vol. 79, 2016, pp. 3-13.
- Rompe, Elisabeth Maria (1968) „Die Trennung von Ontologie und Metaphysik. Der Ablösungsprozeß und seine Motivierung bei Benedictus Pererius und anderen Denkern des 16. und 17. Jahrhunderts“, Bonn, 1968.

Bibliographie

- Rorty, Richard (ed.) (1967) „The Linguistic Turn. Recent Essays in Philosophical Method“, Chicago et al.: Univ. of Chicago Pr., 1967.
- Rorty, Richard M. (1983) „Matter and Event“, in: „Explorations in Whitehead's Philosophy“, ed. by Ford, Lewis S.; Kline, George L., New York: Fordham Univ. Pr., 1983, pp. 68-103.
- Rosch, Eleanor H. (1973) „Natural Categories“, in: *Cognitive Psychology*, Vol. 4, No. 3, 1973, pp. 328-350.
- Rosch, Eleanor H.; Olivier, Donald C. (1972) „The Structure of the Color Space in Naming and Memory for Two Languages“, in: *Cognitive Psychology*, Vol. 3, No. 2, 1972, pp. 337-354.
- Rosemann, Michael; Green, Peter (2002) „Developing a Meta Model for the Bunge-Wand-Weber Ontological Constructs“, in: *Information Systems*, Vol. 27, No. 2, 2002, pp. 75-91.
- Rosemann, Michael; Green, Peter; Indulska, Marta (2005) „A Procedural Model for Ontological Analyses“, in: „Information Systems Foundations: Constructing and Criticising“, ed. by Hart, Dennis N.; Gregor, Shirley D., Canberra: ANU E Pr., 2005, pp. 153-163.
- Rosemann, Michael; Green, Peter; Indulska, Marta; Recker, Jan C. (2009) „Using Ontology for the Representational Analysis of Process Modelling Techniques“, in: *International Journal of Business Process Integration and Management*, Vol. 4, No. 4, 2009, pp. 251-265.
- Rosemann, Michael; Vessey, Iris; Weber, Ron (2004) „Alignment in Enterprise Systems Implementations: The Role of Ontological Distance“, in: *Proceedings of the International Conference on Information Systems 2004*, 2004, pp. 439-447.
- Rosemann, Michael; Vessey, Iris; Weber, Ron; Wyssusek, Boris (2004) „On the Applicability of the Bunge-Wand-Weber Ontology to Enterprise Systems Requirements“, *Proceedings of the 15th Australasian Conference on Information Systems 1-3 December 2004*, Hobart, Tasmania, 2004.
- Rosemann, Michael; Wyssusek, Boris (2005) „Enhancing the Expressiveness of the Bunge-Wand-Weber Ontology“, *Proceedings of the Eleventh Americas Conference on Information Systems*, Omaha, NE, USA August 11th-14th 2005, 2005, pp. 2803-2810.
- Rosen, Robert (1977) „Complexity as a System Property“, in: *International Journal of General Systems*, Vol. 3, No. 4, 1977, pp. 227-232.
- Rosenberger, Manfred; Denger, Andrea (2010) „Semantic Structure Mapping in the Earlier Phases of the Product Lifecycle“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., *Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009*, Genève: Inderscience, 2010, pp. 598-608.
- Rosenbloom, Paul S.; Newell, Allen (1986) „The Chunking of Goal Hierarchies: A Generalized Model of Practice“, in: „Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach: Volume II“, ed. by Michalski, Ryszard S. et al., Los Altos/CA: Morgan Kaufmann, 1986, pp. 247-288.
- Rosenbloom, Paul S.; Newell, Allen; Laird, John E. (1991) „Towards the Knowledge Level in Soar: The Role of the Architecture in the Use of Knowledge“, in: „Architectures for Intelligence“, ed. by VanLehn, Kurt, Hillsdale/NJ et al.: Lawrence Erlbaum, 1991, pp. 75-111.
- Rosenblueth, Arturo; Wiener, Norbert (1950) „Purposeful and Non-Purposeful Behavior“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 17, No. 4, 1950, pp. 318-326.
- Rosenblueth, Arturo; Wiener, Norbert; Bigelow, Julian (1943) „Behavior, Purpose and Teleology“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 10, No. 1, 1943, pp. 18-24.
- Rosenfield, Leonora Cohen (1940) „From Beast-Machine to Man-Machine. The Theme of Animal Soul in French Letters from Descartes to La Mettrie“, New York: Oxford Univ. Pr., 1940.
- Rosenkrantz, Gary S. (1993) „Haecceity. An Ontological Essay“, Dordrecht et al.: Kluwer, 1993.
- Rosenkrantz, Gary S.; Hoffman, Joshua (1991) „The Independence Criterion of Substance“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 51, No. 4, 1991, pp. 835-853.
- Roser, Stephan; Bauer, Bernhard (2007) „Improving Interoperability in Collaborative Modelling“, in: „Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches“, ed. by Gonçalves, Ricardo J. et al., London: Springer, 2007, pp. 139-150.
- Roset, Bas J.P.; Nijmeijer, Henk; Van Eekelen, Joost A.W.M.; Lefeber, Erjen; Rooda, Jacobus E. (2005) „Event Driven Manufacturing Systems as Time Domain Control Systems“, *Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference 2005*, Seville/Spain, December 12-15, 2005, pp. 446-451.
- Rospoche, Marco; Ghidini, Chiara; Serafini, Luciano (2014) „An Ontology for the Business Process Modelling Notation“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Garbacz, Pawel; Kutz, Oliver, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2014, pp. 133-146.
- Ross, Ronald G. (2008) „The Emergence of SBVR and the True Meaning of 'Semantics'. Why You Should Care (a Lot!) ~ Part 1“, in: *Business Rules Journal*, Vol. 9, No. 3, 2008.

Bibliographie

- Rosse, Cornelius; Mejino, José L.V., Jr. (2003) „A Reference Ontology for Biomedical Informatics: The Foundational Model of Anatomy“, in: *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 36, No. 6, 2003, pp. 478-500.
- Røstad, Carl Christian; Henriksen, Bjørnar (2012) „ECO-Boat MOL. Capturing Data from Real Use of the Product“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 99-110.
- Rotenstreich, Nathan (1974) „From Substance to Subject. Studies in Hegel“, The Hague: Nijhoff, 1974.
- Roth, Gerhard (1992) „Kognition: Die Entstehung von Bedeutung im Gehirn“, in: „Emergenz: Die Entstehung von Ordnung, Organisation und Bedeutung“, hrsg. v. Krohn, Wolfgang; Küppers, Günter, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1992, S. 104-133.
- Roth, Martin; Donath, Steffi (2012) „Applying Complex Event Processing towards Monitoring of Multi-party Contracts and Services for Logistics - A Discussion“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Daniel, Florian et al., BPM 2011 International Workshops, Clermont-Ferrand, France, August 29, 2011, Revised Selected Papers, Part I, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 458-463.
- Rotolo, Antonino; Van der Torre, Leendert (2011) „Rules, Agents and Norms: Guidelines for Rule-Based Normative Multi-Agent Systems“, in: „Rule-Based Reasoning, Programming, and Applications“, ed. by Bassiliades, Nick et al., 5th International Symposium, RuleML 2011 - Europe, Barcelona, Spain, July 19-21, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 52-66.
- Rouhaud, Jean-François (2000) „Cellular Automata and Consumer Behaviour“, in: *European Journal of Economic and Social Systems*, Vol. 14, No. 1, 2000, pp. 37-52.
- Roy, Rajkumar; Cheruvu, Kalyan S. (2009) „A Competitive Framework for Industrial Product-Service Systems“, in: *International Journal of Internet Manufacturing and Services*, Vol. 2, No. 1, 2009, pp. 4-29.
- Roy, Rajkumar; Erkoyuncu, John Ahmet; Shaw, Andy (2013) „The Future of Maintenance for Industrial Product-Service Systems“, in: „Product-Service Integration for Sustainable Solutions“, ed. by Meier, Horst, Proceedings of the 5th CIRP International Conference on Industrial Product-Service Systems, Bochum, Germany, March 14th - 15th, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 1-15.
- Roy, Sarbani; Chowdhury, Chandreyee (2017) „Integration of Internet of Everything (IoE) with Cloud“, in: „Beyond the Internet of Things. Everything Interconnected“, ed. by Batalla, Jordi M. et al., Cham et al.: Springer, 2017, pp. 199-222.
- Rudd, David (1983) „Do We Really Need World III? Information science with or without Popper“, in: *Journal of Information Science*, Vol. 7, No. 3, 1983, pp. 99-105.
- Rudner, Richard (1961) „An Introduction to Simplicity“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 28, No. 2, 1961, pp. 109-119.
- Rueger, Alexander (2000a) „Physical Emergence, Diachronic And Synchronic“, in: *Synthese*, Vol. 124, No. 3, 2000, pp. 297-322.
- Rueger, Alexander (2000b) „Robust Supervenience and Emergence“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 67, No. 3, 2000, pp. 466-489.
- Rueger, Alexander (2006a) „Functional Reduction and Emergence in the Physical Sciences“, in: *Synthese*, Vol. 151, 2006, pp. 335-346.
- Ruiz-Martínez, Juana María; Valencia-García, Rafael; Martínez-Béjar, Rodrigo; Hoffmann, Achim (2012) „BioOntoVerb: A Top Level Ontology based Framework to Populate Biomedical Ontologies from Texts“, in: *Knowledge-Based Systems*, Vol. 36, 2012, pp. 68-80.
- Ruiz-Mirazo, Kepa; Moreno, Alvaro (2004) „Basic Autonomy as a Fundamental Step in the Synthesis of Life“, in: *Artificial Life*, Vol. 10, No. 3, 2004, pp. 235-259.
- Ruiz-Mirazo, Kepa; Moreno, Alvaro (2006) „On the Origins of Information and Its Relevance for Biological Complexity“, in: *Biological Theory*, Vol. 1, No. 3, 2006, pp. 227-229.
- Ruiz-Mirazo, Kepa; Moreno, Alvaro (2011) „The Need for a Universal Definition of Life in Twenty-first-century Biology“, in: „Information and Living Systems: Philosophical and Scientific Perspectives“, ed. by Terzis, George; Arp, Robert, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2011, pp. 3-23.
- Ruiz-Mirazo, Kepa; Moreno, Alvaro; Morán, Federico (1998) „Merging the Energetic and the Relational-Constructive Logic of Life“, in: „Artificial Life VI. Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Life“, ed. by Adami, Christoph et al., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1998, pp. 448-451.
- Ruiz-Mirazo, Kepa; Peretó, Juli; Moreno, Alvaro (2004) „A Universal Definition of Life: Autonomy and Open-Ended Evolution“, in: *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, Vol. 34, No. 3, 2004, pp. 323-346.

Bibliographie

- Runde, Stefan; Fay, Alexander (2011) „Software Support for Building Automation Requirements Engineering-An Application of Semantic Web Technologies in Automation“, 2011.
- Runggaldier, Edmund (1990) „Analytische Sprachphilosophie“, Stuttgart et al.: Kohlhammer, 1990.
- Runggaldier, Edmund (2007) „Formal semantische Erneuerung der Metaphysik“, in: „Metaphysik heute - Probleme und Perspektiven der Ontologie“, hrsg. v. Lutz-Bachmann, Matthias; Schmidt, Thomas M., Freiburg, München: Alber, 2007, S. 57-75.
- Runggaldier, Edmund; Kanzian, Christian (1998) „Grundprobleme der Analytischen Ontologie“, Paderborn et al.: Schöningh, 1998.
- Ruokolainen, Toni; Naudet, Yannick; Latour, Thibaud (2007) „An Ontology of Interoperability in Inter-Enterprise Communities“, in: „Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches“, ed. by Gonçalves, Ricardo J. et al., London: Springer, 2007, pp. 159-170.
- Russell, Bertrand (1900) „A Critical Exposition of the Philosophy of Leibniz“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1900.
- Russell, Bertrand (1903) „Recent Work on the Philosophy of Leibniz“, in: *Mind*, N.S., Vol. 12, No. 46, 1903, pp. 177-201.
- Russell, Bertrand (1905) „On Denoting“, in: *Mind*, New Series, Vol. 14, No. 56, 1905, pp. 479-493.
- Russell, Bertrand (1908) „Mathematical Logic as Based on the Theory of Types“, in: *American Journal of Mathematics*, Vol. 30, No. 3, 1908, pp. 222-262.
- Russell, Bertrand (1910/11) „Knowledge by Acquaintance and Knowledge by Description“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society*, N.S., Vol. 11, 1910/11, pp. 108-128.
- Russell, Bertrand (1911/12) „On the Relations of Universals and Particulars“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society*, N.S., Vol. 12, 1911/12, pp. 1-24.
- Russell, Bertrand (1912) „The Problems of Philosophy“, Repr., Mineola/NY: Dover Publ., 1999.
- Russell, Bertrand (1913) „Theory of Knowledge. The 1913 Manuscript“, ed. by Eames, Elizabeth R., London, New York: Routledge, 1984.
- Russell, Bertrand (1914) „Our Knowledge of the External World“, Repr., Chicago, London: Open Court, 1915.
- Russell, Bertrand (1915a) „On the Experience of Time“, in: *The Monist*, Vol. 25, No. 2, 1915, pp. 212-233.
- Russell, Bertrand (1915b) „Sensation and Imagination“, in: *The Monist*, Vol. 25, No. 1, 1915, pp. 28-44.
- Russell, Bertrand (1915c) „The Ultimate Constituents of Matter“, in: *The Monist*, Vol. 25, No. 3, 1915, pp. 399-417.
- Russell, Bertrand (1917) „Mathematics and the Metaphysicians“, in: „Mysticism and Logic. And other Essays“, ed. by Russell, Bertrand, 10th Impr., London: Allen and Unwin, 1951, pp. 74-96.
- Russell, Bertrand (1918) „The Philosophy of Logical Atomism“, in: *The Monist*, Vol. 28, No. 4, (Part 1), 1918, pp. 495-527.
- Russell, Bertrand (1919a) „The Philosophy of Logical Atomism“, in: *The Monist*, Vol. 29, No. 1, (Part 2), 1919, pp. 32-63.
- Russell, Bertrand (1919b) „The Philosophy of Logical Atomism“, in: *The Monist*, Vol. 29, No. 2, (Part 3), 1919, pp. 190-222.
- Russell, Bertrand (1919c) „The Philosophy of Logical Atomism“, in: *The Monist*, Vol. 29, No. 3, (Part 4), 1919, pp. 345-380.
- Russell, Bertrand (1919d) „Introduction to Mathematical Philosophy“, Repr., London: Allen and Unwin, 1924.
- Russell, Bertrand (1924) „Logical Atomism“, in: „Bertrand Russell: Logic and Knowledge: Essays 1901-1950“, ed. by Marsh, Robert C., London: Allen & Unwin, 1956, pp. 321-344.
- Russell, Bertrand (1927a) „The Analysis of Matter“, London: Kegan Paul, Trench, Trubner, 1927.
- Russell, Bertrand (1927b) „An Outline of Philosophy“, London: Allen and Unwin, 1927.
- Russell, Bertrand (1940) „An Inquiry into Meaning and Truth“, 5th Pr., London: Allen and Unwin, 1956.
- Russell, Bertrand (1948a) „Human Knowledge. Its Scope and Limits“, New York: Simon and Schuster, 1948.
- Russell, Bertrand (1948b) „Whitehead and Principia Mathematica“, in: *Mind*, New Series, Vol. 57, No. 226, 1948, pp. 137-138.
- Russell, Bertrand (1952) „Mystik und Logik“, Wien, Stuttgart: Humboldt, 1952.
- Russell, Bertrand (1957) „Logic and Ontology“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 54, No. 9, 1957, pp. 225-230.
- Russell, Bertrand (1959) „My Philosophical Development“, London: Allen & Unwin, 1959.

Bibliographie

- Russell, Stuart J. (1989) „Execution Architectures and Compilation“, IJCAI'89 Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Vol. 1, San Francisco/CA: Morgan Kaufmann, 1989, pp. 15-20.
- Russell, Stuart J. (1997) „Rationality and Intelligence“, in: Artificial Intelligence, Vol. 94, No. 1-2, 1997, pp. 57-77.
- Russell, Stuart J. (2016) „Rationality and Intelligence: A Brief Update“, in: „Fundamental Issues of Artificial Intelligence“, ed. by Müller, Vincent C., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 7-28.
- Russell, Stuart J.; Norvig, Peter (1995) „Artificial Intelligence. A Modern Approach“, 1st ed., Englewood Cliffs/N.J. et al.: Prentice Hall, 1995.
- Russell, Stuart J.; Norvig, Peter (2004) „Künstliche Intelligenz. Ein moderner Ansatz“, 2. Aufl., München: Pearson, 2004.
- Russell, Stuart J.; Norvig, Peter (2010) „Artificial Intelligence. A Modern Approach“, 3rd ed., Upper Saddle River/N.J. et al.: Prentice Hall, 2010.
- Rust, Alois (1990) „Naturwissenschaft und Kosmologie bei Alfred N. Whitehead“, in: „Natur, Subjektivität, Gott. Zur Prozeßphilosophie Alfred N. Whiteheads“, hrsg. v. Holzhey, Helmut; Rust, Alois; Wiehl, Reiner, 1. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1990, S. 123-142.
- Rutsch, Andreas; Schumann, Christian-Andreas (2010) „Product Lifecycle and Product Data Management in Corporate Information Environments - Development Scenarios Upon the Example of the Y-CIM Model“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 412-424.
- Rüttimann, Gottfried T. (1977) „Logikkalküle der Quantenphysik“, Berlin: Duncker und Humblot, 1977.
- Ryle, Gilbert (1938) „Categories“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, N.S., Vol. 38, 1938, pp. 189-206.
- Ryle, Gilbert (1949) „The Concept of Mind“, Repr., London: Hutchinson, 1958.
- Ryu, Minwoo; Kim, Jaeho; Yun, Jaeseok (2015) „Integrated Semantics Service Platform for the Internet of Things: A Case Study of a Smart Office“, in: Sensors, Vol. 15, No. 1, 2015, pp. 2137-2160.
- Rzevski, George (2012) „Modelling Large Complex Systems Using Multi-Agent Technology“, 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, 2012, pp. 434-437.
- Saaksvuori, Antti; Immonen, Anselmi (2008) „Product Lifecycle Management“, 3rd ed., Berlin et al.: Springer, 2008.
- Saalmann, Philipp; Zuccolotto, Marcos; Regal da Silva, Thiago; Wagner, Carolin; Giacomolli, Anderson et al. (2016) „Application Potentials for an Ontology-based Integration of Intelligent Maintenance Systems and Spare Parts Supply Chain Planning“, in: Procedia CIRP, Vol. 41, 2016, pp. 270-275.
- Sabou, Marta (2004) „From Software APIs to Web Service Ontologies: A Semi-automatic Extraction Method“, in: „The Semantic Web - ISWC 2004“, ed. by McIlraith, Sheila A. et al., Third International Semantic Web Conference, Hiroshima, Japan, November 7-11, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 410-424.
- Sabou, Marta (2006) „Building Web Service Ontologies“, Diss., Vrije Univ. Amsterdam, 2006.
- Sabou, Marta; Kantorovitch, Julia; Nikolov, Andriy; Tokmakoff, Andrew; Zhou, Xiaoming; Motta, Enrico (2009) „Position Paper on Realizing Smart Products: Challenges for Semantic Web Technologies“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 2nd International Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN09), collocated with the 8th Int. Semantic Web Conference (ISWC-2009), Washington DC/USA, Oct. 26, 2009, pp. 135-147.
- Sabou, Marta; Kovalenko, Olga; Ekaputra, Fajar; Biffi, Stefan (2017) „Beiträge des Semantic Web zum Engineering für Industrie 4.0“, in: „Handbuch Industrie 4.0 Bd.2: Automatisierung“, hrsg. v. Vogel-Heuser, Birgit et al., Berlin et al.: Springer, 2017, S. 293-313.
- Sacerdoti, Earl D. (1978) „What Language Understanding Research Suggests About Distributed Artificial Intelligence“, in: „Distributed Sensor Nets“, ed. by Defense Advanced Research Projects Agency, Proceedings of a Workshop held at Carnegie-Mellon University, December 7-8, 1978, pp. 8-11.
- Saha, Debashis; Mukherjee, Amitava (2003) „Pervasive Computing: A Paradigm for the 21st Century“, in: IEEE Computer, Vol. 36, No. 3, 2003, pp. 25-31.
- Salay, Nancy (2009) „Why Dreyfus' Frame Problem Argument Cannot Justify Anti-Representational AI“, CogSci 2009 Proceedings, 2009, pp. 1198-1203.
- Saleh, Omran (2013) „Complex Event Processing in Wireless Sensor Networks“, in: „GvD 2013“, ed. by Sattler, Kai-Uwe et al., Proceedings of the 25th GI-Workshop 'Grundlagen von Datenbanken 2013', Ilmenau, Germany, May 28-31, 2013, pp. 69-74.

Bibliographie

- Salem, James B.; Wolfram, Stephen (1985) „Thermodynamics and Hydrodynamics of Cellular Automata“, in: „Cellular Automata and Complexity“, ed. by Wolfram, Stephen, (Originally issued as a Thinking Machines Corporation Technical Report, Nov. 1985), Westview Pr., 1994, pp. 259-265.
- Salibekyan, Sergey; Panfilov, Peter (2015) „A New Approach for Distributed Computing in Embedded Systems“, in: *Procedia Engineering*, Vol. 100, 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, DAAAM, 2015, pp. 977-986.
- Sallez, Yves (2012) „The Augmentation Concept: How to Make a Product "Active" during Its Life Cycle“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing Control“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 35-48.
- Sallez, Yves (2014a) „Proposition of an Analysis Framework to Describe the "Activeness" of a Product during Its Life Cycle. Part I: Motivations and Modelling“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 257-270.
- Sallez, Yves (2014b) „Proposition of an Analysis Framework to Describe the "Activeness" of a Product during Its Life Cycle. Part II: Method and Applications“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 271-282.
- Sallez, Yves; Montreuil, Benoit; Ballot, Eric (2015) „On the Activeness of Physical Internet Containers“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-agent Manufacturing“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2015, pp. 259-269.
- Salmen, David; Malyuta, Tatiana; Hansen, Alan; Cronen, Shaun; Smith, Barry (2011) „Integration of Intelligence Data through Semantic Enhancement“, ed. by Costa, Paulo C.G.; Laskey, Kathryn B., *Semantic Technology for Intelligence, Defense and Security (STIDS 2011)*, Building the Semantic Cloud, Conference held at George Mason Univ., 16-17 Nov., 2011, pp. 6-13.
- Salvador, Fabrizio; Forza, Cipriano (2004) „Configuring Products to Address the Customization-Responsiveness Squeeze: A Survey of Management Issues and Opportunities“, in: *International Journal of Production Economics*, Vol. 91, 2004, pp. 273-291.
- Samadian, Soroush; McManus, Bruce; Wilkinson, Mark (2014) „Automatic Detection and Resolution of Measurement-Unit Conflicts in Aggregated Data“, in: *BMC Medical Genomics*, Vol. 7, Suppl. 1, S12, 2014.
- Samaniego, Mayra; Deters, Ralph (2016a) „Hosting Virtual IoT Resources on Edge-Hosts with Blockchain“, *IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT)*, Nadi/Fiji, 8-10 Dec., 2016, pp. 116-119.
- Samaniego, Mayra; Deters, Ralph (2016b) „Using Blockchain to push Software-Defined IoT Components onto Edge Hosts“, *Proceedings of the International Conference on Big Data and Advanced Wireless Technologies (BDAW '16)*, Article No. 58, Blagoevgrad/Bulgaria, November 10-11, 2016.
- Samaniego, Mayra; Jamsrandorj, Uurtsaikh; Deters, Ralph (2016) „Blockchain as a Service for IoT: Cloud versus Fog“, *IEEE Int. Conference on Internet of Things (iThings), Green Computing and Communications (GreenCom), Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and Smart Data (SmartData)*, 2016, pp. 433-436.
- Samaras, Ioakeim K.; Gialelis, John V.; Hassapis, George D.; Akpan, Vincent A. (2009) „Utilizing Semantic Web Services in Factory Automation towards Integrating Resource Constrained Devices into Enterprise Information Systems“, *IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation, 2009 (ETFA 09)*, Mallorca/Spain, 22-25 Sept., 2009, pp. 1-8.
- Sampson, Scott E.; Froehle, Craig M. (2006) „Foundations and Implications of a Proposed Unified Services Theory“, in: *Production and Operations Management*, Vol. 15, No. 2, 2006, pp. 329-343.
- Sandewall, Erik (1989) „Combining Logic and Differential Equations for Describing Real-World Systems“, ed. by Brachman, Ronald J. et al., *Proceedings of the 1st International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'89)*. Toronto, Canada, May 15-18, San Mateo/Cal.: Morgan Kaufman, 1989, pp. 412-420.
- Sandewall, Erik (1994) „Features and Fluents. Vol. 1: The Representation of Knowledge about Dynamical Systems“, Oxford: Clarendon Pr., 1994.
- Sandkühler, Hans Jörg (1991) „Epistemologischer Realismus. Zur Ontoepistemologie ideeller Entitäten und zur internen Rekonstruktion von Wissen“, in: „*Ontologie, Epistemologie und Methodologie. Ergebnisse aus einem Forschungsprogramm zu philosophischen Voraussetzungen wissenschaftlicher Theoriebildung*“, hrsg. v. Sandkühler, Hans Jörg, Zentrum Philosophische Grundlagen der Wissenschaften, Bremen, Schriftenreihe, Bd. 11, Bremen, 1991, S. 65-93.
- Sanfilippo, Emilio M. (2015) „Towards an Ontological Formalization of Technical Product for Design and Manufacturing“, in: „*Formal Ontologies Meet Industry*“, ed. by Cuel, Roberta; Young, Robert, 7th Inter-

Bibliographie

- national Workshop, FOMI 2015, Berlin, Germany, August 5, 2015, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 75-87.
- Sanfilippo, Emilio M.; Borgo, Stefano; Masolo, Claudio (2014a) „Events and Activities: Is there an Ontology behind BPMN?“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Garbacz, Pawel; Kutz, Oliver, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2014, pp. 147-156.
- Sanfilippo, Emilio M.; Borgo, Stefano; Masolo, Claudio (2014b) „Towards an Ontological Analysis of BPMN“, in: „KESE 2014. Knowledge Engineering and Software Engineering“, ed. by Nalepa, Grzegorz J.; Baumeister, Joachim, Proceedings of 10th Workshop on Knowledge Engineering and Software Engineering (KESE10), co-located with 21st ECAI 2014, Prague, Czech Republic, August 19, 2014.
- Sanislav, Teodora; Miclea, Liviu (2012) „Cyber-Physical Systems - Concept, Challenges and Research Areas“, in: *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, Vol. 14, No. 2, 2012, pp. 28-33.
- Sankey, Howard (1994) „The Incommensurability Thesis“, Aldershot et al.: Avebury, 1994.
- Santayana, George (1930) „Realms of Being, Vol. 2: The Realm of Matter“, London: Constable and Comp., 1930.
- Santucci, Gérald; Martinez, Cristina; Vlad-Câlcic, Diana (2013) „The Sensing Enterprise“, European Commission, DG CONNECT 02, 2013.
- Sanya, I.O.; Shehab, E.M. (2015) „A Framework for Developing Engineering Design Ontologies within the Aerospace Industry“, in: *International Journal of Production Research*, Vol. 53, No. 8, 2015, pp. 2383-2409.
- SAP (2006) „mySAP Product Lifecycle Management“, 2006.
- SAP (2011) „Product Lifecycle Management: Bringing Sustainable Products to Market Faster“, 2011.
- Sapir, Edward (1929) „The Status of Linguistics as a Science“, in: *Language*, Vol. 5, No. 4, 1929, pp. 207-214.
- Sarkar, Chayan; Rao, Vijay S.; Prasad, R. Venkatesha; Rahim, Abdur; Niemegeers, Ignas (2012) „A Distributed Model for Approximate Service Provisioning in Internet of Things“, Proceedings of the 2012 International Workshop on Self-Aware Internet of Things (Self-IoT '12), San Jose/CA, September 17, 2012, pp. 31-36.
- Sarkar, Tripti K. (1977) „Descriptive Metaphysics and Ordinary Language“, in: *Indian Philosophical Quarterly*, Vol. 4, No. 3, 1977, pp. 393-404.
- Sarkar, Tripti K. (1980) „A Note On Theoretical Language And Its Bearing On Metaphysico- Scientific Systems“, in: *Indian Philosophical Quarterly*, Vol. 7, No. 2, 1980, pp. 275-287.
- Sarma, Sanjay; Brock, David L.; Ashton, Kevin (2000) „The Networked Physical World. Proposals for Engineering the Next Generation of Computing, Commerce & Automatic-Identification“, White Paper, Auto-ID Center, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- Sasa, Ana B.; Krisper, Marjan (2012) „Context Ontology for Event-Driven Information Systems“, ICONS 2012: The Seventh International Conference on Systems, 2012, pp. 39-42.
- Sasa, Ana B.; Vasilecas, Olegas (2011) „Ontology-Based Support for Complex Events“, in: *Elektronika ir Elektrotechnika*, Vol. 113, No. 7, 2011, pp. 83-88.
- Sathi, Arvind (2016) „Cognitive (Internet of) Things“, New York/NY: Palgrave Macmillan, 2016.
- Saunders, Per; Cai, Bin; Orchard, Nick; Maropoulos, Paul (2013) „Towards a Definition of PLM-integrated Dimensional Measurement“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 7, 2013, pp. 670-675.
- Saunders, Simon (2002) „How Relativity Contradicts Presentism“, in: *Royal Institute of Philosophy Supplements*, Vol. 50, 2002, pp. 277-292.
- Saurer, Gerd; Schiefer, Josef; Schatten, Alexander (2006) „Testing Complex Business Process Solutions“, First International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES'06), 2006.
- Sawhill, B. Kean (1995) „Self-Organized Criticality and Complexity Theory“, in: „1993 Lectures in Complex Systems“, ed. by Nadel, Lynn; Stein, Daniel L., Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1995, pp. 143-170.
- Sawhill, B. Kean; Kauffman, Stuart A. (1997) „Phase Transitions in Logic Networks“, Working Paper, 1997.
- Sawyer, Pete; Pathak, Animesh; Bencomo, Nelly; Issarny, Valérie (2012) „How the Web of Things Challenges Requirements Engineering“, in: „Current Trends in Web Engineering“, ed. by Grossniklaus, Michael; Wimmer, Manuel, ICWE 2012 International Workshops MDWE, ComposableWeb, WeRE, QWE, and Doctoral Consortium, Berlin, Germany, July 23-27, 2012, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 170-175.
- Sawyer, R. Keith (1999) „The Emergence of Creativity“, in: *Philosophical Psychology*, Vol. 12, No. 4, 1999, pp. 447-469.

Bibliographie

- Sawyer, R. Keith (2003) „Artificial Societies. Multiagent Systems and the Micro-Macro Link in Sociological Theory“, in: *Sociological Methods & Research*, Vol. 31, No. 3, 2003, pp. 325-363.
- Sawyer, R. Keith (2005) „Social Emergence. Societies as Complex Systems“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2005.
- Sayed, Syed A. (1990) „Knowledge and Reality. Towards A Nonreductionist View“, Delhi: Acad. Foundation, 1990.
- Sayre, Kenneth M. (1976) „Cybernetics and the Philosophy of Mind“, London: Routledge & Kegan Paul, 1976.
- Sayre, Kenneth M. (1979) „The Simulation of Epistemic Acts“, in: „Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence“, ed. by Ringle, Martin, Brighton: The Harvester Pr., 1979, pp. 139-160.
- Sayre, Kenneth M. (1986) „Intentionality and Information Processing: An Alternative Model for Cognitive Science“, in: *Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 9, 1986, pp. 121-160.
- Sayre, Kenneth M. (1997) „Belief and Knowledge. Mapping the Cognitive Landscape“, Lanham et al.: Rowman & Littlefield, 1997.
- Schaaf, Marc; Gatzju Grivas, Stella; Ackermann, Dennie; Diekmann, Arne; Koschel, Arne; Astrova, Irina (2012) „Semantic Complex Event Processing“, 5th World Congress: Applied Computing Conference 2012 (ACC '12), Faro, Portugal, 2012, pp. 38-43.
- Schalkoff, Robert J. (2011) „Intelligent Systems: Principles, Paradigms, and Pragmatics“, Sudbury/MA et al.: Jones and Bartlett, 2011.
- Schätz, Bernhard (2014) „The Role of Models in Engineering of Cyber-Physical Systems - Challenges and Possibilities“, 2014.
- Scheele, Marcel (2006) „Function and Use of Technical Artefacts: Social Conditions of Function Ascription“, in: *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 23-36.
- Scheer, August-Wilhelm (1983) „Anforderungen an ein PPS-System im Factory of the Future“, in: „Factory of the Future. Vorträge im Fachausschuß 'Informatik in Produktion und Materialwirtschaft' der Gesellschaft für Informatik e.V.“, hrsg. v. Scheer, August-Wilhelm, Univ. des Saarlandes, Inst. für Wirtschaftsinformatik, IWi-Hefte Nr. 42, 1983, S. 1-8.
- Scheer, August-Wilhelm (1984) „Schnittstellen zwischen betriebswirtschaftlicher und technischer Datenverarbeitung in der Fabrik der Zukunft“, Univ. des Saarlandes, Inst. für Wirtschaftsinformatik, IWi-Hefte Nr. 44, 1984.
- Scheer, August-Wilhelm (1990a) „CIM-Strategie als Teil der Unternehmensstrategie“, Berlin et al.: Springer, 1990.
- Scheer, August-Wilhelm (1990b) „Modellierung betriebswirtschaftlicher Informationssysteme (Teil 1: Logisches Informationsmodell)“, Univ. des Saarlandes, Inst. für Wirtschaftsinformatik, IWi-Hefte Nr. 67, 1990.
- Scheer, August-Wilhelm (1993) „ARIS - Architektur integrierter Informationssysteme“, in: „Handbuch Informationsmanagement: Aufgaben - Konzepte - Praxislösungen“, hrsg. v. Scheer, August-Wilhelm, Wiesbaden: Gabler, 1993, S. 81-112.
- Scheer, August-Wilhelm (1994) „CIM - Computer Integrated Manufacturing. Towards the Factory of the Future“, 3rd, revised and enlarged edition, Berlin et al.: Springer, 1994.
- Scheer, August-Wilhelm; Abolhassan, Ferri; Bosch, Wolfgang (Hrsg.) (2003) „Real-Time Enterprise. Mit beschleunigten Managementprozessen Zeit und Kosten sparen“, Berlin et al.: Springer, 2003.
- Scheer, August-Wilhelm; Boczanski, Manfred; Muth, Michael; Schmitz, Willi-Gerd; Segelbacher, Uwe (2006) „Prozessorientiertes Product Lifecycle Management“, Berlin et al.: Springer, 2006.
- Scheer, August-Wilhelm; Schneider, Kristof (2006) „ARIS - Architecture of Integrated Information Systems“, in: „Handbook on Architectures of Information Systems“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 605-623.
- Scheffczyk, Jan; Pease, Adam; Ellsworth, Michael (2006) „Linking FrameNet to the Suggested Upper Merged Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 289-300.
- Scheider, Simon; Probst, Florian; Janowicz, Krzysztof (2010) „Constructing Bodies and Their Qualities from Observations“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 131-144.

Bibliographie

- Scheithauer, Gregor; Hardegen, Björn (2011) „Requirements Engineering for SOA Services with BPMN 2.0 - From Analysis to Specification“, in: „Business Process Model and Notation“, ed. by Dijkman, Remco et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 160-165.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph (1794) „Ueber die Möglichkeit einer Form der Philosophie überhaupt“, in: „Schellings Werke. Bd. 1: Jugendschriften 1793-1798“, hrsg. v. Schröter, Manfred, München: Beck und Oldenbourg, 1927, S. 45-72.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph (1797) „Ideen zu einer Philosophie der Natur als Einleitung in das Studium dieser Wissenschaft“, in: „Schellings Werke. Bd. 1: Jugendschriften 1793-1798“, hrsg. v. Schröter, Manfred, (2. Aufl. 1803), München: Beck und Oldenbourg, 1927, S. 653-723.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph (1798) „Von der Weltseele, eine Hypothese der höheren Physik zur Erklärung des allgemeinen Organismus“, in: „Schellings Werke. Bd. 1: Jugendschriften 1793-1798“, hrsg. v. Schröter, Manfred, München: Beck und Oldenbourg, 1927, S. 413-651.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph (1799) „Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie“, in: „Schellings Werke. Bd. 2: Schriften zur Naturphilosophie 1799-1801“, hrsg. v. Schröter, Manfred, München: Beck und Oldenbourg, 1927, S. 1-268.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph (1800a) „System des transscendentalen Idealismus“, in: „Schellings Werke. Bd. 2: Schriften zur Naturphilosophie 1799-1801“, hrsg. v. Schröter, Manfred, München: Beck und Oldenbourg, 1927, S. 327-634.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph (1800b) „Allgemeine Deduktion des dynamischen Processes oder der Kategorien der Physik“, in: „Schellings Werke. Bd. 2: Schriften zur Naturphilosophie 1799-1801“, hrsg. v. Schröter, Manfred, München: Beck und Oldenbourg, 1927, S. 635-712.
- Scherl, Richard B.; Levesque, Hector J. (2003) „Knowledge, Action, and the Frame Problem“, in: Artificial Intelligence, Vol. 144, No. 1-2, 2003, pp. 1-39.
- Scherp, Ansgar; Franz, Thomas; Saathoff, Carsten; Staab, Steffen (2009) „F - A Model of Events based on the Foundational Ontology DOLCE+DnS Ultralite“, 2009.
- Scherp, Ansgar; Franz, Thomas; Saathoff, Carsten; Staab, Steffen (2012) „A Core Ontology on Events for Representing Occurrences in the Real World“, in: Multimedia Tools and Applications, Vol. 58, No. 2, 2012, pp. 293-331.
- Scherp, Ansgar; Jain, Ramesh (2009) „An Ecosystem for Semantics“, in: IEEE MultiMedia, Vol. 16, No. 2, 2009, pp. 18-25.
- Schewe, Klaus-Dieter; Thalheim, Bernhard (2005) „Conceptual Modelling of Web Information Systems“, in: Data & Knowledge Engineering, Vol. 54, 2005, pp. 147-188.
- Schiaffonati, Viola (2003) „A Framework for the Foundation of the Philosophy of Artificial Intelligence“, in: Minds and Machines, Vol. 13, No. 4, 2003, pp. 537-552.
- Schief, Markus; Kuhn, Christian; Rosch, Philipp; Stoitsev, Todor (2011) „Enabling Business Process Integration of IOT-Events to the Benefit of Sustainable Logistics“, in: Journal of System and Management Sciences, Vol. 1, No. 2, 2011, pp. 86-105.
- Schiefer, Josef; Obwegger, Hannes; Suntinger, Martin (2009) „Correlating Business Events for Event-Triggered Rules“, in: „Rule Interchange and Applications“, ed. by Governatori, Guido et al., International Symposium, RuleML 2009, Las Vegas, Nevada, USA, November 5-7, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 67-81.
- Schiefer, Josef; Rozsnyai, Szabolcs; Rauscher, Christian; Saurer, Gerd (2007) „Event-driven Rules for Sensing and Responding to Business Situations“, Proceedings of the 2007 Inaugural International Conference on Distributed Event-Based Systems (DEBS '07), 2007, pp. 198-205.
- Schiefer, Josef; Seufert, Andreas (2005) „Management and Controlling of Time-Sensitive Business Processes with Sense & Respond“, CIMCA-IAWTIC'06, Vol. 1, Vienna, 28-30 Nov., 2005, pp. 77-82.
- Schiefer, Josef; Seufert, Andreas (2010) „Towards a Service-Oriented Architecture for Operational BI. A Framework for Rule-Model Composition“, Proceedings Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2010, Göttingen, 2010, pp. 1137-1149.
- Schieve, William C.; Allen, Peter M. (eds.) (1982) „Self-Organization and Dissipative Structures. Applications in the Physical and Social Sciences“, Austin: Univ. of Texas Pr., 1982.
- Schiller, Ferdinand C.S. (1895) „Metaphysics of the Time-Process“, in: Mind, Vol. 4, No. 13, 1895, pp. 36-46.
- Schiller, Ferdinand C.S. (1903) „Humanism. Philosophical Essays“, 1903.
- Schiller, Ferdinand C.S. (1920) „The Place of Metaphysics“, in: Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods, Vol. 17, No. 17, 1920, pp. 455-462.

Bibliographie

- Schlegel, Thomas; Vidackovic, Kresimir; Dusch, Sebastian; Seiger, Ronny (2012) „Management of Interactive Business Processes in Decentralized Service Infrastructures through Event Processing“, in: Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, Vol. 24, No. 2, 2012, pp. 137-144.
- Schleipen, Miriam; Münnemann, Ansgar; Sauer, Olaf (2011) „Interoperabilität von Manufacturing Execution Systems (MES)“, in: at - Automatisierungstechnik, Bd. 59, Nr. 7, 2011, S. 413-424.
- Schlenoff, Craig (2014) „An Overview of the IEEE Ontology for Robotics and Automation (ORA) Standardization Effort“, ed. by Gonçalves, Paulo J.S. et al., Proceedings of the 1st Standardized Knowledge Representation and Ontologies for Robotics and Automation, Workshop Chicago, Illinois/USA, 18th September, 2014, pp. 1-2.
- Schlenoff, Craig; Albus, James; Messina, Elena; Barbera, Anthony J.; Madhavan, Raj; Balakirsky, Stephen (2006) „Using 4D/RCS to Address AI Knowledge Integration“, in: AI Magazine, Vol. 27, No. 2, 2006, pp. 71-81.
- Schlenoff, Craig; Grüninger, Michael; Ciocoiu, Mihai; Lee, Jintae (1999) „The Essence of the Process Specification Language“, in: Transactions of the Society for Computer Simulation, Vol. 16, No. 4, 1999, pp. 204-216.
- Schlenoff, Craig; Ivester, Rob; Knutilla, Amy (1998) „A Robust Process Ontology for Manufacturing Systems Integration“, Proceedings of 2nd International Conference on Engineering Design and Automation, 1998.
- Schlenoff, Craig; Knutilla, Amy; Ray, Steven (1996) „Unified Process Specification Language: Requirements for Modeling Process“, 1996.
- Schlick, Moritz (1934a) „Philosophie und Naturwissenschaft“, in: Erkenntnis, Bd. 4, 1934, S. 379-396.
- Schlick, Moritz (1934b) „Über das Fundament der Erkenntnis“, in: Erkenntnis, Bd. 4, 1934, S. 79-99.
- Schlick, Moritz (1938) „Form and Content, an Introduction to Philosophical Thinking: I. The Nature of Expression“, in: „Gesammelte Aufsätze 1926-1936“, hrsg. v. Schlick, Moritz, Wien: Gerold, 1938, S. 151-183.
- Schmidhuber, Jürgen (2012) „The Fastest Way of Computing All Universes“, in: „A Computable Universe“, ed. by Zenil, Hector, Singapore: World Scientific, 2012, pp. 381-398.
- Schmidhuber, Jürgen (2015) „Deep Learning in Neural Networks: An Overview“, in: Neural Networks, Vol. 61, Jan., 2015, pp. 85-117.
- Schmidt am Busch, Hans-Christoph; Wehmeier, Kai F. (2005) „„Es ist die einzige Spur, die ich hinterlasse« - Dokumente zur Entstehungsgeschichte des Instituts für Mathematische Logik und Grundlagenforschung“, in: „Heinrich Scholz: Logiker - Philosoph - Theologe“, hrsg. v. Schmidt am Busch, Hans-Christoph; Wehmeier, Kai F., Paderborn: Mentis, 2005, S. 93-101.
- Schmidt, Marc-Thomas; Hutchison, Beth; Lambros, Peter; Phippen, Robert W. (2005) „The Enterprise Service Bus: Making Service-Oriented Architecture Real“, in: IBM Systems Journal, Vol. 44, No. 4, 2005, pp. 781-797.
- Schmidt, Siegfried J. (1987) „Der Radikale Konstruktivismus: Ein neues Paradigma im interdisziplinären Diskurs“, in: „Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus“, hrsg. v. Schmidt, Siegfried J., 1. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1987, S. 11-88.
- Schneider Beck, Antonio Carlos; Lang Lisbôa, Carlos Arthur; Carro, Luigi (eds.) (2013) „Adaptable Embedded Systems“, New York/NY et al.: Springer, 2013.
- Schneider, Eric D.; Kay, James J. (1994) „Complexity and Thermodynamics: Towards a New Ecology“, in: Futures, Vol. 26, No. 6, 1994, pp. 626-647.
- Schneider, Eric D.; Kay, James J. (1997) „Ordnung und Unordnung: Die Thermodynamik der Komplexität in der Biologie“, in: „Was ist Leben? Die Zukunft der Biologie. Eine alte Frage in neuem Licht - 50 Jahre nach Erwin Schrödinger“, hrsg. v. Murphy, Michael P.; O'Neill, Luke A.J., Heidelberg et al.: Spektrum Akad. Verl., 1997, S. 183-196.
- Schneider, Luc (2002) „Formalised Elementary Formal Ontology“, ISIB-CNR Internal Report 3/2002, Padova, Italy, June, 2002.
- Schneider, Luc (2003a) „Designing Foundational Ontologies. The Object-Centered High-Level Reference Ontology OCHRE as a Case Study“, in: „Conceptual Modeling - ER 2003“, ed. by Song, Il-Yeol et al., 22nd International Conference on Conceptual Modeling, Chicago, IL, USA, October 13-16, 2003, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 91-104.
- Schneider, Luc (2003b) „Foundational Ontologies and the Realist Bias“, in: „Reference Ontologies and Application Ontologies“, ed. by Grenon, Pierre; Menzel, Christopher; Smith, Barry, Proceedings of the KI2003 Workshop on Reference Ontologies and Application Ontologies, Hamburg, Germany, September 16, 2003.

Bibliographie

- Schneider, Luc (2003c) „How to Build a Foundational Ontology. The Object-Centered High-Level Reference Ontology OCHRE“, in: „KI 2003: Advances in Artificial Intelligence“, ed. by Günter, Andreas et al., 26th Annual German Conference on AI, KI 2003, Hamburg, Germany, September 15-18, 2003, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 120-134.
- Schneider, Luc (2008) „The Ontological Square and Its Logic“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 36-48.
- Schneider, Luc (2009) „The Logic of the Ontological Square“, in: *Studia Logica*, Vol. 91, No. 1, 2009, pp. 25-51.
- Schneider, Luc (2010) „Revisiting the Ontological Square“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Anthony; Mizoguchi, Riichiro, Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 73-86.
- Schneider, Luc; Brochhausen, Mathias (2011) „The CHRONIOUS Ontology Suite: Methodology and Design Principles“, ICBO 2011: Buffalo, NY, USA, 2011, pp. 167-173.
- Schneider, Luc; Brochhausen, Mathias; Koepsell, David (2011) „On Some Best Practices in Large-Scale Ontology Development: The Chronious Ontology Suite as a Case Study“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Vermaas, Pieter E.; Dignum, Virginia, Fifth International Workshop 'Formal Ontologies Meet Industry' (FOMI 2011), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2011, pp. 28-38.
- Schneider, Luc; Cunningham, Jim (2003) „Ontological Foundations of Natural Language Communication in Multiagent Systems“, in: „Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems“, ed. by Palade, Vasile et al., 7th International Conference, KES 2003, Oxford, UK, September 3-5, 2003, Proceedings, Part I, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 1403-1410.
- Schneider, Todd et al. (2012) „Ontology for Big Systems: The Ontology Summit 2012 Communiqué“, in: *Applied Ontology*, Vol. 7, No. 3, 2012, pp. 357-371.
- Schoenberger, Chana R. (2002) „The Internet of Things“, in: *Forbes*, March 18, 2002.
- Scholz, Heinrich (1941) „Metaphysik als strenge Wissenschaft“, Köln: Staufen, 1941.
- Scholz, Heinrich (1942) „Leibniz und die mathematische Grundlagenforschung“, in: *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*, Bd. 52, 1942, S. 217-244.
- Scholz, Heinrich (1961) „Mathesis Universalis. Abhandlungen zur Philosophie als strenger Wissenschaft“, hrsg. v. Hermes, Hans; Kambartel, Friedrich; Ritter, Joachim, Basel, Stuttgart: Schwabe, 1961.
- Scholz, Heinrich; Hasenjaeger, Gisbert (1961) „Grundzüge der mathematischen Logik“, Berlin et al.: Springer, 1961.
- Scholz, Jason; Gossink, Don (2012) „A Resource Management Blueprint for Fusion and Command and Control“, 15th Int. Conference on Information Fusion, FUSION 2012, Singapore, July 9-12, 2012, pp. 1005-1011.
- Scholz, Jason; Lambert, Dale A.; Gossink, Don; Smith, Glen (2012) „A Blueprint for Command and Control: Automation and Interface“, 15th Int. Conference on Information Fusion, FUSION 2012, Singapore, July 9-12, 2012, pp. 211-217.
- Scholz, Jason; Smith, Glen; Gossink, Don (2012) „A Blueprint for Policy Automation in Fusion and Command and Control“, 15th Int. Conference on Information Fusion, FUSION 2012, Singapore, July 9-12, 2012, pp. 580-586.
- Schönemann, Malte; Schmidt, Christopher; Herrmann, Christoph; Thiede, Sebastian (2016) „Multi-level Modeling and Simulation of Manufacturing Systems for Lightweight Automotive Components“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 41, 2016, pp. 1049-1054.
- Schöning, Uwe (1989) „Logic for Computer Scientists“, 3rd Pr., Boston: Birkhäuser, 1999.
- Schoop, Ronald; Colombo, Armando W.; Suessmann, Boris; Neubert, Ralf (2002) „Industrial Experiences, Trends and Future Requirements on Agent-based Intelligent Automation“, IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society (IECON 02), Vol. 4, 2002, pp. 2978-2983.
- Schopenhauer, Arthur (1813) „Ueber die vierfache Wurzel des Satzes vom zureichenden Grunde“, in: „Kleinere Schriften“, hrsg. v. Schopenhauer, Arthur, Neudr., Zürich: Haffmans, 1988, S. 7-168.
- Schopenhauer, Arthur (1859) „Die Welt als Wille und Vorstellung“, Repr., 2 Bde., Zürich: Haffmans, 1988.
- Schoppers, Marcel (1992) „Building Plans to Monitor and Exploit Open-loop and Closed-loop Dynamics“, in: „Artificial Intelligence Planning Systems“, ed. by Hendler, James A., San Mateo/Calif.: Morgan Kaufmann, 1992, pp. 204-213.
- Schrader, William J. (1962) „An Inductive Approach to Accounting Theory“, in: *The Accounting Review*, Vol. 37, No. 4, 1962, pp. 645-649.

Bibliographie

- Schrader, William J.; Malcolm, Robert E.; Willingham, John J. (1981) „Financial Accounting. An Events Approach“, Houston/Tex.: Dame Publications, 1981.
- Schramm, Matthias (1962) „Die Bedeutung der Bewegungslehre des Aristoteles für seine beiden Lösungen der zenonischen Paradoxie“, Frankfurt: Klostermann, 1962.
- Schreiber, August Th. (Guus) (2008) „Knowledge Engineering“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 929-946.
- Schreiber, August Th. (Guus); Akkermans, Hans et al. (2000) „Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 2000.
- Schreiber, August Th. (Guus); Wielinga, Bob; Akkermans, Hans; Van de Velde, Walter; Anjewierden, Anjo (1994) „CML: The CommonKADS Conceptual Modelling Language“, in: „A Future for Knowledge Acquisition“, ed. by Steels, Luc et al., Berlin et al.: Springer, 1994, pp. 1-25.
- Schreiber, Werner; Zimmermann, Peter (Hrsg.) (2011) „Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld. Das AVILUS-Projekt - Technologien und Anwendungen“, Berlin et al.: Springer, 2011.
- Schröder, Ernst (1877) „Der Operationskreis des Logikkalküls“, Leipzig: Teubner, 1877.
- Schröder, Jürgen (1998) „Emergence: Non-Deducibility or Downwards Causation?“, in: *Philosophical Quarterly*, Vol. 48, No. 193, 1998, pp. 433-452.
- Schrödinger, Erwin (1944) „What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell“, Repr., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1992.
- Schrödinger, Erwin (1956) „Mind and Matter“, Repr. (the Tarner Lectures, delivered at Trinity College, Cambridge, in October 1956), Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1959.
- Schrödinger, Erwin (1957) „Science Theory and Man“, London: Allen and Unwin, 1957.
- Schrödinger, Erwin (1962) „Was ist ein Naturgesetz? Beiträge zum naturwissenschaftlichen Weltbild“, München, Wien: Oldenbourg, 1962.
- Schuh, Günther; Rozenfeld, Henrique; Assmus, Dirk; Zancul, Eduardo (2008) „Process Oriented Framework to Support PLM Implementation“, in: *Computers in Industry*, Vol. 59, No. 2/3, 2008, pp. 210-218.
- Schulz, Stefan; Beisswanger, Elena; Hahn, Udo; Wermter, Joachim; Kumar, Anand; Stenzhorn, Holger (2006a) „From GENIA to BIOTOP - Towards a Top-Level Ontology for Biology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 103-114.
- Schulz, Stefan; Beisswanger, Elena; Wermter, Joachim; Hahn, Udo (2006b) „Towards an Upper-Level Ontology for Molecular Biology“, AMIA 2006 Symposium Proceedings, 2006, pp. 694-698.
- Schulz, Stefan; Cornet, Ronald; Spackman, Kent (2011) „Consolidating SNOMED CT's Ontological Commitment“, in: *Applied Ontology*, Vol. 6, No. 1, 2011, pp. 1-11.
- Schulz, Stefan; Hahn, Udo (2001) „Meterotopological Reasoning about Parts and (W)Holes in Bio-Ontologies“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01), New York: ACM Pr., 2001, pp. 210-221.
- Schulz, Stefan; Hahn, Udo (2002) „Necessary Parts and Wholes in Bio-Ontologies“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Fensel, Dieter et al., Proceedings of the Eighth International Conference (KR2002), Toulouse, France, April 22-25, 2002, San Francisco/Calif.: Morgan Kaufmann, 2002, pp. 387-394.
- Schulz, Stefan; Hahn, Udo (2004) „Ontological Foundations of Biological Continuants“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 319-330.
- Schulz, Stefan; Hahn, Udo (2005) „Part-Whole Representation and Reasoning in Formal Biomedical Ontologies“, in: *Artificial Intelligence in Medicine*, Vol. 34, No. 3, 2005, pp. 179-200.
- Schulz, Stefan; Kumar, Anand; Bittner, Thomas (2006) „Biomedical Ontologies: What Part-of is and isn't“, in: *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 39, No. 3, 2006, pp. 350-361.
- Schumacher, Jens; Rieder, Mathias; Gschweidl, Manfred; Masser, Philip (2011) „Intelligent Cargo - Using Internet of Things Concepts to Provide High Interoperability for Logistics Systems“, in: „Architecting the Internet of Things“, ed. by Uckelmann, Dieter et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 317-347.
- Schumpeter, Joseph A. (1934) „The Theory of Economic Development. An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle“, (first published 1911), Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 1934.
- Schumpeter, Joseph A. (1939) „Business Cycles. A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process“, (2 Vols.), New York, London: McGraw-Hill, 1939.

Bibliographie

- Schuster, Heinz Georg (2001) „Complex Adaptive Systems: An Introduction“, Saarbrücken: Scator-Verl., 2001.
- Schuster, John A. (1980) „Descartes' Mathesis Universalis: 1619-28“, in: „Descartes. Philosophy, Mathematics and Physics“, ed. by Gaukroger, Stephen, Brighton: Harvester Pr., 1980, pp. 41-96.
- Schuster, Peter (1999a) „Beherrschung von Komplexität in der molekularen Evolution“, in: „Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert“, hrsg. v. Mainzer, Klaus, Berlin et al.: Springer, 1999, S. 117-145.
- Schütte, Reinhard; Zelewski, Stephan (1999) „Wissenschafts- und erkenntnistheoretische Probleme beim Umgang mit Ontologien“, 1999.
- Schütz, Christoph; Neumayr, Bernd; Schrefl, Michael (2013) „Business Model Ontologies in OLAP Cubes“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Salinesi, Camille et al., 25th International Conference, CAiSE 2013, Valencia, Spain, June 17-21, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 514-529.
- Schwarz, Ulf; Smith, Barry (2008) „Ontological Relations“, in: „Applied Ontology. An Introduction“, ed. by Munn, Katherine; Smith, Barry, Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 219-234.
- Schwarz, Wolfgang (2007) „Modal Metaphysics and Conceptual Metaphysics“, in: „Selected Papers Contributed to the Sections of GAP.6“, ed. by Bohse, Helen et al., Sixth International Congress of the German Society for Analytical Philosophy, Paderborn: mentis, 2007, pp. 520-528.
- Searle, John R. (1980) „Minds, Brains, and Programs“, in: Behavioral and Brain Sciences, Vol. 3, 1980, pp. 417-424.
- Searle, John R. (1986) „Geist, Hirn und Wissenschaft“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1986.
- Searle, John R. (1992) „The Rediscovery of the Mind“, Repr., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1994.
- Searle, John R. (1995) „The Construction of Social Reality“, New York et al.: Free Press, 1995.
- Searle, John R. (1999) „Mind, Language and Society: Philosophy in the Real World“, New York/NY: Basic Books, 1999.
- Searle, John R. (2005) „What is an Institution?“, in: Journal of Institutional Economics, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 1-22.
- Sedbrook, Tod A.; Newmark, Richard I. (2008) „Automating REA Policy Level Specifications with Semantic Web Technologies“, in: Journal of Information Systems, Vol. 22, No. 2, 2008, pp. 249-277.
- Segalerba, Gianluigi (2008) „Aspekte der Substanz bei Aristoteles“, in: „Substantia - sic et non. eine Geschichte des Substanzbegriffs von der Antike bis zur Gegenwart in Einzelbeiträgen“, hrsg. v. Gutschmidt, Holger, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2008, S. 35-84.
- Segelberg, Ivar (1947) „Three Essays in Phenomenology and Ontology“, (engl. transl. of swedish orig.), Stockholm: Thales, 1999.
- Seibt, Johanna (1990a) „Properties As Processes. A Synoptic Study of W. Sellars' Nominalism“, Atascadero/CA: Ridgeview, 1990.
- Seibt, Johanna (1990b) „Towards Process-Ontology. A Critical Study of Substance-Ontological Premises“, Ph.D. Thesis at the Department of Philosophy, Univ. of Pittsburgh, USA, 1990.
- Seibt, Johanna (1995) „Individuen als Prozesse“, in: Logos, N.F., Bd. 2, Nr. 4, 1995, S. 352-384.
- Seibt, Johanna (1996) „The Myth of Substance and the Fallacy of Misplaced Concreteness“, in: Acta Analytica, Vol. 15, 1996, pp. 119-139.
- Seibt, Johanna (1997) „Existence in Time: From Substance to Process“, in: „Perspectives on Time“, ed. by Faye, Jan et al., Dordrecht et al.: Kluwer, 1997, pp. 143-182.
- Seibt, Johanna (2001a) „Formal Process Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01), New York: ACM Pr., 2001, pp. 333-345.
- Seibt, Johanna (2001b) „Processes in the Manifest and Scientific Image“, in: „Metaphysik im post-metaphysischen Zeitalter“, hrsg. v. Meixner, Uwe, Wien: öbv&hpt, 2001, S. 218-230.
- Seibt, Johanna (2002) „'Quanta,' Tropes, or Processes: Ontologies for QFT Beyond the Myth of Substance“, in: „Ontological Aspects of Quantum Field Theory“, ed. by Kuhlmann, Meinard et al., Singapore et al.: World Scientific, 2002, pp. 53-97.
- Seibt, Johanna (2003a) „Process Theories Crossdisciplinary Studies in Dynamic Categories. Introduction“, in: „Process Theories. Crossdisciplinary Studies in Dynamic Categories“, ed. by Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Kluwer, 2003, pp. vii-xxiii.

Bibliographie

- Seibt, Johanna (2003b) „Free Process Theory: Towards a Typology of Occurrences“, in: „Process Theories. Crossdisciplinary Studies in Dynamic Categories“, ed. by Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Kluwer, 2003, pp. 23-55.
- Seibt, Johanna (2004) „Process and Particulars“, in: „After Whitehead. Rescher on Process Metaphysics“, ed. by Weber, Michel, Heusenstamm: Ontos, 2004, pp. 113-134.
- Seibt, Johanna (2005) „Der Mythos der Substanz“, in: „Substanz. Neue Überlegungen zu einer klassischen Kategorie des Seienden“, hrsg. v. Trettin, Käthe, Frankfurt/Main: Klostermann, 2005, S. 197-228.
- Seibt, Johanna (2007) „Wilfrid Sellars“, Paderborn: Mentis, 2007.
- Seibt, Johanna (2009) „Forms of Emergent Interaction in General Process Theory“, in: *Synthese*, Vol. 166, No. 3, 2009, pp. 479-512.
- Seibt, Johanna (2010) „Particulars“, in: „Theory and Applications of Ontology: Philosophical Perspectives“, ed. by Poli, Roberto; Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 23-55.
- Seife, Charles (2006) „Decoding the Universe: How the Science of Information is Explaining Everything in the Cosmos, from our Brains to Black Holes“, New York/NY: Viking, 2006.
- Seliger, Günther; Gegusch, René; Abramovici, Michael; Neubach, Manuel (2010) „Knowledge-Based Feedback of IPS² Use Information“, IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI), Las Vegas/NV, 4-6 Aug., 2010, pp. 292-297.
- Seliger, Günther; Gegusch, René; Müller, Patrick; Blessing, Lucienne (2008) „Knowledge Generation as a Means to Improve Development Processes of Industrial Product-Service Systems“, in: „Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier“, ed. by Mitsuishi, Mamoru et al., The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems May 26-28, 2008, Tokyo, Japan, London: Springer, 2008, pp. 519-524.
- Sellars, Roy Wood (1920) „Knowledge and its Categories“, in: „Essays in Critical Realism“, ed. by Drake, Durant et al., Repr., New York: Gordian Pr., 1968, pp. 187-219.
- Sellars, Roy Wood (1922) „Evolutionary Naturalism“, Chicago, London: Open Court Publ., 1922.
- Sellars, Roy Wood (1926) „The Principles and Problems of Philosophy“, New York: Macmillan, 1926.
- Sellars, Roy Wood (1927) „Why Naturalism and Not Materialism?“, in: *Philosophical Review*, Vol. 36, No. 3, 1927, pp. 216-225.
- Sellars, Roy Wood (1944a) „Is Naturalism Enough?“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 41, No. 20, 1944, pp. 533-544.
- Sellars, Roy Wood (1944b) „Does Naturalism Need Ontology?“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 41, No. 25, 1944, pp. 686-694.
- Sellars, Roy Wood (1959) „Levels of Causality: The Emergence of Guidance and Reason in Nature“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 20, No. 1, 1959, pp. 1-17.
- Sellars, Wilfrid (1963) „Science, Perception and Reality“, London: Routledge and Kegan Paul, 1963.
- Sellars, Wilfrid (1968) „Science and Metaphysics. Variations on Kantian Themes“, London: Routledge and Kegan Paul, 1968.
- Sellars, Wilfrid (1973a) „Actions and Events“, in: *Noûs*, Vol. 7, No. 2, 1973, pp. 179-202.
- Sellars, Wilfrid (1973b) „Reply to Quine“, in: *Synthese*, Vol. 26, No. 1, 1973, pp. 122-145.
- Sellars, Wilfrid (1974) „Toward a Theory of the Categories“, in: „Essays in Philosophy and its History“, ed. by Sellars, Wilfrid, Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1974, pp. 318-339.
- Sellars, Wilfrid (1975) „Autobiographical Reflections“, in: „Action, Knowledge, and Reality. Critical Studies in Honor of Wilfrid Sellars“, ed. by Castañeda, Hector-Neri, Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1975, pp. 277-293.
- Sellars, Wilfrid (1979) „Naturalism and Ontology“, Reseda/Calif.: Ridgeview, 1979.
- Sellars, Wilfrid (1981a) „Foundations for a Metaphysics of Pure Process“, in: *The Monist*, Vol. 64, No. 1, 1981, pp. 3-90.
- Sellars, Wilfrid (1981b) „Mental Events“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 39, No. 4, 1981, pp. 325-345.
- Sellars, Wilfrid (1985) „Towards a Theory of Predication“, in: „How Things Are. Studies in Predication and the History of Philosophy and Science“, ed. by Bogen, James; McGuire, James E., Dordrecht et al.: D. Reidel, 1985, pp. 285-322.
- Semy, Salim K.; Pulvermacher, Mary K.; Obrst, Leo J. (2004) „Toward the Use of an Upper Ontology for U.S. Government and U.S. Military Domains: An Evaluation“, The MITRE Corporation (Technical Report MTR 04B0000063), 2004.
- Sen, Pranab Kumar (2006) „Strawson on Universals“, in: „Universals, Concepts and Qualities. New Essays on Meaning of Predicates“, ed. by Strawson, Peter F.; Chakrabarti, Arindam, Aldershot et al.: Ashgate, 2006, pp. 17-48.

Bibliographie

- Sen, Sinan (2008) „Business Activity Monitoring Based on Action-Ready Dashboards And Response Loop“, in: „iCEP08. 1st International Workshop on Complex Event Processing for the Future Internet“, ed. by Anicic, Darko et al., 2008.
- Seo, Wonchul; Lee, Sunjae; Kim, Kwangsoo; Kim, Byung-In; Yeol Lee, Jae (2006) „Product Data Interoperability Based on Layered Reference Ontology“, in: „The Semantic Web - ASWC 2006, Lecture Notes in Computer Science Volume 4185“, ed. by Mizoguchi, Riichiro et al., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 573-587.
- Seppälä, Selja; Hicks, Amanda (2015) „Enhancing Terminological Knowledge with Upper Level Ontologies“, in: „TIA 2015“, ed. by Poibeau, Thierry; Faber, Pamela, Proceedings of the 11th International Conference on Terminology and Artificial Intelligence, Universidad de Granada, Granada/Spain, November 4-6, 2015, pp. 179-182.
- Sepper, Dennis L. (1996) „Descartes's Imagination. Proportion, Images, and the Activity of Thinking“, Berkeley et al.: Univ. of California Pr., 1996.
- Sepulveda, Frank; Pulliam, Jay (2016) „The Internet of Geophysical Things: Raspberry Pi Enhanced REF TEK (RaPiER) System Integration and Evaluation“, in: Seismological Research Letters, Vol. 87, No. 2A, 2016, pp. 345-357.
- Sequeda, Juan F.; Corcho, Oscar (2009) „Linked Stream Data: A Position Paper“, ed. by Taylor, Kerry et al., Proceedings of the 2nd International Workshop on Semantic Sensor Networks (SSN09), collocated with the 8th Int. Semantic Web Conference (ISWC-2009), Washington DC/USA, Oct. 26, 2009, pp. 148-157.
- Serbanati, Alexandru; Medaglia, Carlo Maria; Ceipidor, Ugo Biader (2011) „Building Blocks of the Internet of Things: State of the Art and Beyond“, in: „Deploying RFID - Challenges, Solutions, and Open Issues“, ed. by Turcu, Cristina, Rijeka/Croatia: InTech, 2011, pp. 351-366.
- Sernadas, Cristina; Fiadeiro, José Luiz; Meersman, Robert; Sernadas, Amílcar (1989) „Proof-theoretic Conceptual Modeling: the NIAM Case Study“, in: „Information System Concepts: An In-depth Analysis“, ed. by Falkenberg, Eckhard D.; Lindgreen, Paul, Amsterdam: North-Holland, 1989, pp. 1-30.
- Serrano, Martín; Barnaghi, Payam; Carrez, Francois; Cousin, Philippe; Vermesan, Ovidiu; Friess, Peter (eds.) (2015) „Internet of Things. IoT Semantic Interoperability: Research Challenges, Best Practices, Recommendations and Next Steps“, European Research Cluster on the Internet of Things (IERC), March, 2015.
- Servant, François-Paul; Chevalier, Edouard (2013) „Describing Customizable Products on the Web of Data“, in: „LDOW2013. Linked Data on the Web“, ed. by Bizer, Christian et al., Proceedings of the WWW2013 Workshop on Linked Data on the Web, Rio de Janeiro, Brazil, 14 May, 2013.
- Sesé, Feliciano; Wareham, Jonathan; Bonet, Eduard (2006) „Words and Objects in Information Systems Development: Six Paradigms of Information as Representation“, 2006.
- Settle, Tom (1983) „Comments on Farr's Paper (III) Is Popper's World 3 an Ontological Extravagance?“, in: Philosophy of the Social Sciences, Vol. 13, No. 2, 1983, pp. 195-202.
- Seyed, A. Patrice (2009a) „BFO/DOLCE Primitive Relation Comparison“, (Abstract), 2009, p. 1.
- Seyed, A. Patrice (2009b) „BFO/DOLCE Primitive Relation Comparison“, The 12th Annual Bio-Ontologies Meeting, Colocated with ISMB 2009, Stockholm/Sweden, ed. by Lord, Phillip et al., 2009, pp. 1-4.
- Seyed, A. Patrice (2011) „A Method for Evaluating and Standardizing Ontologies“, Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2011, pp. 2846-2847.
- Seyed, A. Patrice (2012a) „A Method for Evaluating Ontologies - Introducing the BFO-Rigidity Decision Tree Wizard“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 191-204.
- Seyed, A. Patrice (2012b) „Integrating OntoClean's Notion of Unity and Identity with a Theory of Classes and Types - Towards a Method for Evaluating Ontologies“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Donnelly, Maureen; Guizzardi, Giancarlo, Proceedings of the Seventh International Conference (FOIS 2012), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 205-218.
- Shadbolt, Nigel; Berners-Lee, Tim; Hall, Wendy (2006) „The Semantic Web Revisited“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 21, No. 3, 2006, pp. 96-101.
- Shaev, Yury (2014) „From the Sociology of Things to the 'Internet of Things'“, in: Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 149, 2014, pp. 874-878.
- Shan, Tony C. (2009) „SOA Pragmatism“, in: „Software and Data Technologies“, ed. by Filipe, Joaquim et al., Second International Conference, ICISOFT/ENASE 2007, Barcelona, Spain, July 22-25, 2007, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 23-28.

Bibliographie

- Shanahan, Murray (1994) „Evolutionary Automata“, in: „Artificial Life IV. Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Brooks, Rodney A.; Maes, Pattie, 3rd Pr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1996, pp. 388-393.
- Shanahan, Murray (1995) „A Circumscriptive Calculus of Events“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 77, No. 2, 1995, pp. 249-284.
- Shanahan, Murray (1996) „Folk Psychology and Naïve Physics“, in: „Connectionism, Concepts, and Folk Psychology: The Legacy of Alan Turing, Vol. 2“, ed. by Clark, Andy; Millican, Peter J.R., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 169-180.
- Shanahan, Murray (1997) „Solving the Frame Problem: A Mathematical Investigation of the Common Sense Law of Inertia“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1997.
- Shanahan, Murray (1999) „The Event Calculus Explained“, in: „Artificial Intelligence Today“, ed. by Wooldridge, Michael J.; Veloso, Manuela, Berlin et al.: Springer, 1999, pp. 409-430.
- Shanahan, Murray (2003) „The Frame Problem“, in: „Encyclopedia of Cognitive Science“, ed. by Nadel, Lynn, Vol. 2, London et al.: NPG Nature Publ., 2003, pp. 144-150.
- Shanahan, Murray (2010) „Embodiment and the Inner Life: Cognition and Consciousness in the Space of Possible Minds“, New York: Oxford Univ. Pr., 2010.
- Shang, Xiuqin; Liu, Xiwei; Xiong, Gang; Cheng, Changjian; Ma, Yonghong; Nyberg, Timo R. (2013) „Social Manufacturing Cloud Service Platform for the Mass Customization in Apparel Industry“, *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI)*, Dongguan/China, 28-30 July, 2013, pp. 220-224.
- Shanken, Edward A. (1998) „Life as We Know It and/or Life as It Could Be: Epistemology and the Ontology/Ontogeny of Artificial Life“, in: *Leonardo*, Vol. 31, No. 5, 1998, pp. 383-388.
- Shanks, Graeme; Moody, Daniel; Nuredini, Jasmina; Tobin, Daniel; Weber, Ron (2010) „Representing Classes of Things and Properties in General in Conceptual Modelling: An Empirical Evaluation“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 21, No. 2, 2010, pp. 1-25.
- Shanks, Graeme; Nuredini, Jasmina; Weber, Ron (2005) „Evaluating Conceptual Modelling Practices: Composites, Things, Properties“, in: „Business Systems Analysis with Ontologies“, ed. by Green, Peter; Rosemann, Michael, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2005, pp. 28-55.
- Shanks, Graeme; Tansley, Elizabeth; Nuredini, Jasmina; Tobin, Daniel; Weber, Ron (2008) „Representing Part-Whole Relations in Conceptual Modeling: An Empirical Evaluation“, in: *MIS Quarterly*, Vol. 32, No. 3, 2008, pp. 553-573.
- Shanks, Graeme; Tansley, Elizabeth; Weber, Ron (2003) „Using Ontology to Validate Conceptual Models“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 46, No. 10, 2003, pp. 85-89.
- Shannon, Claude E. (1938) „A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits“, in: *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, Vol. 57, 1938, pp. 713-723.
- Shannon, Claude E. (1948) „A Mathematical Theory of Communication“, in: *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, 1948, pp. 379-423, 623-655.
- Shannon, Claude E. (1950) „Programming a Computer for Playing Chess“, 1950.
- Shannon, Claude E.; McCarthy, John (eds.) (1956) „Automata Studies“, Princeton/N.J.: Princeton Univ. Pr., 1956.
- Shannon, Claude E.; Weaver, Warren (1949) „The Mathematical Theory of Communication“, Urbana/Ill.: Univ. of Illinois Pr., 1949.
- Shapiro, Stewart (1989) „Structure and Ontology“, in: *Philosophical Topics*, Vol. 17, No. 2, 1989, pp. 145-171.
- Shapiro, Stewart (2000) „Thinking about Mathematics“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 2000.
- Sharma, Neeraj; Raj, Tilak; Jangra, Kamal Kumar (2015) „Applications of Nickel-Titanium Alloy“, in: *Journal of Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 1, 2015, pp. 1-7.
- Sharon, Amira; Perelman, Valeria; Dori, Dov (2008) „A Project-Product Lifecycle Management Approach for Improved Systems Engineering Practices“, 2008.
- Shaw, Marianne; Detwiler, Landon T.; Brinkley, James F.; Suci, Dan (2008) „Generating Application Ontologies from Reference Ontologies“, *AMIA 2008 Symposium Proceedings*, 2008, pp. 672-676.
- Shelby, Zach; Bormann, Carsten (2009) „6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet“, Chichester et al.: Wiley, 2009.
- Sheldon, Wilmon H. (1923) „Is There Material Substance?“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 20, No. 20, 1923, pp. 544-552.

Bibliographie

- Sheldon, Wilmon H. (1968) „The Task of Present-Day Metaphysics“, in: „American Philosophy Today and Tomorrow“, ed. by Kallen, Horace M.; Hook, Sidney, Freeport/N.Y.: Books for Libraries Pr., 1968, pp. 449-461.
- Shen, Jun; Beydoun, Ghassan; Low, Graham; Wang, Lijuan (2014) „Aligning Ontology-based Development with Service Oriented Systems“, in: *Future Generation Computer Systems*, Vol. 32, 2014, pp. 263-273.
- Shen, Weiming; Hao, Qi; Wang, Shuying; Li, Yinsheng; Ghenniwa, Hamada (2007) „An Agent-based Service-Oriented Integration Architecture for Collaborative Intelligent Manufacturing“, in: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 23, No. 3, 2007, pp. 315-325.
- Shen, Weiming; Norrie, Douglas H.; Barthès, Jean-Paul (2001) „Multi-Agent Systems for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing“, London et al.: Taylor & Francis, 2001.
- Sheng, Quan Z.; Qin, Yongrui; Yao, Lina; Benatallah, Boualem (eds.) (2017) „Managing the Web of Things. Linking the Real World to the Web“, Cambridge/MA: Morgan Kaufmann, 2017.
- Sheth, Amit (2007) „Beyond SAWSDL: A Game Plan for Broader Adoption of Semantic Web Services“, in: „IEEE Intelligent Systems, Vol. 22, No. 6“, ed. by Martin, David; Domingue, John, *Semantic Web Services, Part 2*, 2007, pp. 8-10.
- Sheth, Amit; Anantharam, Pramod; Henson, Cory A. (2013) „Physical-Cyber-Social Computing: An Early 21st Century Approach“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 28, No. 1, 2013, pp. 78-82.
- Sheth, Amit; Henson, Cory A.; Sahoo, Satya S. (2008) „Semantic Sensor Web“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 12, No. 4, 2008, pp. 78-83.
- Sheth, Amit; Perry, Matthew (2008) „Traveling the Semantic Web through Space, Time, and Theme“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 12, No. 2, 2008, pp. 81-86.
- Shi, Ling; Roman, Dumitru; Berre, Arne J. (2013) „SBVR as a Semantic Hub for Integration of Heterogeneous Systems“, in: „RuleML@ChallengeEnriched 2013“, ed. by Fodor, Paul et al., *Joint Proceedings of the 7th Int. Rule Challenge, the Special Track on Human Language Technology and the 3rd RuleML Doctoral Consortium hosted at RuleML2013, Seattle/USA, July, 2013*.
- Shi, Yimin; Li, Guanyu; Zhou, Xiaoping; Zhang, Xianzhong (2012) „Sensor Ontology Building in Semantic Sensor Web“, in: „Internet of Things“, ed. by Wang, Yongheng; Zhang, Xiaoming, *International Workshop, IOT 2012, Changsha, China, August 17-19, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012*, pp. 277-284.
- Shields, George W. (1996) „Introduction: On the Interface of Analytic and Process Philosophy“, in: *Process Studies*, Vol. 25, 1996, pp. 34-54.
- Shields, George W. (2003) „Introduction: On the Interface of Analytic and Process Philosophy“, in: „Process and Analysis. Whitehead, Hartshorne, and the Analytic Tradition“, ed. by Shields, George W., Albany: State Univ. of New York Pr., 2003, pp. 3-47.
- Shields, George W. (2004) „Rescher on Process and Universals“, in: „After Whitehead. Rescher on Process Metaphysics“, ed. by Weber, Michel, Heusenstamm: Ontos, 2004, pp. 135-145.
- Shimomura, Yoshiki; Tomiyama, Tetsuo (2005) „Service Modeling for Service Engineering“, in: „Knowledge and Skill Chains in Engineering and Manufacturing“, ed. by Arai, Eiji et al., *Fifth International Working Conference of Information Infrastructure Systems for Manufacturing 2002 (DIIDM2002)*, November 18-20, 2002, Osaka/Japan, New York/NY: Springer, 2005, pp. 31-38.
- Shin, Donghee (2014) „A Socio-technical Framework for Internet-of-Things Design: A Human-centered Design for the Internet of Things“, in: *Telematics and Informatics*, Vol. 31, No. 4, 2014, pp. 519-531.
- Shin, Kang G.; Ramanathan, Parameswaran (1994) „Real-Time Computing: A New Discipline of Computer Science and Engineering“, in: *Proceedings of the IEEE*, Vol. 82, No. 1, 1994, pp. 6-24.
- Shoham, Yoav (1988) „Reasoning about Change: Time and causation from the Standpoint of Artificial Intelligence“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1988.
- Shoham, Yoav (1993) „Agent-Oriented Programming“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 60, 1993, pp. 51-92.
- Shrestha, Neela; Kubler, Sylvain; Främling, Kary (2014) „Standardized Framework for Integrating Domain-Specific Applications into the IoT“, *2014 International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, Barcelona, 27-29 Aug., 2014, pp. 124-131.
- Shvaiko, Pavel; Euzenat, Jérôme (2005) „A Survey of Schema-Based Matching Approaches“, in: „Journal on Data Semantics IV“, ed. by Spaccapietra, Stefano, (*Lecture Notes in Computer Science 3730*), 2005, pp. 146-171.
- Siau, Keng (2010) „An Analysis of Unified Modeling Language (UML) Graphical Constructs Based on BWW Ontology“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 21, No. 1, 2010, pp. i-viii.
- Siau, Keng; Tan, Xin (2005) „Improving the Quality of Conceptual Modeling Using Cognitive Mapping Techniques“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 55, No. 3, 2005, pp. 343-365.

Bibliographie

- Sibley, Jack R. (ed.) (1978) „Process Philosophy. Basic Writings“, Washington: Univ. Pr. of America, 1978.
- Sicilia, Miguel-Ángel; García-Barriocanal, Elena; Sánchez-Alonso, Salvador; Rodríguez-García, Daniel (2009) „Ontologies of Engineering Knowledge: General Structure and the Case of Software Engineering“, in: Knowledge Engineering Review, Vol. 24, No. 3, 2009, pp. 309-326.
- Sicilia, Miguel-Ángel; Mora, Manuel (2010) „On Using the REA Enterprise Ontology as a Foundation for Service System Representations“, in: „Ontology, Conceptualization and Epistemology for Information Systems, Software Engineering and Service Science“, ed. by Sicilia, Miguel-Ángel et al., 4th International Workshop, ONTOSE 2010, held at CAiSE 2010, Hammamet, Tunisia, June 7-8, 2010, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 135-147.
- Sider, Theodore (1996a) „All the World's a Stage“, in: Australasian Journal of Philosophy, Vol. 74, No. 3, 1996, pp. 433-453.
- Sider, Theodore (1997) „Four-Dimensionalism“, in: Philosophical Review, Vol. 106, No. 2, 1997, pp. 197-231.
- Sider, Theodore (1999a) „Presentism and Ontological Commitment“, in: Journal of Philosophy, Vol. 96, No. 7, 1999, pp. 325-347.
- Sider, Theodore (2001) „Four-Dimensionalism: An Ontology of Persistence and Time“, Oxford: Clarendon Pr., 2001.
- Sider, Theodore (2009) „Ontological Realism“, in: „Metametaphysics. New Essays on the Foundations of Ontology“, ed. by Chalmers, David J.; Manley, David; Wasserman, Ryan, Oxford et al.: Clarendon Pr., 2009, pp. 384-423.
- Sider, Theodore (2012) „Writing the Book of the World“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2012.
- Siegel, Harvey (1989) „Philosophy of Science Naturalized? Some Problems with Giere's Naturalism“, in: Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 20, No. 3, 1989, pp. 365-375.
- Siemens (2007) „Establishing Regulatory Compliance in the Medical Device Industry“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2007.
- Siemens (2008) „Teamcenter Engineering Process Management: Workflow Designer Help“, 2008.
- Siemens (2009a) „Knowledge Management. Improved Federal Decision Making and Intellectual Property Protection“, Siemens Product Lifecycle Management, 2009.
- Siemens (2009b) „Innovation durch Wissensmanagement und konsequente Nutzung geistigen Eigentums“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2009.
- Siemens (2009c) „PLM for Automotive Suppliers. Digitally Transforming the Vehicle Development and Manufacturing Process“, Siemens Product Lifecycle Management, 2009.
- Siemens (2010a) „Innovation durch Synchronisierung der Wertschöpfungskette“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2010.
- Siemens (2010b) „Teamcenter's Service Oriented Architecture“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2010.
- Siemens (2010c) „Role of PLM in the Electronics Lifecycle“, White Paper, 2010.
- Siemens (2010d) „Environmental Compliance. Designing and Manufacturing Products to Comply with International ELV, RoHS, REACH and WEEE Guidelines“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2010.
- Siemens (2010e) „Customer-Supplier Co-Design“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2010.
- Siemens (2010f) „What Does Siemens PLM Software's Repeatable Digital Validation (RDV) Framework Mean to My Bottom Line?“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2010.
- Siemens (2011a) „Portfolio, Program and Project Management“, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2011.
- Siemens (2011b) „Tecnomatix“, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2011.
- Siemens (2011c) „Systems-driven Automotive Product Development“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2011.
- Siemens (2011d) „Manufacturing Process Management“, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2011.
- Siemens (2011e) „Siemens PLM Software. PLM Software to Build the Right Product - and Build the Product Right“, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2011.
- Siemens (2012a) „Role of PLM in the Software Lifecycle“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2012.

Bibliographie

- Siemens (2012b) „PLM for Manufacturing. Full Traceability of Product Data from Design through Manufacturing“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2012.
- Siemens (2013) „SpaceX. SpaceX Delivers Outer Space at Bargain Rates“, Siemens Product Lifecycle Management Software, 2013.
- Siemens (2014) „4D Planning: Optimizing Production Scheduling for Hull Outfitting“, White Paper, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., 2014.
- Silberstein, Michael (1998) „Emergence and the Mind-Body Problem“, in: *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 5, No. 4, 1998, pp. 464-482.
- Silberstein, Michael (2006) „In Defence of Ontological Emergence and Mental Causation“, in: „The Re-Emergence of Emergence. The Emergentist Hypothesis from Science to Religion“, ed. by Clayton, Philip; Davies, Paul, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2006, pp. 203-226.
- Silberstein, Michael; McGeever, John (1999) „The Search for Ontological Emergence“, in: *Philosophical Quarterly*, Vol. 49, No. 195, 1999, pp. 182-200.
- Simeonov, Plamen L.; Ehresmann, Andrée C.; Smith, Leslie S.; Gomez Ramirez, Jaime; Repa, Vaclav (2011) „A New Biology: A Modern Perspective on the Challenge of Closing the Gap between the Islands of Knowledge“, in: „Towards a Service-Based Internet. ServiceWave 2010 Workshops“, ed. by Cezon, Michel; Wolfsthal, Yaron, International Workshops, OCS, EMSOA, SMART, and EDBPM 2010, Ghent, Belgium, December 13-15, 2010, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 188-195.
- Simon, Herbert A. (1951) „Theory of Automata: Discussion“, in: *Econometrica*, Vol. 19, No. 1, 1951, p. 72.
- Simon, Herbert A. (1962) „The Architecture of Complexity“, in: *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 106, No. 6, December, 1962, pp. 467-482.
- Simon, Herbert A. (1969) „The Sciences of the Artificial“, 2nd ed., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1981.
- Simon, Herbert A. (1972a) „Theories of Bounded Rationality“, in: „Decision and Organization“, ed. by McGuire, Charles B.; Radner, Roy, A Volume in Honor of Jacob Marschak, Amsterdam, London: North-Holland, 1972, pp. 161-176.
- Simon, Herbert A. (1972b) „Complexity and the Representation of Patterned Sequences of Symbols“, in: *Psychological Review*, Vol. 79, No. 5, 1972, pp. 369-382.
- Simon, Herbert A. (1972c) „On Reasoning About Actions“, in: „Representation and Meaning: Experiments with Information Processing Systems“, ed. by Simon, Herbert A.; Siklóssy, Laurent, Englewood Cliffs/NJ: Prentice-Hall, 1972, pp. 414-430.
- Simon, Herbert A. (1973a) „The Organization of Complex Systems“, in: „Hierarchy Theory. The Challenge of Complex Systems“, ed. by Pattee, Howard H., New York: George Braziller, 1973, pp. 1-27.
- Simon, Herbert A. (1973b) „The Structure of Ill Structured Problems“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 4, No. 3/4, 1973, pp. 181-201.
- Simon, Herbert A. (1975) „The Functional Equivalence of Problem Solving Skills“, in: *Cognitive Psychology*, Vol. 7, 1975, pp. 268-288.
- Simon, Herbert A. (1976a) „How Complex are Complex Systems?“, in: *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1976, Volume Two: Symposia and Invited Papers, 1976, pp. 507-522.
- Simon, Herbert A. (1976b) „From Substantive to Procedural Rationality“, in: „Method and Appraisal in Economics“, ed. by Latsis, Spiro J., Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1976, pp. 129-148.
- Simon, Herbert A. (1976c) „The Information-Storage System Called 'Human Memory'“, in: „Neural Mechanisms of Learning and Memory“, ed. by Rosenzweig, Mark R.; Bennett, Edward L., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1976, pp. 79-96.
- Simon, Herbert A. (1981) „The Sciences of the Artificial“, 2nd ed., rev. and enlarged, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1981.
- Simon, Herbert A. (1982a) „Models of Bounded Rationality. Vol. 1: Economic Analysis and Public Policy“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1982.
- Simon, Herbert A. (1982b) „Unity of the Arts and Sciences: The Psychology of Thought and Discovery“, in: *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*, Vol. 35, No. 6, 1982, pp. 26-53.
- Simon, Herbert A. (1983a) „Why Should Machines Learn?“, in: „Machine Learning. An Artificial Intelligence Approach“, ed. by Michalski, Ryszard S.; Carbonell, Jaime G.; Mitchell, Tom M., Palo Alto/CA: Tioga Publ. Co., 1983, pp. 25-37.
- Simon, Herbert A. (1983b) „Reason in Human Affairs“, Stanford/Calif.: Stanford Univ. Pr., 1983.

Bibliographie

- Simon, Herbert A. (1985) „Human Nature in Politics: The Dialogue of Psychology with Political Science“, in: *American Political Science Review*, Vol. 79, No. 2, 1985, pp. 293-304.
- Simon, Herbert A. (1987a) „Rationality in Psychology and Economics“, in: „Rational Choice. The Contrast between Economics and Psychology“, ed. by Hogarth, Robin M.; Reder, Melvin W., Chicago, London: Univ. of Chicago Pr., 1987, pp. 25-40.
- Simon, Herbert A. (1987b) „Bounded Rationality“, in: „The New Palgrave“, ed. by Eatwell, John; Milgate, Murray; Newman, Peter, Vol. 1, London et al.: Macmillan, 1987, pp. 266-268.
- Simon, Herbert A. (1987c) „Guest Foreword“, in: „Encyclopedia of Artificial Intelligence“, ed. by Shapiro, Stuart C., Vol. 1, New York et al.: Wiley, 1987, pp. xi-xii.
- Simon, Herbert A. (1990) „Invariants of Human Behavior“, in: *Annual Review of Psychology*, Vol. 41, 1990, pp. 1-19.
- Simon, Herbert A. (1992) „The Computer as a Laboratory for Epistemology“, in: „Philosophy and the Computer“, ed. by Burkholder, Leslie, Boulder/Col. et al.: Westview Pr., 1992, pp. 3-23.
- Simon, Herbert A. (1995a) „Artificial Intelligence: An Empirical Science“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 77, No. 1, 1995, pp. 95-127.
- Simon, Herbert A. (1995b) „Near Decomposability and Complexity: How a Mind Resides in a Brain“, in: „The Mind, The Brain, and Complex Adaptive Systems“, ed. by Morowitz, Harold J.; Singer, Jerome L., Reading/Mass. et al.: Addison-Wesley, 1995, pp. 25-43.
- Simon, Herbert A. (1996) „Machine as Mind“, in: „Machines and Thought. The Legacy of Alan Turing“, ed. by Millican, Peter J.R.; Clark, Andy, Vol. I, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 81-102.
- Simon, Herbert A. (2000) „Can there be a Science of Complex Systems?“, in: „Unifying Themes in Complex Systems“, ed. by Bar-Yam, Yaneer, Proceedings of the International Conference on Complex Systems, Vol. 1, Cambridge/Mass.: Perseus Books, 2000, pp. 3-14.
- Simon, Jonathan (2004) „How to Be a Bicategorialist“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 60-69.
- Simons, Bruce A.; Yu, Jonathan; Cox, Simon J.D. (2013) „Defining a Water Quality Vocabulary Using QUDT and ChEBI“, 20th International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM), Adelaide/Australia, 2013, pp. 2548-2554.
- Simons, Peter M. (1982) „Three Essays in Formal Ontology“, in: „Parts and Moments. Studies in Logic and Formal Ontology“, ed. by Smith, Barry, München, Wien: Philosophia, 1982, pp. 111-260.
- Simons, Peter M. (1987) „Parts. A Study in Ontology“, Oxford: Clarendon Pr., 1987.
- Simons, Peter M. (1988) „Brentano's Theory of Categories: A Critical Reappraisal“, in: *Brentano Studien*, Bd. 1, 1988, S. 47-61.
- Simons, Peter M. (1989) „Wahrmacher für Aussagen über propositionale Einstellungen“, in: „Wissen, Wahrnehmen, Glauben: epistemische Ausdrücke und propositionale Einstellungen“, hrsg. v. Falkenberg, Gabriel, Tübingen: Niemeyer, 1989, S. 199-218.
- Simons, Peter M. (1991a) „On Being Spread Out in Time: Temporal Parts and the Problem of Change“, in: „Existence and Explanation“, ed. by Spohn, Wolfgang et al., Dordrecht: Kluwer, 1991, pp. 131-147.
- Simons, Peter M. (1991b) „Whitehead und die Mereologie“, in: „Die Gifford Lectures und ihre Deutung. Materialien zu Whiteheads 'Prozeß und Realität': Band 2“, hrsg. v. Hampe, Michael; Maaßen, Helmut, 1. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1991, S. 369-388.
- Simons, Peter M. (1992a) „Philosophische Aspekte der Klassifikation“, in: „Datenanalyse, Klassifikation und Informationsverarbeitung“, hrsg. v. Goebel, Hans; Schader, Martin, Heidelberg: Physica, 1992, S. 21-28.
- Simons, Peter M. (1992b) „Philosophy and Logic in Central Europe from Bolzano to Tarski“, Dordrecht et al.: Kluwer, 1992.
- Simons, Peter M. (1994) „Particulars in Particular Clothing: Three Trope Theories of Substance“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 54, No. 3, 1994, pp. 553-575.
- Simons, Peter M. (1995a) „Artefact“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 33-34.
- Simons, Peter M. (1995b) „New Categories for Formal Ontology“, in: *Grazer Philosophische Studien*, Bd. 49, 1995, S. 77-99.
- Simons, Peter M. (1998a) „Farewell to Substance: A Differentiated Leave-Taking“, in: *Ratio*, N.S., Vol. 11, No. 3, 1998, pp. 235-252.
- Simons, Peter M. (1998b) „Metaphysical Systematics: A Lesson from Whitehead“, in: *Erkenntnis*, 48. Jg., Nr. 2-3, 1998, S. 377-393.

Bibliographie

- Simons, Peter M. (1999) „Does the Sun Exist? The Problem of Vague Objects“, in: „The Proceedings of the Twentieth World Congress of Philosophy, Vol. 2: Metaphysics“, ed. by Rockmore, Tom, Bowling Green/OH: Bowling Green State Univ., 1999, pp. 89-98.
- Simons, Peter M. (2000a) „The Four Phases of Philosophy: Brentano's Theory and Austria's History“, in: *The Monist*, Vol. 83, No. 1, 2000, pp. 68-88.
- Simons, Peter M. (2000b) „Continuants and Occurrents“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society, Supp.* Vol. 74, No. 1, 2000, pp. 59-75.
- Simons, Peter M. (2000c) „How to Exist at a Time When You Have No Temporal Parts“, in: *The Monist*, Vol. 83, No. 3, 2000, pp. 419-436.
- Simons, Peter M. (2000d) „Identity Through Time and Trope Bundles“, in: *Topoi*, Vol. 19, 2000, pp. 147-155.
- Simons, Peter M. (2001) „Whose Fault? The Origins and Evitability of the Analytic-Continental Rift“, in: *International Journal of Philosophical Studies*, Vol. 9, No. 3, 2001, pp. 295-311.
- Simons, Peter M. (2002) „Candidate General Ontologies for Situating Quantum Field Theory“, in: „Ontological Aspects of Quantum Field Theory“, ed. by Kuhlmann, Meinard et al., Singapore et al.: World Scientific, 2002, pp. 33-52.
- Simons, Peter M. (2003) „Events“, in: „The Oxford Handbook of Metaphysics“, ed. by Loux, Michael J.; Zimmerman, Dean W., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2003, pp. 357-385.
- Simons, Peter M. (2004a) „Diskrepanzen: Wie Sprache und Welt zueinander stehen“, in: „Semantik und Ontologie. Beiträge zur philosophischen Forschung“, hrsg. v. Siebel, Mark; Textor, Mark, Frankfurt/Main: Ontos, 2004, S. 249-265.
- Simons, Peter M. (2004b) „Location“, in: *Dialectica*, Vol. 58, No. 3, 2004, pp. 341-347.
- Simons, Peter M. (2004c) „Criticism, Renewal and the Future of Metaphysics“, in: *Richmond Journal of Philosophy*, Vol. 6, 2004, pp. 6-13.
- Simons, Peter M. (2006a) „Processing Whitehead: Survey Review of Michael Epperston, Quantum Mechanics and the Philosophy of Alfred North Whitehead and Timothy E. Eastman and Hank Keeton, eds., Physics and Whitehead: Quantum, Process, and Experience“, in: *Metascience*, Vol. 15, No. 1, 2006, pp. 67-72.
- Simons, Peter M. (2006b) „Things and Truths: Brentano and Lesniewski, Ontology and Logic“, in: „Actions, Products, and Things. Brentano and Polish Philosophy“, ed. by Chrudzimski, Arkadiusz; Lukasiewicz, Dariusz, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2006, pp. 83-105.
- Simons, Peter M. (2007a) „Cliffs and Buttes: Metaphysics and Physical Geography“, in: „Metaphysik heute - Probleme und Perspektiven der Ontologie“, hrsg. v. Lutz-Bachmann, Matthias; Schmidt, Thomas M., Freiburg, München: Alber, 2007, S. 196-213.
- Simons, Peter M. (2007b) „Whitehead and Mereology“, in: „Les Principes de la connaissance naturelle d'Alfred North Whitehead/Alfred North Whitehead's Principles of Natural Knowledge“, ed. by Durand, Guillaume; Weber, Michel, Heusenstamm: Ontos, 2007, pp. 215-233.
- Simons, Peter M. (2008) „Speculative Metaphysics with Applications: A Whiteheadian Way Forward“, in: „Handbook of Whiteheadian Process Thought“, ed. by Weber, Michel; Desmond, Will, Vol. 1, Frankfurt/Main: Ontos, 2008, pp. 303-314.
- Simons, Peter M. (2009a) „Introduction to Part I: Millennia of Metaphysics“, in: „Routledge Companion to Metaphysics“, ed. by Le Poidevin, Robin et al., London et al.: Routledge, 2009, pp. 3-7.
- Simons, Peter M. (2009b) „Whitehead: Process and Cosmology“, in: „Routledge Companion to Metaphysics“, ed. by Le Poidevin, Robin et al., London et al.: Routledge, 2009, pp. 181-190.
- Simons, Peter M. (2009c) „Ontic Generation: Getting Everything from the Basics“, in: „Reduction - Abstraction - Analysis“, ed. by Hieke, Alexander; Leitgeb, Hannes, Proceedings of the 31th International Ludwig Wittgenstein-Symposium, Kirchberg, Frankfurt/Main: Ontos, 2009, pp. 137-152.
- Simons, Peter M. (2009d) „Ontology Meets Ontologies: Philosophers as Healers“, in: *Metascience*, Vol. 18, No. 3, 2009, pp. 469-473.
- Simons, Peter M. (2010a) „Good Metaphysics: Whitehead, Wittgenstein, and Ramal“, in: „Metaphysics, Analysis, and the Grammar of God. Process and Analytic Voices in Dialogue“, ed. by Ramal, Ramal, Tübingen: Mohr Siebeck, 2010, pp. 235-242.
- Simons, Peter M. (2010b) „Review of Pierfrancesco Basile, Leibniz, Whitehead and the Metaphysics of Causation“, in: *British Journal for the History of Philosophy*, Vol. 18, No. 1, 2010, pp. 175-177.
- Simons, Peter M. (2010c) „Why Categories Matter: Grossmann and Beyond“, in: „Studies in the Ontology of Reinhardt Grossmann“, ed. by Cumpa, Javier, Frankfurt/Main: Ontos, 2010, pp. 191-210.

Bibliographie

- Simons, Peter M. (2012) „Four Categories - and More“, in: „Contemporary Aristotelian Metaphysics“, ed. by Tahko, Tuomas E., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2012, pp. 126-139.
- Simons, Peter M. (2013a) „Continuant Causation, Fundamentality, and Freedom“, in: „Mental Causation and Ontology“, ed. by Gibb, Sophie C. et al., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2013, pp. 233-247.
- Simons, Peter M. (2013b) „Varieties of Parthood: Ontology Learns from Engineering“, in: „Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process“, ed. by Michelfelder, Diane P. et al., Dordrecht et al.: Springer, 2013, pp. 151-163.
- Simons, Peter M. (2014) „Relations and Idealism: On Some Arguments of Hochberg against Trope Nominalism“, in: *Dialectica*, Vol. 68, No. 2, 2014, pp. 305-315.
- Simons, Peter M. (2015) „Alfred North Whitehead's Process and Reality“, in: *Topoi*, Vol. 34, No. 1, 2013, pp. 297-305.
- Simons, Peter M.; Dement, Charles W. (1996) „Aspects of the Mereology of Artifacts“, in: „Formal Ontology“, ed. by Poli, Roberto; Simons, Peter, Dordrecht et al.: Kluwer, 1996, pp. 255-276.
- Simperl, Elena; Sure, York (2008) „The Business View: Ontology Engineering Costs“, in: „Ontology Management. Semantic Web, Semantic Web Services, and Business Applications“, ed. by Hepp, Martin et al., New York/NY: Springer, 2008, pp. 207-225.
- Simperl, Elena; Tempich, Christoph (2009) „Exploring the Economical Aspects of Ontology Engineering“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 337-358.
- Simpson, George G. (1944) „Tempo and Mode in Evolution“, Facs. of 1944 ed., New York et al.: Hafner, 1965.
- Singer, Beth J. (1975) „Substitutes for Substances“, in: *The Modern Schoolman*, Vol. 53, 1975, pp. 19-38.
- Singh, Munindar P. (1999) „An Ontology for Commitments in Multiagent Systems: Toward a Unification of Normative Concepts“, in: *Artificial Intelligence and Law*, Vol. 7, No. 1, 1999, pp. 97-113.
- Singh, Munindar P. (2007) „Formalizing Communication Protocols for Multiagent Systems“, ed. by Veloso, Manuela M., Proceedings of the 20th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2007), Hyderabad/India, January 6-12, 2007, pp. 1519-1524.
- Singh, Munindar P.; Chopra, Amit K. (2010) „Programming Multiagent Systems without Programming Agents“, in: „Programming Multi-Agent Systems“, ed. by Braubach, Lars et al., 7th International Workshop, ProMAS 2009, Budapest/Hungary, May 10-15, 2009, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 1-14.
- Singh, Munindar P.; Chopra, Amit K.; Desai, Nirmal (2009) „Commitment-Based Service-Oriented Architecture“, in: *IEEE Computer*, Vol. 42, No. 11, 2009, pp. 72-79.
- Singh, Munindar P.; Huhns, Michael N. (2005) „Service-Oriented Computing. Semantics, Processes, Agents“, Chichester et al.: Wiley, 2005.
- Singh, Rahul; Li, Zhao; Kim, Pilho; Pack, Derik; Jain, Ramesh (2004) „Event-based Modeling and Processing of Digital Media“, Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Vision meets Databases (CVDB '04), Paris/France, June 13, 2004, pp. 19-26.
- Sinha, Gaurav; Mark, David (2010) „Toward A Foundational Ontology of the Landscape“, ed. by Wallgrün, Jan Oliver, 6th Int. Conference, GIScience 2010, Extended Abstracts, Zürich, Switzerland, September 14-17, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010.
- Sinopalnikova, Anna (2004) „Word Association Thesaurus as a Resource for Building WordNet“, in: „GWC 2004, Proceedings“, ed. by Sojka, Petr et al., 2004, pp. 199-205.
- Sinz, Elmar J. (1998) „Modellierung betrieblicher Informationssysteme: Gegenstand, Anforderungen und Lösungsansätze“, in: „Modellierung '98“, hrsg. v. Pohl, Klaus et al., Proceedings des GI-Workshops in Münster, 11.-13. März, 1998.
- Sipper, Moshe (1999) „Notes on the Origin of Evolutionary Computation“, in: *Complexity*, Vol. 4, No. 5, 1999, pp. 15-21.
- Sitaram, Dinkar; Subramaniam, K.V. (2016) „Complex Event Processing in Big Data Systems“, in: „Big Data Analytics. Methods and Applications“, ed. by Pyne, Saumyadipta et al., New Delhi: Springer, 2016, pp. 137-161.
- Skersys, Tomas; Tutkute, Lina; Butleris, Rimantas (2012b) „The Enrichment of BPMN Business Process Model with SBVR Business Vocabulary and Rules“, in: *Journal of Computing and Information Technology*, Vol. 20, No. 3, 2012, pp. 143-150.
- Skersys, Tomas; Tutkute, Lina; Butleris, Rimantas; Butkiene, Rita (2012a) „Extending BPMN Business Process Model with SBVR Business Vocabulary and Rules“, in: *Information Technology and Control*, Vol. 41, No. 4, 2012, pp. 356-367.

Bibliographie

- Skjæveland, Martin G.; Lian, Espen H.; Horrocks, Ian (2013) „Publishing the Norwegian Petroleum Directorate's FactPages as Semantic Web Data“, in: „The Semantic Web - ISWC 2013“, ed. by Alani, Harith et al., 12th International Semantic Web Conference, Sydney, NSW, Australia, October 21-25, 2013, Proceedings, Part II, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 162-177.
- Skolimowski, Henryk (1974) „Problems of Rationality in Biology“, in: „Studies in the Philosophy of Biology“, ed. by Ayala, Francisco J.; Dobzhansky, Theodosius, London et al.: Macmillan, 1974, pp. 205-224.
- Skourletopoulos, Georgios; Mavromoustakis, Constandinos X.; Mastorakis, George; Batalla, Jordi M.; Dobre, Ciprian et al. (2017) „Big Data and Cloud Computing: A Survey of the State-of-the-Art and Research Challenges“, in: „Advances in Mobile Cloud Computing and Big Data in the 5G Era“, ed. by Mavromoustakis, Constandinos X. et al., Cham et al.: Springer, 2017, pp. 23-41.
- Suce, Douglas R. (1997) „How We Might Reach Agreement on Shared Ontologies: A Fundamental Approach“, AAAI Technical Report SS-97-06, 1997, pp. 114-119.
- Suce, Douglas R.; Monarch, Ira (1990) „Ontological Issues in Knowledge Base Design: Some Problems and Suggestions“, Proceedings of the 5th Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop, Banff/Canada, 1990.
- Slama, Dirk; Puhmann, Frank; Morrish, Jim; Bhatnagar, Rishi (2015) „Enterprise IoT. Strategies and Best Practices for Connected Products and Services“, Beijing; Sebastopol: O'Reilly, 2015.
- Slovan, Aaron (1978) „The Computer Revolution in Philosophy: Philosophy, Science and Models of Mind“, Hassocks: Harvester Pr., 1978.
- Slovan, Aaron (1985) „A Suggestion About Popper's Three Worlds in the Light of Artificial Intelligence“, in: ETC: A Review of General Semantics, Vol. 42, No. 3, 1985, pp. 310-316.
- Slovan, Aaron (1990) „Motives, Mechanisms, and Emotions“, in: „The Philosophy of Artificial Intelligence“, ed. by Boden, Margaret A., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1990, pp. 231-247.
- Slovan, Aaron (1995) „A Philosophical Encounter“, ed. by Mellish, Chris S., IJCAI-95: Proceedings of the Fourteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Montréal, Québec, Canada, August 20-25, 1995, Vol. 2, 1995, pp. 2037-2040.
- Slovan, Aaron (1996) „Beyond Turing Equivalence“, in: „Machines and Thought: The Legacy of Alan Turing, Volume I“, ed. by Millican, Peter J.R.; Clark, Andy, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 179-219.
- Slovan, Aaron; Scheutz, Matthias (2002) „A Framework for Comparing Agent Architectures“, Proceedings UKCI'02: UK Workshop on Computational Intelligence, Birmingham/UK, Sept, 2002.
- Smart, Harold R. (1925) „The Philosophical Presuppositions of Mathematical Logic“, New York: Longmans, 1925.
- Smart, Harold R. (1926) „On Mathematical Logic“, in: Journal of Philosophy, Vol. 23, No. 11, 1926, pp. 296-300.
- Smart, John J.C. (1949) „The River of Time“, in: Mind, Vol. 58, 1949, pp. 483-494.
- Smart, John J.C. (1953) „A Note on Categories“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 4, No. 15, 1953, pp. 227-228.
- Smart, John J.C. (1962) „Tensed Statements: A Comment“, in: Philosophical Quarterly, Vol. 12, No. 48, 1962, pp. 264-265.
- Smart, John J.C. (1963) „Philosophy and Scientific Realism“, London: Routledge & Kegan Paul, 1963.
- Smart, John J.C. (1972) „Space-Time and Individuals“, in: „Logic & Art: Essays in Honor of Nelson Goodman“, ed. by Rudner, Richard; Scheffler, Israel, Atascadero/Calif.: Ridgeview Publ., 1972, pp. 3-20.
- Smart, John J.C. (1981) „Physicalism and Emergence“, in: Neuroscience, Vol. 6, No. 2, 1981, pp. 109-113.
- Smart, Paul R. (2014) „The Web-Extended Mind“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 116-133.
- Smirnov, Alexander V.; Chandra, Charu (2000) „Ontology-Based Knowledge Management for Co-operative Supply Chain Configuration“, AAAI Technical Report SS-00-03, 2000.
- Smirnov, Alexander V.; Kashevnik, Alexey; Ponomarev, Andrew (2015) „Multi-level Self-organization in Cyber-Physical-Social Systems: Smart Home Cleaning Scenario“, in: Procedia CIRP, Vol. 30, 2015, pp. 329-334.
- Smirnov, Alexander V.; Levashova, Tatiana; Kashevnik, Alexey; Shilov, Nikolay (2010) „Profile-based Self-Organization for PLM: Approach and Technological Framework“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 646-655.

Bibliographie

- Smirnov, Alexander V.; Levashova, Tatiana; Shilov, Nikolay; Sandkuhl, Kurt (2014) „Ontology for Cyber-Physical-Social Systems Self-Organisation“, 16th Conference of Open Innovations Association (FRUCT16), Oulu, Finland, 27-31 Oct., 2014, pp. 101-107.
- Smirnov, Alexander V.; Pashkin, Michael; Levashova, Tatiana; Chilov, Nikolai (2005) „Ontology-Based Support for Semantic Interoperability between SCM and PLM“, in: „Product Lifecycle Management: Emerging Solutions and Challenges for Global Networked Enterprise“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., Proceedings of the International Conference on Product Life Cycle Management (PLM' 05) held at the Lumière University, Lyon/France, 11-13th July, Geneve: Inderscience, 2005, pp. 127-136.
- Smirnov, Alexander V.; Shilov, Nikolay (2013) „Ontology Matching in Collaborative Recommendation System for PLM“, in: International Journal of Product Lifecycle Management, Vol. 6, No. 4, 2013, pp. 322-338.
- Smirnov, Alexander V.; Shilov, Nikolay; Kashevnik, Alexey (2006) „Analysing Supply Chain Complexity via Agent-Based Negotiation“, in: „Complexity Management in Supply Chains. Concepts, Tools and Methods“, ed. by Blecker, Thorsten; Kersten, Wolfgang, Berlin: Schmidt, 2006, pp. 51-65.
- Smith, Barry (1976) „The Ontology of Reference: Studies in Logic and Phenomenology“, Diss., Univ. of Manchester, 1976.
- Smith, Barry (1978) „An Essay in Formal Ontology“, in: Grazer Philosophische Studien, Bd. 6, 1978, pp. 39-62.
- Smith, Barry (1981) „Logic, Form and Matter“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volume 55, 1981, pp. 47-63.
- Smith, Barry (1982) „Some Formal Moments of Truth“, in: „Language and Ontology“, ed. by Leinfellner, Werner, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky, 1982, pp. 186-190.
- Smith, Barry (1986a) „Austrian Economics and Austrian Philosophy“, in: „Austrian Economics. Historical and Philosophical Background“, ed. by Grassl, Wolfgang; Smith, Barry, London, Sydney: Croom Helm, 1986, pp. 1-36.
- Smith, Barry (1986b) „Preface: Austrian Economics from Menger to Hayek“, in: „Austrian Economics. Historical and Philosophical Background“, ed. by Grassl, Wolfgang; Smith, Barry, London, Sydney: Croom Helm, 1986, pp. vii-x.
- Smith, Barry (1987a) „Husserl, Language, and the Ontology of the Act“, in: „Speculative Grammar, Universal Grammar, and Philosophical Analysis of Language“, ed. by Buzzetti, Dino; Ferriani, Maurizio, Amsterdam et al.: Benjamins, 1987, pp. 205-227.
- Smith, Barry (1987b) „The Substance of Brentano's Ontology“, in: Topoi, Vol. 6, No. 1, 1987, pp. 39-49.
- Smith, Barry (1989) „Logic and Formal Ontology“, in: „Husserl's Phenomenology: A Textbook“, ed. by Mohanty, Jitendranath N.; McKenna, William R., Lanham/MD: Univ. Pr. of America, 1989, pp. 29-67.
- Smith, Barry (1990) „Aristotle, Menger, Mises: An Essay in the Metaphysics of Economics“, in: History of Political Economy, Annual Supplement to Vol. 22, 1990, pp. 263-288.
- Smith, Barry (1992a) „Austrian Philosophy and Austrian Economics“, in: „Praxiologies and the Philosophy of Economics“, ed. by Auspitz, Josiah L. et al., New Brunswick et al.: Transaction Publ., 1992, pp. 245-272.
- Smith, Barry (1992b) „Zum Wesen des Common Sense: Aristoteles und die naive Physik“, in: Zeitschrift für philosophische Forschung, Bd. 46, Nr. 4, 1992, S. 508-525.
- Smith, Barry (1993) „Ontology and the Logistic Analysis of Reality“, in: „Proceedings of the International Workshop on Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation“, ed. by Guarino, N.; Poli, R., Padova: Institute for Systems Theory and Biomedical Engineering of the Italian National Research Council, 1993, pp. 51-68.
- Smith, Barry (1994) „Austrian Philosophy. The Legacy of Franz Brentano“, Chicago, LaSalle/Illinois: Open Court, 1994.
- Smith, Barry (1995a) „Formal Ontology, Common Sense and Cognitive Science“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 641-667.
- Smith, Barry (1995b) „Ontology“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 373-374.
- Smith, Barry (1995c) „The Structures of the Common-Sense World“, in: „Mind and Cognition: Philosophical Perspectives on Cognitive Science and Artificial Intelligence“, ed. by Haaparanta, Leila; Heinämaa, Sara, Acta Philosophica Fennica, Vol. 58, 1995, pp. 290-317.
- Smith, Barry (1995d) „Brentano, Franz“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 61-63.

Bibliographie

- Smith, Barry (1995e) „Ingarden, Roman Witold“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 241-242.
- Smith, Barry (1996a) „In Defense of Extreme (Fallibilistic) Apriorism“, in: *Journal of Libertarian Studies*, Vol. 12, No. 1, 1996, pp. 179-192.
- Smith, Barry (1996b) „Mereotopology: A Theory of Parts and Boundaries“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 20, 1996, pp. 287-303.
- Smith, Barry (1997) „On Substances, Accidents and Universals: In Defence of a Constituent Ontology“, in: *Philosophical Papers*, Vol. 26, No. 1, 1997, pp. 105-127.
- Smith, Barry (1998a) „An Introduction to Ontology“, in: „The Ontology of Fields. Report of a Specialist Meeting Held under the Auspices of the Varenus Project, Panel on Computational Implementations of Geographic Concepts“, ed. by Peuquet, Donna; Smith, Barry; Brogaard, Berit, National Center for Geographic Information and Analysis, Bar Harbor, Maine, 1998, pp. 9-14.
- Smith, Barry (1998b) „Basic Concepts of Formal Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Guarino, Nicola, Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), Amsterdam et al.: IOS Pr., 1998, pp. 19-28.
- Smith, Barry (1999a) „Les Objets Sociaux“, in: *Philosophiques*, Vol. 26, N° 2, 1999, p. 315-347.
- Smith, Barry (1999b) „Truthmaker Realism“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 77, No. 3, 1999, pp. 274-291.
- Smith, Barry (2002a) „Aristoteles, Kant und die Quantenphysik“, in: „Philosophie und Wissenschaft“, hrsg. v. Hagengruber, Ruth, Würzburg: Königshausen & Neumann, 2002, S. 79-97.
- Smith, Barry (2002b) „Truthmaker Realism: Response to Gregory“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 80, No. 2, 2002, pp. 231-234.
- Smith, Barry (2003a) „Ontology“, in: „Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information“, ed. by Floridi, Luciano, Oxford: Blackwell, 2003, pp. 155-166.
- Smith, Barry (2003b) „Die Ontologie als Grundlagenwissenschaft der Informatik? Barry Smith im Interview mit Ruth Hagengruber“, in: *Information Philosophie*, 3/2003, 2003, S. 120-123.
- Smith, Barry (2003c) „John Searle: From Speech Acts to Social Reality“, in: „John Searle“, ed. by Smith, Barry, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2003, pp. 1-33.
- Smith, Barry (2003d) „Aristoteles 2002“, in: „Kann man heute noch etwas anfangen mit Aristoteles?“, hrsg. v. Buchheim, Thomas et al., Hamburg: Meiner, 2003, S. 3-38.
- Smith, Barry (2004) „Beyond Concepts: Ontology as Reality Representation“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 73-84.
- Smith, Barry (2005a) „The Logic of Biological Classification and the Foundations of Biomedical Ontology“, in: „Invited Papers from the 10th International Conference in Logic Methodology and Philosophy of Science“, ed. by Westerståhl, Dag, (Oviedo, Spain, 2003), London: King's College Publications, 2005, pp. 505-520.
- Smith, Barry (2005b) „Against Fantology“, in: „Experience and Analysis“, ed. by Marek, Johann C.; Reicher, Maria E., Vienna: öbv & hpt, 2005, pp. 153-170.
- Smith, Barry (2006a) „From Concepts to Clinical Reality: An Essay on the Benchmarking of Biomedical Terminologies“, in: *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 39, No. 3, 2006, pp. 288-298.
- Smith, Barry (2006b) „Against Idiosyncrasy in Ontology Development“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 15-26.
- Smith, Barry (2006c) „On the Phases of Reism“, in: „Actions, Products, and Things. Brentano and Polish Philosophy“, ed. by Chrudzimski, Arkadiusz; Lukasiewicz, Dariusz, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2006, pp. 121-182.
- Smith, Barry (2008a) „Ontology (Science)“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 21-35.
- Smith, Barry (2008b) „Realitätsrepräsentation: Das Ziel der Ontologie“, in: „Biomedizinische Ontologie. Wissen strukturieren für den Informatik-Einsatz“, hrsg. v. Jansen, Ludger; Smith, Barry, Zürich: Vdf-Hochsch.-Verl., 2008, S. 31-45.
- Smith, Barry (2008c) „Searle and De Soto: The New Ontology of the Social World“, in: „The Mystery of Capital and the Construction of Social Reality“, ed. by Smith, Barry et al., Chicago: Open Court, 2008, pp. 35-51.

Bibliographie

- Smith, Barry (2008d) „New Desiderata for Biomedical Terminologies“, in: „Applied Ontology. An Introduction“, ed. by Munn, Katherine; Smith, Barry, Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 83-107.
- Smith, Barry (2008e) „The Benefits of Realism: A Realist Logic with Applications“, in: „Applied Ontology. An Introduction“, ed. by Munn, Katherine; Smith, Barry, Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 109-124.
- Smith, Barry (2009) „Ontology and Information Systems“, State University of New York State at Buffalo, 2009.
- Smith, Barry (2012a) „Basic Formal Ontology“, Tutorial, August 18-19, 2012 (Presentation), 2012.
- Smith, Barry (2012b) „On Classifying Material Entities in Basic Formal Ontology“, in: *Interdisciplinary Ontology, Proceedings of the Third Interdisciplinary Ontology Meeting*, Tokyo: Keio Univ. Pr., 2012, pp. 1-13.
- Smith, Barry (2012c) „Classifying Processes: An Essay in Applied Ontology“, in: *Ratio*, Vol. 25, No. 4, 2012, pp. 463-488.
- Smith, Barry (2013) „Basic Formal Ontology 2.0“, Draft Specification and User's Guide (Last saved 04/02/2013), 2013.
- Smith, Barry (2014) „The Relevance of Philosophical Ontology to Information and Computer Science“, in: „Philosophy, Computing and Information Science“, ed. by Hagengruber, Ruth; Riss, Uwe V., London: Pickering & Chatto, 2014, pp. 75-83.
- Smith, Barry (ed.) (1982) „Parts and Moments. Studies in Logic and Formal Ontology“, München, Wien: Philosophia, 1982.
- Smith, Barry; Brochhausen, Mathias (2010) „Putting Biomedical Ontologies to Work“, in: *Methods of Information in Medicine*, Vol. 49, No. 2, 2010, pp. 135-140.
- Smith, Barry; Brogaard, Berit (2000) „A Unified Theory of Truth and Reference“, in: *Logique et Analyse*, No. 169-170, 2000, pp. 49-93.
- Smith, Barry; Casati, Roberto (1994) „Naive Physics: An Essay in Ontology“, in: *Philosophical Psychology*, Vol. 7, No. 2, 1994, pp. 225-244.
- Smith, Barry; Ceusters, Werner (2010) „Ontological Realism: A Methodology for Coordinated Evolution of Scientific Ontologies“, in: *Applied Ontology*, Vol. 5, No. 3-4, 2010, pp. 139-188.
- Smith, Barry; Ceusters, Werner et al. (2005) „Relations in Biomedical Ontologies“, in: *Genome Biology*, Vol. 6, No. 5, R46, 2005.
- Smith, Barry; Grenon, Pierre (2004) „The Cornucopia of Formal-Ontological Relations“, in: *Dialectica*, Vol. 58, No. 3, 2004, pp. 279-296.
- Smith, Barry; Klagges, Bert R.E. (2005) „Philosophie und biomedizinische Forschung“, in: *Allgemeine Zeitschrift für Philosophie*, Bd. 30, Nr. 1, 2005, S. 5-26.
- Smith, Barry; Klagges, Bert R.E. (2008) „Philosophy and Biomedical Information Systems“, in: „Applied Ontology. An Introduction“, ed. by Munn, Katherine; Smith, Barry, Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 21-37.
- Smith, Barry; Kusnierczyk, Waclaw; Schober, Daniel; Ceusters, Werner (2006) „Towards a Reference Terminology for Ontology Research and Development in the Biomedical Domain“, in: *KR-MED 2006 "Biomedical Ontology in Action"*, November 8, 2006, Baltimore/MD, 2006, pp. 57-65.
- Smith, Barry; Malyuta, Tatiana et al. (2013) „IAO-Intel. An Ontology of Information Artifacts in the Intelligence Domain“, in: „STIDS 2013 - Semantic Technologies for Intelligence, Defense, and Security“, ed. by Blackmond Laskey, Kathryn et al., Proceedings of the Eighth Conference on Semantic Technologies for Intelligence, Defense, and Security, Fairfax VA, USA, November 12-15, 2013, pp. 33-40.
- Smith, Barry; Mark, David M. (1999) „Ontology with Human Subjects Testing: An Empirical Investigation of Geographic Categories“, in: *American Journal of Economics and Sociology*, Vol. 58, No. 2, 1999, pp. 245-272.
- Smith, Barry; Mark, David M. (2001) „Geographical Categories: An Ontological Investigation“, in: *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 15, No. 7, 2001, pp. 591-612.
- Smith, Barry; Mark, David M. (2003) „Do Mountains Exist? Towards an Ontology of Landforms“, in: *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 30, No. 3, 2003, pp. 411-427.
- Smith, Barry; Mejino, Jose L.V., Jr.; Schulz, Stefan; Kumar, Anand; Rosse, Cornelius (2005) „Anatomical Information Science“, in: „Spatial Information Theory“, ed. by Cohn, Anthony G.; Mark, David M., Int. Conference, COSIT 2005, Ellicottville, NY, USA, September 14-18, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 149-164.
- Smith, Barry; Mulligan, Kevin (1982) „Pieces of a Theory“, in: „Parts and Moments. Studies in Logic and Formal Ontology“, ed. by Smith, Barry, München, Wien: Philosophia, 1982, pp. 15-109.

- Smith, Barry; Mulligan, Kevin (1983) „Framework for Formal Ontology“, in: *Topoi*, Vol. 2, 1983, pp. 73-85.
- Smith, Barry; Vizenor, Lowell; Schoening, James (2009) „Universal Core Semantic Layer“, in: „OIC-2009. Ontologies for the Intelligence Community“, ed. by Costa, Paulo C.G. et al., Proceedings of the 2009 International Conference on Ontologies for the Intelligence Community Fairfax/VA, USA, October 11-22, 2009.
- Smith, Barry; Welty, Christopher A. (2001) „Ontology: Towards a New Synthesis“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01), New York: ACM Pr., 2001, pp. iii-ix.
- Smith, Brian Cantwell (1984) „Reflection and Semantics in LISP“, Proceedings of the 11th ACM SIGACT-SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages (POPL '84), Salt Lake City/UT, January 15-18, New York/NY: ACM, 1984, pp. 23-35.
- Smith, Brian Cantwell (1996) „On the Origin of Objects“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1996.
- Smith, Brian Cantwell (2002) „The Foundations of Computing“, in: „Computationalism: New Directions“, ed. by Scheutze, Matthias, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 2002, pp. 23-58.
- Smith, D. Eric; Morowitz, Harold J. (2004) „Searching for the Laws of Life“, in: *Bulletin of the Santa Fe Institute*, Vol. 19, No. 1, 2004, pp. 16-23.
- Smith, David W. (2004) „Mind World: Essays in Phenomenology and Ontology“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2004.
- Smith, Fabrizio; Proietti, Maurizio (2014) „BPAL: A Tool for Managing Semantically Enriched Conceptual Process Models“, eChallenges e-2014 Conference Proceedings, Belfast, 29-30 Oct., 2014, pp. 1-10.
- Smith, Hamilton O.; Hutchison, Clyde A., III; Pfannkoch, Cynthia; Venter, J. Craig (2003) „Generating a Synthetic Genome by Whole Genome Assembly: ϕ X174 Bacteriophage from Synthetic Oligonucleotides“, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, Vol. 100, No. 26, 2003, pp. 15440-15445.
- Smith, John E. (1990) „The Meaning of Religious Experience in Hegel and Whitehead“, in: „Whitehead und der deutsche Idealismus - Whitehead and German Idealism“, hrsg. v. Lucas, George R., Jr.; Braeckman, Antoon, Bern et al.: Peter Lang, 1990, S. 115-134.
- Smith, Leslie S.; Metz, Daniel; Bao, Jungpen; Bizarro, Pedro (2011) „Events, Neural Systems and Time Series“, in: „Towards a Service-Based Internet. ServiceWave 2010 Workshops“, ed. by Cezon, Michel; Wolfsthal, Yaron, International Workshops, OCS, EMSOA, SMART, and EDBPM 2010, Ghent, Belgium, December 13-15, 2010, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 196-202.
- Smith, Walter (1896) „The Category of Substance“, in: *Philosophical Review*, Vol. 5, No. 3, 1896, pp. 246-262.
- Smithers, Tim (1997) „Autonomy in Robots and Other Agents“, in: *Brain and Cognition*, Vol. 34, No. 1, 1997, pp. 88-106.
- Smithers, Tim (2002) „Synthesis in Designing“, in: „Artificial Intelligence in Design '02“, ed. by Riitahuhta, Asko, Dordrecht: Kluwer, 2002, pp. 3-24.
- Sneed, Joseph D. (1971) „The Logical Structure of Mathematical Physics“, Dordrecht: Reidel, 1971.
- Sneed, Joseph D. (1983) „Structuralism and Scientific Realism“, in: *Erkenntnis*, Vol. 19, 1983, pp. 345-370.
- Snow, Charles P. (1959) „The two Cultures and the Scientific Revolution“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1959.
- Snow, Charles P. (1964) „The two Cultures and a Second Look. An Expanded Version of the Two Cultures and the Scientific Revolution“, 2nd ed., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1964.
- Soames, Scott (2009) „Ontology, Analyticity, and Meaning: the Quine-Carnap Dispute“, in: „Metametaphysics. New Essays on the Foundations of Ontology“, ed. by Chalmers, David J.; Manley, David; Wasserman, Ryan, Oxford et al.: Clarendon Pr., 2009, pp. 424-443.
- Soames, Scott (2015) „David Lewis's Place in Analytic Philosophy“, in: „A Companion to David Lewis“, ed. by Loewer, Barry; Schaffer, Jonathan, Chichester et al.: Wiley, 2015, pp. 80-98.
- Soares de Jesus, Jandisson; Vieira de Melo, Ana Cristina (2015) „Business Rules: From SBVR to Information Systems“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Fournier, Fabiana; Mendling, Jan, BPM 2014 International Workshops, Eindhoven, The Netherlands, September 7-8, 2014, Revised Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 489-503.
- Soares, Andrey; Fonseca, Frederico (2007) „Ontology-Driven Information Systems: At Development Time“, in: *International Journal of Computers, Systems and Signals*, Vol. 8, No. 2, 2007, pp. 50-59.
- Soares, Andrey; Fonseca, Frederico (2009) „Building Ontologies for Information Systems: What We Have, What We Need“, iConference'09, February 8-11, 2009, Chapel Hill/NC, USA, 2009.

Bibliographie

- Soares, Nate (2015a) „Formalizing Two Problems of Realistic World-Models“, Technical report 2015-3, Berkeley/CA: Machine Intelligence Research Institute, 2015.
- Soares, Nate (2015b) „The Value Learning Problem“, Technical report 2015-4, Berkeley/CA: Machine Intelligence Research Institute, 2015.
- Soares, Nate; Fallenstein, Benja (2014) „Aligning Superintelligence with Human Interests: A Technical Research Agenda“, Technical report 2014-8, Berkeley/CA: Machine Intelligence Research Institute, 2014.
- Sober, Elliott (1992) „Learning from Functionalism - Prospects for Strong Artificial Life“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. 749-765.
- Sober, Elliott (1995) „Unity of Science“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 501-502.
- Sobh, Tarek (2009) „Information Fusion Using Ontology-Based Communication between Agents“, in: International Arab Journal of e-Technology, Vol. 1, No. 2, 2009, pp. 18-25.
- Söderström, Eva (2007) „Achieving Influence on Standardisation Bodies“, in: „Enterprise Interoperability. New Challenges and Approaches“, ed. by Doumeings, Guy et al., London et al.: Springer, 2007, pp. 565-574.
- Söderström, Eva; Meier, Fabian (2007) „Combined SOA Maturity Model (CSOAMM): Towards a Guide for SOA Adoption“, in: „Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches“, ed. by Gonçalves, Ricardo J. et al., London: Springer, 2007, pp. 389-400.
- Soffer, Pnina; Hadar, Irit (2007) „Applying Ontology-based Rules to Conceptual Modeling: A Reflection on Modeling Decision Making“, in: European Journal of Information Systems, Vol. 16, 2007, pp. 599-611.
- Soffer, Pnina; Yehezkel, Tomer (2011) „A State-Based Context-Aware Declarative Process Model“, in: „Enterprise, Business-Process and Information Systems Modeling“, ed. by Halpin, Terry et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 148-162.
- Soh, Leen-Kiat (2002) „Multiagent Distributed Ontology Learning“, in: „OAS'02. Ontologies in Agent Systems“, ed. by Cranefield, Stephen et al., Proceedings of the Workshop on Ontologies in Agent Systems, 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Bologna, Italy, 16 July, 2002.
- Soh, Leen-Kiat (2003) „Collaborative Understanding of Distributed Ontologies in a Multiagent Framework: Design and Experiments“, in: „OAS'03. Ontologies in Agent Systems“, ed. by Cranefield, Stephen et al., Proceedings of the Workshop on Ontologies in Agent Systems, 2nd International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Melbourne, Australia, 15 July, 2003.
- Soininen, Timo et al. (1998) „Towards a General Ontology of Configuration“, in: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, Vol. 12, 1998, pp. 357-372.
- Sokolova, Marina V.; Fernández-Caballero, Antonio (2007) „A Meta-ontological Framework for Multi-Agent Systems Design“, in: „Nature Inspired Problem-Solving Methods in Knowledge Engineering“, ed. by Mira, José; Álvarez, José R., Second International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation, IWINAC 2007, La Manga del Mar Menor, Spain, June 18-21, 2007, Proceedings, Part II, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 521-530.
- Sokolowski, Robert (1988) „Natural and Artificial Intelligence“, in: Daedalus, Vol. 117, No. 1, 1988, pp. 45-64.
- Solaiman, Basel; Bossé, Éloi; Pigeon, Luc; Guériot, Didier; Florea, Mihai Cristian (2015) „A Conceptual Definition of a Holonic Processing Framework to Support the Design of Information Fusion Systems“, in: Information Fusion, Vol. 21, 2015, pp. 85-99.
- Soldatova, Larisa N.; King, Ross D. (2006) „An Ontology of Scientific Experiments“, in: Journal of the Royal Society: Interface, Vol. 3, No. 11, 2006, pp. 795-803.
- Solomakhin, Dmitry; Franconi, Enrico; Mosca, Alessandro (2011) „Logic-based Reasoning Support for SBVR“, in: „CILC 2011“, ed. by Fioravanti, Fabio, Proceedings of the 26th Italian Conference on Computational Logic, Pescara/Italy, August 31-September 2, 2011, pp. 311-325.
- Solow, Daniel (2000) „On the Challenge of Developing a Formal Mathematical Theory for Establishing Emergence in Complex Systems“, in: Complexity, Vol. 6, No. 1, 2000, pp. 49-52.
- Sommerer, Christa; Mignonneau, Laurent (1998) „The Application of Artificial Life to Interactive Computer Installations“, in: Artificial Life and Robotics, Vol. 2, No. 4, 1998, pp. 151-156.
- Somov, Andrey; Dupont, Corentin; Giaffreda, Raffaele (2013) „Supporting Smart-City Mobility With Cognitive Internet of Things“, ed. by Cunningham, Paul; Cunningham, Miriam, Conference Proceedings Future Network and Mobile Summit, Lisboa/Portugal, 3-5 July, IIMC, 2013, pp. 1-10.

Bibliographie

- Son, Siwoon; Gil, Myeong-Seon; Moon, Yang-Sae; Won, Hee-Sun (2015) „Performance Analysis of Hadoop-Based SQL and NoSQL for Processing Log Data“, in: „Database Systems for Advanced Applications“, ed. by Liu, An et al., DASFAA 2015 International Workshops, SeCoP, BDMS, and Posters, Hanoi, Vietnam, April 20-23, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 293-299.
- Song, In-Ho; Chung, Sung-Chong (2009) „Synthesis of the Digital Mock-up System for Heterogeneous CAD Assembly“, in: *Computers in Industry*, Vol. 60, 2009, pp. 285-295.
- Sonnenberg, Christian; vom Brocke, Jan (2014) „The Missing Link Between BPM and Accounting: Using Event Data for Accounting in Process-Oriented Organizations“, in: *Business Process Management Journal*, Vol. 20, No. 2, 2014, pp. 213-246.
- Sonzini, Maria Soledad; Vegetti, Marcela; Leone, Horacio Pascual (2013) „Conceptual Model for the Integration of Pronto with ISO Standard 15926“, in: *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, Vol. 5, No. 10, 2013, pp. 70-83.
- Søraker, Johnny Hartz (2014) „Virtual Worlds and Their Challenge to Philosophy: Understanding the 'Intravirtual' and the 'Extravirtual'“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 168-180.
- Sornette, Didier (2000) „Emergence in Earthquakes“, in: „Unifying Themes in Complex Systems“, Proceedings of the first International Conference on Complex Systems, New Hampshire, 1997, ed. by Bar-Yam, Yaneer, Cambridge/Mass.: Perseus Books, 2000, pp. 519-522.
- Sorter, George H. (1969) „An "Events" Approach to Basic Accounting Theory“, in: *The Accounting Review*, Vol. 44, No. 1, 1969, pp. 12-19.
- Soto, Ana M.; Sonnenschein, Carlos (2006) „Emergentism by Default: A View from the Bench“, in: *Synthese*, Vol. 151, 2006, pp. 361-376.
- Sotoodeh, Mandana (2009) „Challenges in Semantic Interoperability in Emergency Management“, in: „CAiSE - Doctoral Consortium 2009“, ed. by Weigand, Hans; Brinkkemper, Sjaak, Proceedings of the CAiSE-DC'09 16th Doctoral Consortium held in conjunction with CAiSE'09 Conference, Amsterdam, The Netherlands, June 9-10, 2009.
- Sottara, Davide; Manservigi, Alberto; Mello, Paola; Colombini, Gabriele; Luccarini, Luca (2009) „A CEP-based SOA for the Management of WasteWater Treatment Plants“, IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), Crema/Italy, 2009, pp. 58-65.
- Soulier, Eddie (2012) „What Social Ontology for Social Web? An Assemblage Theory Promoted“, in: „PhiloWeb 2012. Web and Philosophy: Why and What For?“, ed. by Monnin, Alexandre; Halpin, Harry; Carr, Leslie, Proceedings of the WWW2012 Conference Workshop PhiloWeb 2012: "Web and Philosophy, Why and What For?", Paper 2, Lyon/France, Apr 17, 2012.
- Souza, Marlo; Moreira, Alvaro; Vieira, Renata; Meyer, John-Jules Ch. (2016) „Integrating Ontology Negotiation and Agent Communication“, in: „Ontology Engineering“, ed. by Tamma, Valentina A.M. et al., 12th International Experiences and Directions Workshop on OWL, OWLED 2015, co-located with ISWC 2015, Bethlehem, PA, USA, October 9-10, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 56-68.
- Sowa, John F. (1984) „Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine“, Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1984.
- Sowa, John F. (1991a) „Knowledge Representation in Databases, Expert Systems, and Natural Language“, in: „Selected Papers“, ed. by Sowa, John F., Thornwood/NY: IBM, 1991, pp. 3-26.
- Sowa, John F. (1991b) „Knowledge Acquisition by Teachable Systems“, in: „Selected Papers“, ed. by Sowa, John F., Thornwood/NY: IBM, 1991, pp. 183-195.
- Sowa, John F. (1991c) „Semantic Networks“, in: „Selected Papers“, ed. by Sowa, John F., Thornwood/NY: IBM, 1991, pp. 41-68.
- Sowa, John F. (1991d) „Towards a Reintegration of AI Research“, in: „Selected Papers“, ed. by Sowa, John F., Thornwood/NY: IBM, 1991, pp. 69-74.
- Sowa, John F. (1991e) „Lexical Structures and Conceptual Structures“, in: „Selected Papers“, ed. by Sowa, John F., Thornwood/NY: IBM, 1991, pp. 137-162.
- Sowa, John F. (1991f) „Finding Structure in Knowledge Soup“, in: „Selected Papers“, ed. by Sowa, John F., Thornwood/NY: IBM, 1991, pp. 197-206.
- Sowa, John F. (1991g) „Using a Lexicon of Canonical Graphs in a Semantic Interpreter“, in: „Selected Papers“, ed. by Sowa, John F., Thornwood/NY: IBM, 1991, pp. 121-136.
- Sowa, John F. (1991h) „Conceptual Analysis as a Basis for Knowledge Acquisition“, in: „Selected Papers“, ed. by Sowa, John F., Thornwood/NY: IBM, 1991, pp. 165-181.

Bibliographie

- Sowa, John F. (1991i) „Crystallizing Theories out of Knowledge Soup“, in: „Selected Papers“, ed. by Sowa, John F., Thornwood/NY: IBM, 1991, pp. 207-223.
- Sowa, John F. (1991j) „Selected Papers“, Thornwood/NY: IBM, 1991.
- Sowa, John F. (1992a) „Conceptual Graphs Summary“, in: „Conceptual Structures“, ed. by Nagle, Timothy E. et al., New York et al.: Horwood, 1992, pp. 3-51.
- Sowa, John F. (1992b) „Toward the Expressive Power of Natural Language“, in: „Principles of Semantic Networks“, ed. by Sowa, John F., San Mateo/CA: Morgan Kaufmann, 1992, pp. 157-189.
- Sowa, John F. (1995) „Top-level Ontological Categories“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 669-685.
- Sowa, John F. (1996) „Processes and Participants“, in: „Conceptual Structures: Knowledge Representation as Interlingua“, ed. by Eklund, Peter W. et al., Proceedings 4th International Conference on Conceptual Structures, ICCS '96 Sydney/Australia, August 19-22, Berlin et al.: Springer, 1996, pp. 1-22.
- Sowa, John F. (1999) „Ontological Categories“, in: „Shapes of Forms: From Gestalt Psychology and Phenomenology to Ontology and Mathematics“, ed. by Albertazzi, Liliana, Dordrecht et al.: Kluwer, 1999, pp. 307-340.
- Sowa, John F. (2000) „Knowledge Representation. Logical, Philosophical, and Computational Foundations“, Pacific Grove et al.: Brooks Cole, 2000.
- Sowa, John F. (2003) „Laws, Facts, and Contexts: Foundations for Multimodal Reasoning“, in: „Knowledge Contributors“, ed. by Hendricks, Vincent F. et al., Dordrecht: Kluwer, 2003, pp. 145-184.
- Sowa, John F. (2005) „Theories, Models, Reasoning, Language, and Truth“, Working Paper, 2005.
- Sowa, John F. (2006a) „A Dynamic Theory of Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 204-213.
- Sowa, John F. (2006b) „Conceptual Graphs“, in: „Handbook on Architectures of Information Systems“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 295-319.
- Sowa, John F. (2006c) „Worlds, Models and Descriptions“, in: *Studia Logica*, Vol. 84, No. 2, 2006, pp. 323-360.
- Sowa, John F. (2006d) „Peirce's Contributions to the 21st Century“, in: „Conceptual Structures: Inspiration and Application“, ed. by Schärfe, Henrik et al., 14th Int. Conference on Conceptual Structures, ICCS 2006, Aalborg, Denmark, July 16-21, 2006, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 54-69.
- Sowa, John F. (2008) „Conceptual Graphs“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 213-237.
- Sowa, John F. (2010) „The Role of Logic and Ontology in Language and Reasoning“, in: „Theory and Applications of Ontology: Philosophical Perspectives“, ed. by Poli, Roberto; Seibt, Johanna, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 231-263.
- Sowa, John F. (2011) „Future Directions for Semantic Systems“, in: „Intelligent-Based Systems Engineering“, ed. by Tolk, Andreas; Jain, Lakhmi C., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 23-47.
- Sowa, John F. (2014) „Why has AI Failed? And How Can It Succeed?“, in: *Computación y Sistemas*, Vol. 18, No. 3, 2014, pp. 433-437.
- Sowa, John F. (2015) „Signs and Reality“, in: *Applied Ontology*, Vol. 10, No. 3-4, 2015, pp. 273-284.
- Sowa, John F. (2016) „The Virtual Reality of the Mind“, in: *Procedia Computer Science*, Vol. 88, 2016, pp. 139-144.
- Sowa, John F.; Way, Eileen C. (1986) „Implementing a Semantic Interpreter Using Conceptual Graphs“, in: *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 30, No. 1, 1986, pp. 57-69.
- Sowa, John F.; Zachman, John A. (1992a) „A Logic-Based Approach to Enterprise Integration“, in: „Enterprise Integration Modeling“, ed. by Petrie, Charles J., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1992, pp. 152-163.
- Sowa, John F.; Zachman, John A. (1992b) „Extending and Formalizing the Framework for Information Systems Architecture“, in: *IBM Systems Journal*, Vol. 31, No. 3, 1992, pp. 590-616.
- Spaccapietra, Stefano et al. (2005) „Report on Modularization of Ontologies“, EU-IST Network of Excellence (NoE) IST-2004-507482 KWEB, Deliverable D2.1.3.1 (WP2.1), 2005.
- Spaccapietra, Stefano; Parent, Christine; Vangenot, Christelle; Cullot, Nadine (2004) „On Using Conceptual Modeling for Ontologies“, in: „Web Information Systems - WISE 2004 Workshops“, ed. by Bussler, Christoph et al., WISE 2004 International Workshops, Brisbane, Australia, November 22-24, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 22-33.

Bibliographie

- Spaemann, Robert (1989) „Teleologie“, in: „Handlexikon zur Wissenschaftstheorie“, hrsg. v. Seiffert, Helmut; Radnitzky, Gerard, 2. Aufl. (unveränd. Nachdr. des 1989 im Verl. Ehrenwirth erschienenen Werkes), München: Dt. Taschenbuch-Verl., 1994, S. 366-368.
- Spaemann, Robert; Löw, Reinhard (1991) „Die Frage Wozu? Geschichte und Wiederentdeckung des teleologischen Denkens“, 3., erw. Aufl., München: Piper, 1991.
- Spafford, Eugene H. (1992) „Computer Viruses - A Form of Artificial Life?“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. 727-745.
- Spafford, Eugene H. (1995) „Computer Viruses as Artificial Life“, in: „Artificial Life. An Overview“, ed. by Langton, Christopher G., Repr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1997, pp. 249-265.
- Spagnuolo, Michela; Falcidieno, Bianca (2009) „3D Media and the Semantic Web“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 24, No. 2, 2009, pp. 90-96.
- Spath, Dieter (Hrsg.) (2013) „Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0“, Stuttgart: Fraunhofer Verl., 2013.
- Spear, Andrew D. (2006) „Ontology for the Twenty First Century: An Introduction with Recommendations“, IFOMIS Saarbrücken, Germany, 2006.
- Spear, Andrew D. (2007) „The Relationship of Philosophy to Science in the Information Age: A Proposal for Understanding Information Ontology“, Graduate Student Conference on the Philosophy of Science, Univ. at Buffalo, April 14, 2007.
- Spears, William M.; Gordon, Diana F. (1999) „Using Artificial Physics to Control Agents“, in: 1999 International Conference on Information Intelligence and Systems (ICIIS'99), 1999, pp. 281-288.
- Spector, Lee (2006) „Evolution of Artificial Intelligence“, in: Artificial Intelligence, Vol. 170, No. 18, 2006, pp. 1251-1253.
- Speel, Piet-Hein; Schreiber, Guus; van Joolingen, Wouter; van Heijst, Gertjan; Beijer, Gertjan (2001) „Conceptual Modeling for Knowledge-Based Systems“, in: „Encyclopedia of Computer Science and Technology, Vol. 44“, ed. by Kent, Allen; Williams, James G., New York: Dekker, 2001, pp. 107-132.
- Speiser, Sebastian; Harth, Andreas (2011) „Integrating Linked Data and Services with Linked Data Services“, in: „The Semantic Web: Research and Applications“, ed. by Antoniou, Grigoris et al., 8th Extended Semantic Web Conference, ESWC 2011, Heraklion, Crete/Greece, May 29-June 2, 2011, Proceedings, Part I, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 170-184.
- Spencer, J. Brookes (1967) „Boscovich's Theory and its Relation to Faraday's Researches: An Analytic Approach“, in: Archive for History of Exact Sciences, Vol. 4, No. 3, 1967, pp. 184-202.
- Sperner, Klaus; Meyer, Sonja; Magerkurth, Carsten (2011) „Introducing Entity-Based Concepts to Business Process Modeling“, in: „Business Process Model and Notation“, ed. by Dijkman, Remco et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 166-171.
- Sperry, Roger W. (1969) „A Modified Concept of Consciousness“, in: Psychological Review, Vol. 76, No. 6, 1969, pp. 532-536.
- Sperry, Roger W. (1991) „In Defense of Mentalism and Emergent Interaction“, in: Journal of Mind and Behavior, Vol. 12, No. 2, 1991, pp. 221-245.
- Spieß, Patrik; Karnouskos, Stamatis; Guinard, Dominique; Savio, Domnic; Baecker, Oliver et al. (2009) „SOA-based Integration of the Internet of Things in Enterprise Services“, IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2009), 2009, pp. 968-975.
- Spinoza, Baruch de (1677) „Ethik in geometrischer Ordnung dargestellt“, Hamburg: Meiner, 1999.
- Spohrer, Jim; Anderson, Laura C.; Pass, Norman J.; Ager, Tryg; Gruhl, Daniel (2008) „Service Science“, in: Journal of Grid Computing, Vol. 6, No. 3, 2008, pp. 313-324.
- Spohrer, Jim; Vargo, Stephen L.; Caswell, Nathan; Maglio, Paul P. (2008) „The Service System is the Basic Abstraction of Service Science“, IEEE Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Waikoloa/HI, 7-10 Jan., 2008, pp. 104-113.
- Spranger, Eduard (1924) „Psychologie des Jugendalters“, 3., durchges. Aufl., Leipzig: Quelle und Meyer, 1925.
- Spreeuwenberg, Silvie (2008) „SBVR: Observations from Initial Experiences“, in: Business Rules Journal, Vol. 9, No. 3, 2008.
- Spreeuwenberg, Silvie; Gerrits, Rik (2005) „Business Rules in the Semantic Web, are there any or are they different?“, 2005.
- Sprevak, Mark (2005) „The Frame Problem and the Treatment of Prediction“, in: „Computing, Philosophy and Cognition“, ed. by Magnani, Lorenzo; Dossena, Riccardo, Proceedings of the European Computing and Philosophy Conference (ECAP 2004), London: College Publ., 2005, pp. 349-359.

Bibliographie

- Srinivasiengar, K.R. (1934) „Emergent Evolution: An Indian View“, in: *Philosophical Review*, Vol. 43, No. 6, 1934, pp. 598-606.
- Staab, Steffen; Mädche, Alexander (2000) „Axioms are Objects, too - Ontology Engineering beyond the Modeling of Concepts and Relations“, Working Paper, 2000.
- Stace, Walter T. (1939) „Novelty, Indeterminism, and Emergence“, in: *Philosophical Review*, Vol. 48, No. 3, 1939, pp. 296-310.
- Stace, Walter T. (1944) „Russell's Neutral Monism“, in: „The Philosophy of Bertrand Russell“, ed. by Schilpp, Paul Arthur, 3rd ed., New York: Tudor Publ., 1951, pp. 351-384.
- Stace, Walter T. (1949) „Metaphysics and Existence“, in: *Philosophy and Phenomenological Research*, Vol. 9, No. 3, 1949, pp. 458-462.
- Stachowiak, Herbert (1973) „Allgemeine Modelltheorie“, Wien, New York: Springer, 1973.
- Stackowiak, Robert; Licht, Art; Mantha, Venu; Nagode, Louis (2015) „Big Data and the Internet of Things. Enterprise Information Architecture for a New Age“, Berkeley/CA: Apress, 2015.
- Stadler, Michael; Haynes, John-D. (1999) „Physikalische Komplexität und kognitive Strukturerkennung“, in: „Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Komplexitätsforschung in Deutschland auf dem Weg ins nächste Jahrhundert“, hrsg. v. Mainzer, Klaus, Berlin et al.: Springer, 1999, S. 189-206.
- Stålhane, Tor (2015) „FMEA, HAZID, and Ontologies“, in: „Ontology Modeling in Physical Asset Integrity Management“, ed. by Ebrahimipour, Vahid; Yacout, Soumaya, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 45-85.
- Stalnaker, Robert C. (1979) „Possible Worlds“, in: „The Possible and the Actual. Readings in the Metaphysics of Modality“, ed. by Loux, Michael J., Ithaca et al.: Cornell Univ. Pr., 1979, pp. 225-234.
- Stalnaker, Robert C. (1986a) „Counterparts and Identity“, in: *Midwest Studies in Philosophy*, Vol. 11, No. 1, 1986, pp. 121-140.
- Stalnaker, Robert C. (1986b) „Possible Worlds and Situations“, in: *Journal of Philosophical Logic*, Vol. 15, No. 1, 1986, pp. 109-123.
- Stalnaker, Robert C. (1995) „Modalities and Possible Worlds“, in: „A Companion to Metaphysics“, ed. by Kim, Jaegwon; Sosa, Ernest, Oxford et al.: Blackwell, 1995, pp. 333-337.
- Standish, Russell K. (2001) „On Complexity and Emergence“, in: *Complexity International*, Vol. 9, 2001, pp. 1-6.
- Stanescu, Bogdan; Boicu, Cristina; Balan, Gabriel; Barbulescu, Marcel; Boicu, Mihai; Tecuci, Gheorghe (2003) „Ontologies for Learning Agents: Problems, Solutions and Directions“, in: „ODS 2003“, ed. by Giunchiglia, Fausto et al., Proceedings of the IJCAI-03 Workshop on Ontologies and Distributed Systems, Acapulco, August 9th, 2003.
- Stanik, Alexander; Hovestadt, Matthias; Kao, Odej (2012) „Hardware as a Service (HaaS): The Completion of the Cloud Stack“, 8th International Conference on Computing Technology and Information Management (ICCM), Seoul/South Korea, 24-26 April, 2012, pp. 830-835.
- Stankovic, John A. (2014) „Research Directions for the Internet of Things“, in: *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 1, No. 1, 2014, pp. 3-9.
- Stark, Jeannette; Esswein, Werner (2012) „Rules from Cognition for Conceptual Modelling“, in: „Conceptual Modeling“, ed. by Atzeni, Paolo et al., 31st Int. Conference ER 2012, Florence, Italy, October 15-18, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 78-87.
- Stark, John (2007) „Global Product. Strategy, Product Lifecycle Management and the Billion Customer Question“, London: Springer, 2007.
- Stark, John (2011) „Product Lifecycle Management. 21st Century Paradigm for Product Realisation“, 2nd ed., London et al.: Springer, 2011.
- Stark, Rainer; Pförtner, Anne (2015) „Integrating Ontology into PLM-Tools to Improve Sustainable Product Development“, in: *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 64, No. 1, 2015, pp. 157-160.
- Starke, Günther; Kunkel, Thomas; Hahn, Daniel (2013) „Flexible Collaboration and Control of Heterogeneous Mechatronic Devices and Systems by Means of an Event-Driven, SOA-based Automation Concept“, IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Cape Town, 25-28 Feb., 2013, pp. 1982-1987.
- Starks, Fabrice; Goebel, Vera; Kristiansen, Stein; Plagemann, Thomas (2018) „Mobile Distributed Complex Event Processing-Ubi Sumus? Quo Vadimus?“, in: „Mobile Big Data: A Roadmap from Models to Technologies“, ed. by Skourletopoulos, Georgios et al., Cham et al.: Springer, 2018, pp. 147-180.
- Staub-French, Sheryl; Khanzode, Atul (2007) „3D and 4D Modeling for Design and Construction Coordination: Issues and Lessons Learned“, in: *ITcon*, Vol. 12, 2007, pp. 381-407.

Bibliographie

- Steels, Luc (1994) „Emergent Functionality in Robotic Agents through On-Line Evolution“, in: „Artificial Life IV. Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Brooks, Rodney A.; Maes, Pattie, 3rd Pr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1996, pp. 8-14.
- Steels, Luc (1995) „The Artificial Life Roots of Artificial Intelligence“, in: „Artificial Life. An Overview“, ed. by Langton, Christopher G., Repr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1997, pp. 75-110.
- Steels, Luc (1997) „Self-Organizing Vocabularies“, in: „Artificial Life V. Proceedings of the Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems“, ed. by Langton, Christopher G.; Shimohara, Katsunori, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1997, pp. 179-184.
- Steels, Luc (2006) „Semiotic Dynamics for Embodied Agents“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 21, No. 3, 2006, pp. 32-38.
- Steels, Luc (2007) „Fifty Years of AI: From Symbols to Embodiment - and Back“, in: „50 Years of Artificial Intelligence“, ed. by Lungarella, Max et al., Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 18-28.
- Steels, Luc; Brooks, Rodney A. (eds.) (1995) „The Artificial Life Route to Artificial Intelligence: Building Embodied, Situated Agents“, Hillsdale/NJ: Erlbaum, 1995.
- Stefaneas, Petros; Vandoulakis, Ioannis M. (2014) „The Web as a Tool for Proving“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 149-167.
- Stefik, Mark J. (1979) „An Examination of a Frame-Structured Representation System“, Proceedings of the Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-79), Volume Two, Tokyo, August 20-23, 1979, pp. 845-852.
- Stefik, Mark J.; Aikins, Jan; Balzer, Robert; Benoit, John; Birnbaum, Lawrence; Hayes-Roth, Frederick; Sacerdoti, Earl (1982) „The Organization of Expert Systems, A Tutorial“, in: Artificial Intelligence, Vol. 18, No. 2, 1982, pp. 135-173.
- Stegmüller, Horst (2003) „Zeit fürs Wesentliche. Audi erprobt semantische Technologien“, in: Digital Engineering Magazin, Nr. 4, 2003, S. 44-45.
- Stegmüller, Wolfgang (1954) „Metaphysik, Wissenschaft, Skepsis“, Frankfurt/Main, Wien: Humboldt-Verl., 1954.
- Stegmüller, Wolfgang (1969) „Metaphysik, Skepsis, Wissenschaft“, 2., verb. Aufl., Berlin et al.: Springer, 1969.
- Stegmüller, Wolfgang (1973) „Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie. Bd. 2: Theorie und Erfahrung; Teilbd. 2: Theorienstrukturen und Theoriendynamik“, Berlin et al.: Springer, 1973.
- Stegmüller, Wolfgang (1978) „Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie. Eine kritische Einführung“, Bd. 1; 6., erw. Aufl., Stuttgart: Kröner, 1978.
- Stegmüller, Wolfgang (1979a) „The Structuralist View of Theories. A Possible Analogue of the Bourbaki Programme in Physical Science“, Berlin et al.: Springer, 1979.
- Stegmüller, Wolfgang (1979b) „Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie. Eine kritische Einführung“, Bd. 2; 6., erw. Aufl., Stuttgart: Kröner, 1979.
- Stegmüller, Wolfgang (1986) „Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie. Bd. 2: Theorie und Erfahrung; Teilbd. 3: Die Entwicklung des neuen Strukturalismus seit 1973“, Berlin et al.: Springer, 1986.
- Stegmüller, Wolfgang (1987) „Hauptströmungen der Gegenwartsphilosophie. Eine kritische Einführung“, Bd. 3; 8. Aufl., Stuttgart: Kröner, 1987.
- Stegmüller, Wolfgang; Balzer, Wolfgang; Spohn, Wolfgang (eds.) (1982) „Philosophy of Economics“, Berlin et al.: Springer, 1982.
- Steimann, Friedrich; Nejd, Wolfgang (1999) „Modellierung und Ontologie“, Arbeitsbericht, Institut für Rechnergestützte Wissensverarbeitung, Univ. Hannover, 1999.
- Stein, Howard (1993) „On Philosophy and Natural Philosophy in the Seventeenth Century“, in: „Midwest Studies in Philosophy, Vol. 18: Philosophy of Science“, ed. by French, Peter A. et al., Notre Dame/Ind.: Univ. of Notre Dame Pr., 1993, pp. 177-201.
- Stein, Lynn Andrea (1990) „An Atemporal Frame Problem“, in: International Journal of Expert Systems, Vol. 3, No. 4, 1990, pp. 371-381.
- Steinhart, Eric (1998) „Digital Metaphysics“, in: „The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy“, ed. by Bynum, Terrell W.; Moor, James H., Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 117-134.

Bibliographie

- Stell, John G.; West, Matthew (2004) „A Four-Dimensionalist Mereotopology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 261-272.
- Stengers, Isabelle (2008) „Achieving Coherence: The Importance of Whitehead's 6th Category of Existence“, in: „Researching with Whitehead: System and Adventure“, ed. by Riffert, Franz; Sander, Hans-Joachim, Freiburg, München: Alber, 2008, pp. 59-79.
- Stengers, Isabelle (2011) „Thinking with Whitehead. A Free and Wild Creation of Concepts“, Cambridge/Mass.: Harvard Univ. Pr., 2011.
- Stenzhorn, Holger; Schulz, Stefan; Beisswanger, Elena; Hahn, Udo; Van den Hoek, László; Van Mulligen, Erik (2008) „BioTop and ChemTop - Top-Domain Ontologies for Biology and Chemistry“, in: „ISWC2008 Posters and Demonstrations“, ed. by Bizer, Christian; Joshi, Anupam, Proceedings of the Poster and Demonstration Session at the 7th International Semantic Web Conference (ISWC2008), Karlsruhe, Germany, October 28, 2008.
- Stephan, Achim (1992) „Emergence - A Systematic View on its Historical Facets“, in: „Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism“, ed. by Beckermann, Ansgar et al., Berlin, New York: De Gruyter, 1992, pp. 25-48.
- Stephan, Achim (1996) „John Stuart Mills doppelte Vaterschaft für den Britischen Emergentismus“, in: Archiv für Geschichte der Philosophie, Bd. 78, 1996, S. 277-308.
- Stephan, Achim (1997) „Armchair Arguments Against Emergentism“, in: Erkenntnis, Vol. 46, No. 3, 1997, pp. 305-314.
- Stephan, Achim (1999) „Emergenz. Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation“, zugl. Habil.-Schr., TH Karlsruhe, Dresden, München: Dresden Univ. Pr., 1999.
- Stephan, Achim (2001) „Emergenz in kognitionsfähigen Systemen“, in: „Neurowissenschaften und Philosophie“, hrsg. v. Pauen, Michael; Roth, Gerhard, München: Fink, 2001, S. 123-154.
- Stephan, Achim (2006) „The Dual Role of 'Emergence' in the Philosophy of Mind and in Cognitive Science“, in: Synthese, Vol. 151, 2006, pp. 485-498.
- Stephens, Larry M.; Gangam, Aurovinda K.; Huhns, Michael N. (2003) „Developing Consensus Ontologies for the Semantic Web“, Proceedings of the Workshop on Semantic Integration, Sanibel Island/FL, October, 2003, pp. 86-92.
- Stephens, Larry M.; Gangam, Aurovinda K.; Huhns, Michael N. (2004) „Constructing Consensus Ontologies for the Semantic Web: A Conceptual Approach“, in: World Wide Web Journal, Vol. 7, No. 4, 2004, pp. 421-442.
- Stephens, Larry M.; Huhns, Michael N. (2001) „Consensus Ontologies. Reconciling the Semantics of Web Pages and Agents“, in: IEEE Internet Computing, Vol. 5, No. 5, 2001, pp. 92-95.
- Sterling, Bruce (2005) „Shaping Things“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 2005.
- Stevens, Robert; Lord, Phillip (2009) „Application of Ontologies in Bioinformatics“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 735-756.
- Stevenson, Graeme; Knox, Stephen; Dobson, Simon; Nixon, Paddy (2009) „Ontonym: A Collection of Upper Ontologies for Developing Pervasive Systems“, Proceedings of the 1st Workshop on Context, Information and Ontologies (CIAO '09), Article No. 9, New York/NY: ACM, 2009.
- Steward, Helen (1997) „The Ontology of Mind. Events, Processes, and States“, Oxford: Clarendon Pr., 1997.
- Stewart, John (1992) „Life = Cognition: The Epistemological and Ontological Significance of Artificial Life“, in: „Toward a Practice of Autonomous Systems. Proceedings of the First European Conference on Artificial Life“, ed. by Varela, Francisco J.; Bourgine, Paul, 2nd Pr., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1994, pp. 475-483.
- Stewart, John (1995) „Cognition = Life: Implications for Higher-level Cognition“, in: Behavioural Processes, Vol. 35, No. 1-3, 1995, pp. 311-326.
- Stewart, John (1997) „Evolutionary Transitions and Artificial Life“, in: Artificial Life, Vol. 3, No. 2, 1997, pp. 101-120.
- Stichweh, Rudolf (1998) „Systems Theory and the Evolution of Science“, in: „Systems. New Paradigms for the Human Sciences“, ed. by Altmann, Gabriel; Koch, Walter A., Berlin, New York: De Gruyter, 1998, pp. 303-317.
- Stiefel, Patrick D.; Müller, Jörg P. (2007) „ICT Interoperability Challenges in Decentral, Cross-Enterprise Product Engineering“, in: „Enterprise Interoperability II. New Challenges and Approaches“, ed. by Gonçalves, Ricardo J. et al., London: Springer, 2007, pp. 171-182.

Bibliographie

- Stiegler, Bernard (2014) „Afterword: Web Philosophy“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 187-198.
- Stiller, Niklas (1979) „Ordnung durch Fluktuation. Ein Gespräch mit Ilya Prigogine, Nobelpreis für Chemie 1977“, Krefeld: Sassafras Verl., 1979.
- Stjernberg, Fredrik (2009) „Strawson's Descriptive Metaphysics - Its Scope and Limits“, in: *Organon F*, Vol. 16, No. 4, 2009, pp. 529-541.
- Stock, Wolfgang G.; Stock, Mechthild (2008) „Wissensrepräsentation“, München: Oldenbourg, 2008.
- Stocker, Markus; Rönkkö, Mauno; Kolehmainen, Mikko (2012) „Making Sense of Sensor Data Using Ontology: A Discussion for Road Vehicle Classification“, 2012.
- Stocker, Markus; Rönkkö, Mauno; Kolehmainen, Mikko (2014a) „Abstractions from Sensor Data with Complex Event Processing and Machine Learning“, ed. by Ames, Daniel P. et al., International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 7th Intl. Congress on Env. Modelling and Software, San Diego/CA, USA, 2014, pp. 1273-1280.
- Stocker, Markus; Rönkkö, Mauno; Kolehmainen, Mikko (2014b) „Towards an Ontology for Situation Assessment in Environmental Monitoring“, ed. by Ames, Daniel P. et al., Int. Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 7th Int. Congress on Env. Modelling and Software, San Diego/CA, USA, 2014, pp. 1281-1288.
- Stöckler, Manfred (1991) „A Short History of Emergence and Reductionism“, in: „The Problem of Reductionism in Science“, ed. by Agazzi, Evandro, Dordrecht et al.: Kluwer, 1991, pp. 71-90.
- Stojanovic, Nenad; Artikis, Alexander (2011) „On Complex Event Processing for Real-Time Situational Awareness“, in: „Rule-Based Reasoning, Programming, and Applications“, ed. by Bassiliades, Nick et al., 5th International Symposium, RuleML 2011 - Europe, Barcelona, Spain, July 19-21, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 114-121.
- Stollberg, Michael; Fensel, Dieter (2010) „Semantics for Service-Oriented Architectures“, in: „Agent-Based Service-Oriented Computing“, ed. by Griffiths, Nathan; Chao, Kuo-Ming, London: Springer, 2010, pp. 113-139.
- Stout, George F. (1921) „The Nature of Universals and Propositions“, British Academy Lecture, Oxford: Oxford Univ. Pr., 1921.
- Stout, George F. (1923) „Symposium: Are the Characteristics of Particular Things Universal or Particular?“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, Supplementary Volumes, Vol. 3, 1923, pp. 114-122.
- Stout, Rowland (1997) „Processes“, in: *Philosophy*, Vol. 72, No. 279, 1997, pp. 19-27.
- Strang, Thomas; Linnhoff-Popien, Claudia (2003) „Service Interoperability on Context Level in Ubiquitous Computing Environments“, International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Education, Science, Medicine, and Mobile Technologies on the Internet, L'Aquila/Italy, 2003.
- Stratasys (2015) „Converting CAD To STL“, 2015.
- Strawson, Peter F. (1959) „Individuals. An Essay in Descriptive Metaphysics“, London: Methuen, 1959.
- Strawson, Peter F. (1981) „Die Grenzen des Sinns. Ein Kommentar zu Kants Kritik der reinen Vernunft“, Königstein/Ts.: Hain, 1981.
- Strawson, Peter F. (1987) „Skeptizismus und Naturalismus“, Frankfurt/Main: Athenäum, 1987.
- Strawson, Peter F. (1992) „Analysis and Metaphysics. An Introduction to Philosophy“, Oxford, New York et al.: Oxford Univ. Pr., 1992.
- Strawson, Peter F. (2006) „A Category of Particulars“, in: „Universals, Concepts and Qualities. New Essays on Meaning of Predicates“, ed. by Strawson, Peter F.; Chakrabarti, Arindam, Aldershot et al.: Ashgate, 2006, pp. 301-308.
- Stuart, Susan A.J.; Dobbyn, Chris (2002) „A Kantian Prescription for Artificial Conscious Experience“, in: *Leonardo*, Vol. 35, No. 4, 2002, pp. 407-411.
- Stuckenschmidt, Heiner; Parent, Christine; Spaccapietra, Stefano (eds.) (2009) „Modular Ontologies: Concepts, Theories and Techniques for Knowledge Modularization“, Berlin et al.: Springer, 2009.
- Stuckenschmidt, Heiner; Van Harmelen, Frank; Bouquet, Paolo; Giunchiglia, Fausto; Serafini, Luciano (2004) „Using C-OWL for the Alignment and Merging of Medical Ontologies“, in: „KR-MED 2004“, ed. by Hahn, Udo, Proceedings of the KR 2004 Workshop on Formal Biomedical Knowledge Representation, Whistler/BC, Canada, 1 June, 2004, pp. 88-101.
- Studer, Rudi; Benjamins, V. Richard; Fensel, Dieter (1998) „Knowledge Engineering: Principles and Methods“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 25, No. 1-2, 1998, pp. 161-197.

Bibliographie

- Stühmer, Roland (2014) „Web-oriented Event Processing“, Karlsruhe, KIT, Diss., Karlsruhe: Karlsruhe Scientific Publishing, 2014.
- Stutterheim, Christiane von; Andermann, Martin; Carroll, Mary; Flecken, Monique; Schmiedtová, Barbara (2012) „How Grammaticized Concepts Shape Event Conceptualization in Language Production: Insights from Linguistic Analysis, Eye Tracking Data, and Memory Performance“, in: *Linguistics*, Vol. 50, No. 4, 2012, pp. 833-867.
- Su, Xiang; Zhang, Hao; Riekkki, Jukka; Keränen, Ari; Nurminen, Jukka K.; Du, Libin (2014) „Connecting IoT Sensors to Knowledge-based Systems by Transforming SenML to RDF“, in: *Procedia Computer Science*, Vol. 32, 2014, pp. 215-222.
- Suchanek, Fabian M.; Kasneci, Gjergji; Weikum, Gerhard (2007) „YAGO: A Core of Semantic Knowledge Unifying WordNet and Wikipedia“, *Proceedings of the 16th International Conference on World Wide Web (WWW '07)*, May 8-12, 2007, Banff/Canada, New York/NY: ACM Pr., 2007, pp. 697-706.
- Suchanek, Fabian M.; Kasneci, Gjergji; Weikum, Gerhard (2008) „YAGO: A Large Ontology from Wikipedia and WordNet“, in: *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, Vol. 6, No. 3, 2008, pp. 203-217.
- Suchman, Lucy A. (1985) „Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication“, Xerox Corporation, Palo Alto Research Centers, Corporate Accession P85-00005, Palo Alto/CA, 1985.
- Suda, Hiroharu (1989) „Future Factory System Formulated in Japan (1)“, in: *Techno Japan*, Vol. 22, No. 10, 1989, pp. 15-25.
- Suda, Hiroharu (1990) „Future Factory System Formulated in Japan (2)“, in: *Techno Japan*, Vol. 23, No. 3, 1990, pp. 51-61.
- Sudarsan, Rachuri; Fenves, Steven J.; Sriram, Ram D.; Wang, Fujun (2005) „A Product Information Modeling Framework for Product Lifecycle Management“, in: *Computer-Aided Design*, Vol. 37, No. 13, 2005, pp. 1399-1411.
- Sugumaran, Vijayan; Storey, Veda C. (2002) „Ontologies for Conceptual Modeling: Their Creation, Use, and Management“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 42, No. 3, 2002, pp. 251-271.
- Suh, Suk-Hwan; Shin, S.-J.; Yoon, Joo-Sung; Um, Jumyung (2008) „UbiDM: A New Paradigm for Product Design and Manufacturing via Ubiquitous Computing Technology“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 21, No. 5, 2008, pp. 540-549.
- Suh, Suk-Hwan; Yoon, Joo-Sung; Yoon, Soo-Cheol (2011) „Ubiquitous Factory: Vision, Architecture and Methodology“, in: *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 44, No. 1, 2011, pp. 1608-1613.
- Sukys, Algirdas; Nemuraite, Lina; Paradauskas, Bronius (2012a) „Representing and Transforming SBVR Question Patterns into SPARQL“, ed. by Skersys, T. et al., Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 436-451.
- Sukys, Algirdas; Nemuraite, Lina; Paradauskas, Bronius; Sinkevicius, Edvinas (2011) „SBVR Based Representation of SPARQL Queries and SWRL Rules for Analyzing Semantic Relations“, 2011.
- Sukys, Algirdas; Nemuraite, Lina; Paradauskas, Bronius; Sinkevicius, Edvinas (2012b) „Transformation Framework for SBVR based Semantic Queries in Business Information Systems“, 2012.
- Sullins, John P., III (1997) „Gödel's Incompleteness Theorems and Artificial Life“, in: *Techné: Journal of the Society for Philosophy & Technology*, Vol. 2, No. 3/4, 1997, pp. 141-157.
- Sullivan, Rob (2012) „Introduction to Data Mining for the Life Sciences“, New York et al.: Humana Pr., 2012.
- Sun, Li; Huang, Wei Min; Ding, Zheng; Zhao, Yong; Wang, Chang Chun; Purnawali, Hendra; Tang, Cheng (2012) „Stimulus-Responsive Shape Memory Materials: A Review“, in: *Materials and Design*, Vol. 33, 2012, pp. 577-640.
- Sun, Xi; Gao, Bo; Fan, Liya; An, Wenhao (2012) „A Cost-effective Approach to Delivering Analytics as a Service“, *IEEE 19th International Conference on Web Services (ICWS)*, Honolulu/HI, 24-29 June, 2012, pp. 512-519.
- Sun, Zhaohao; Zou, Huasheng; Strang, Kenneth (2015) „Big Data Analytics as a Service for Business Intelligence“, in: „Open and Big Data Management and Innovation“, ed. by Janssen, Marijn et al., 14th IFIP WG 6.11 Conference on e-Business, e-Services, and e-Society, I3E 2015, Delft, The Netherlands, October 13-15, 2015, *Proceedings*, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 200-211.
- Sundin, Erik; Östlin, Johan; Öhrwall Rönnbäck, Anna; Lindahl, Mattias; Ölundh Sandström, Gunilla (2008) „Remanufacturing of Products used in Product Service System Offerings“, in: „Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier“, ed. by Mitsuishi, Mamoru et al., The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems May 26-28, 2008, Tokyo, Japan, London: Springer, 2008, pp. 537-542.
- Sungur, C. Timurhan; Spiess, Patrik; Oertel, Nina; Kopp, Oliver (2013) „Extending BPMN for Wireless Sensor Networks“, *IEEE International Conference on Business Informatics*, 2013, pp. 109-116.

Bibliographie

- Sunkle, Sagar; Kulkarni, Vinay; Roychoudhury, Suman (2013) „Analyzing Enterprise Models Using Enterprise Architecture-Based Ontology“, in: „Model-Driven Engineering Languages and Systems“, ed. by Moreira, Ana et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 622-638.
- Suppe, Frederick (ed.) (1974) „The Structure of Scientific Theories“, Urbana et al.: Univ. of Illinois Pr., 1974.
- Suppes, Patrick (1957) „Introduction to Logic“, New York et al.: D. Van Nostrand, 1957.
- Suppes, Patrick (1965) „Logics Appropriate to Empirical Theories“, in: „The Theory of Models“, ed. by Addison, John W.; Henkin, Leon; Tarski, Alfred, Amsterdam: North-Holland, 1965, pp. 364-375.
- Suppes, Patrick (1976a) „Some Remarks about Complexity“, in: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Vol. 1976, Volume Two: Symposia and Invited Papers, 1976, pp. 543-547.
- Suppes, Patrick (1991) „Can Psychological Software be Reduced to Physiological Hardware?“, in: „The Problem of Reductionism in Science“, ed. by Agazzi, Evandro, Dordrecht et al.: Kluwer, 1991, pp. 183-198.
- Suppes, Patrick (2002) „Representation and Invariance of Scientific Structures“, Stanford/CA: CSLI Publications, 2002.
- Suppes, Patrick (ed.) (1976b) „Logic and Probability in Quantum Mechanics“, Dordrecht, Boston: D. Reidel, 1976.
- Sure, York; Staab, Steffen; Studer, Rudi (2009) „Ontology Engineering Methodology“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 135-152.
- Suryanarayanan, Vinoth; Theodoropoulos, Georgios; Lees, Michael (2013) „PDES-MAS: Distributed Simulation of Multi-Agent Systems“, in: Procedia Computer Science, Vol. 18, 2013, pp. 671-681.
- Svetlichny, George (1992) „Quantum Logic and Physics“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 31, No. 9, 1992, pp. 1797-1802.
- Svozil, Karl (1995) „How Real are Virtual Realities, How Virtual is Reality? - Constructive Re-interpretation of Physical Undecidability“, in: Complexity, Vol. 1, No. 4, 1995, pp. 43-54.
- Swain, Abinash K.; Sen, Dibakar; Gurumoorthy, Balan (2010) „Associativity Between Product Model and Process Model“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 3-14.
- Swartout, William R.; Neches, Robert; Patil, Ramesh (1993) „Knowledge Sharing: Prospects and Challenges“, Proceedings of the International Conference on Building and Sharing of Very Large-Scale Knowledge Bases '93, Tokyo/Japan, 1993.
- Swartout, William R.; Patil, Ramesh; Knight, Kevin; Russ, Thomas A. (1997) „Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies“, AAI Technical Report SS-97-06, AAI, 1997, pp. 138-148.
- Swartout, William R.; Tate, Austin (1999) „Ontologies“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 14, No. 1, 1999, pp. 18-19.
- Syldatke, Thomas; Chen, Willy; Angele, Jürgen; Nierlich, Andreas; Ullrich, Mike (2007) „How Ontologies and Rules Help to Advance Automobile Development“, in: „Advances in Rule Interchange and Applications“, ed. by Paschke, Adrian; Biletskiy, Yevgen, International Symposium, RuleML 2007, Orlando, Florida, October 25-26, 2007, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 1-6.
- Szeredi, Péter; Lukácsy, Gergely; Benko, Tamás (2014) „The Semantic Web Explained. The Technology and Mathematics behind Web 3.0“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2014.
- Szykman, Simon; Sriram, Ram D.; Bochenek, Christophe; Racz, Janusz W.; Senfaute, Jocelyn (2000) „Design Repositories: Engineering Design's New Knowledge Base“, in: IEEE Intelligent Systems, Vol. 15, No. 3, 2000, pp. 48-55.
- 't Hoen, Pieter Jan; Tuyls, Karl; Panait, Liviu; Luke, Sean; La Poutré, J.A. (2006) „An Overview of Cooperative and Competitive Multiagent Learning“, in: „Learning and Adaption in Multi-Agent Systems“, ed. by Tuyls, Karl et al., First International Workshop, LAMAS 2005, Utrecht, The Netherlands, July 25, 2005, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 1-46.
- 't Hooft, Gerard (1997) „Complexity in Quantum Gravity“, in: Complexity, Vol. 3, No. 1, 1997, pp. 36-37.
- Taboun, Mohammed S.; Brennan, Robert W. (2016) „Sink Node Embedded, Multi-agent Systems Based Cluster Management in Industrial Wireless Sensor Networks“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 329-338.
- Takagaki, Ken (1990) „A Formalism for Object-based Information Systems Development“, Ph.D. Dissertation, Faculty of Commerce, The University of British Columbia, 1990.

Bibliographie

- Takagaki, Ken; Wand, Yair (1991) „An Object-Oriented Information Systems Model Based on Ontology“, in: „Object Oriented Approach in Information Systems“, ed. by Van Assche, Frans et al., Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 275-296.
- Talcott, Carolyn (2008) „Cyber-Physical Systems and Events“, in: „Software-Intensive Systems and New Computing Paradigms. Challenges and Visions“, ed. by Wirsing, Martin et al., Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 101-115.
- Talia, Domenico (2014) „Towards Internet Intelligent Services Based on Cloud Computing and Multi-Agents“, in: „Advances onto the Internet of Things. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful“, ed. by Gaglio, Salvatore; Lo Re, Giuseppe, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 271-283.
- Taliaferro, Charles (1998) „Taking Common Sense Seriously: The Philosophy of Roderick Chisholm“, in: *Inquiry: An Interdisciplinary Journal of Philosophy*, Vol. 41, No. 3, 1998, pp. 361-369.
- Tamma, Valentina A.M.; Bench-Capon, Trevor (2001a) „A Conceptual Model to Facilitate Knowledge Sharing in Multiagent Systems“, 2001.
- Tamma, Valentina A.M.; Bench-Capon, Trevor (2001b) „An Enriched Knowledge Model for Formal Ontological Analysis“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, *Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01)*, New York: ACM Pr., 2001, pp. 81-92.
- Tamma, Valentina A.M.; Cranefield, Stephen; Finin, Tim; Willmott, Steven (eds.) (2005) „Ontologies for Agents: Theory and Experiences“, Basel et al.: Birkhäuser, 2005.
- Tamma, Valentina A.M.; Phelps, Steve; Dickinson, Ian; Wooldridge, Michael (2005) „Ontologies for Supporting Negotiation in E-Commerce“, in: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 18, 2005, pp. 223-236.
- Tan, Lu; Wang, Neng (2010) „Future Internet: The Internet of Things“, 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), Vol. 5, Chengdu, 20-22 Aug., 2010, pp. V5-376 - V5-380.
- Tan, Xing (2010) „SCOPE: A Situation Calculus Ontology of Petri Nets“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Galton, Antony; Mizoguchi, Riichiro, *Proceedings of the Sixth International Conference (FOIS 2010)*, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 227-240.
- Tan, Ying; Goddard, Steve; Pérez, Lance C. (2008) „A Prototype Architecture for Cyber-Physical Systems“, in: *ACM SIGBED Review*, Vol. 5, No. 1, 2008.
- Tanenbaum, Andrew S.; Van Steen, Maarten (2014) „Distributed Systems. Principles and Paradigms“, 2nd ed., Harlow: Pearson, 2014.
- Tang, Dunbing; Qian, Xiaoming (2008) „Product Lifecycle Management for Automotive Development Focusing on Supplier Integration“, in: *Computers in Industry*, Vol. 59, No. 2-3, 2008, pp. 288-295.
- Tapia, Dante I.; Bajo, Javier; Corchado, Juan M. (2009) „Distributing Functionalities in a SOA-Based Multi-agent Architecture“, ed. by Demazeau, Yves et al., 7th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS 2009), Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 20-29.
- Tarraf, Danielle C. (ed.) (2013) „Control of Cyber-Physical Systems“, Workshop held at Johns Hopkins University, March 2013, Cham et al.: Springer, 2013.
- Tarski, Alfred (1966) „Einführung in die mathematische Logik“, 2., neubearb. Aufl., Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1966.
- Tarski, Alfred (1977) „Die semantische Konzeption der Wahrheit und die Grundlagen der Semantik“, in: „Wahrheitstheorien“, hrsg. v. Skirbekk, Gunnar, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1977, S. 140-188.
- Tartir, Samir; Arpinar, I. Budak; Sheth, Amit P. (2010) „Ontological Evaluation and Validation“, in: „Theory and Applications of Ontology: Computer Applications“, ed. by Poli, Roberto; Healy, Michael; Kameas, Achilles, Dordrecht et al.: Springer, 2010, pp. 115-130.
- Tatematsu, Hirotaka (1983) „Husserls Sicht des Leib-Seele Problems“, in: „Soul and Body in Husserlian Phenomenology: Man and Nature“, ed. by Tymieniecka, Anna-Teresa, Dordrecht et al.: D. Reidel, 1983, pp. 173-181.
- Tavani, Herman T. (2008) „Floridi's Ontological Theory of Informational Privacy: Some Implications and Challenges“, in: *Ethics and Information Technology*, Vol. 10, No. 2-3, 2008, pp. 155-166.
- Tayaran, Elham; Schiffauerova, Andrea (2012) „The Role of Internal and External Sources of Knowledge in the Product Lifecycle in Biotechnology Sector“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 46-57.

Bibliographie

- Taylor, Charles E. (1992) „Fleshing Out' Artificial Life II“, in: „Artificial Life II“, ed. by Langton, Christopher G. et al., Proceedings of the Workshop on Artificial Life held February, 1990 in Santa Fe, New Mexico, Redwood City/CA: Addison-Wesley, 1992, pp. 25-38.
- Taylor, Charles E.; Jefferson, David R. (1995) „Artificial Life as a Tool for Biological Inquiry“, in: „Artificial Life. An Overview“, ed. by Langton, Christopher G., Repr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1997, pp. 1-13.
- Taylor, Hugh; Yochem, Angela; Phillips, Les; Martinez, Frank (2009) „Event-Driven Architecture: How SOA Enables the Real-Time Enterprise“, Upper Saddle River/NJ et al.: Addison-Wesley, 2009.
- Taylor, Kerry; Leidinger, Lucas (2011) „Ontology-Driven Complex Event Processing in Heterogeneous Sensor Networks“, in: „The Semantic Web: Research and Applications“, ed. by Antoniou, Grigoris et al., 8th Extended Semantic Web Conference, ESWC 2011, Heraklion/Crete, Greece, Proceedings, Part II, May 29 - June 2, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 285-299.
- Tegarden, David P.; Schaupp, Ludwig Christian; Dull, Richard B. (2013) „Identifying Ontological Modifications to the Resource-Event-Agent (REA) Enterprise Ontology Using a Bunge-Wand-Weber Ontological Evaluation“, in: Journal of Information Systems, Vol. 27, No. 1, 2013, pp. 105-128.
- Tegmark, Max (1998) „Is 'the Theory of Everything' Merely the Ultimate Ensemble Theory?“, in: Annals of Physics, Vol. 270, No. 1, 1998, pp. 1-51.
- Tegmark, Max (2003) „Parallel Universes“, in: Scientific American, 288, May, 2003, pp. 40-51.
- Tegmark, Max (2008) „The Mathematical Universe“, in: Foundations of Physics, Vol. 38, No. 2, 2008, pp. 101-150.
- Tegmark, Max (2014) „Our Mathematical Universe: My Quest for the Ultimate Nature of Reality“, New York: Knopf, 2014.
- Tegmark, Max; Wheeler, John A. (2001) „100 Years of Quantum Mysteries“, in: Scientific American, Vol. 284, No. 2, 2001, pp. 68-75.
- Tegtmeier, Erwin (1992) „Grundzüge einer kategorialen Ontologie: Dinge, Eigenschaften, Beziehungen, Sachverhalte“, Freiburg, München: Alber, 1992.
- Tegtmeier, Erwin (2004) „The Ontological Problem of Order“, in: „Relations and Predicates“, ed. by Hochberg, Herbert, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2004, pp. 149-160.
- Tegtmeier, Erwin (2008) „Parmenides - Begründer der Substanzphilosophie“, in: „Substantia - sic et non. eine Geschichte des Substanzbegriffs von der Antike bis zur Gegenwart in Einzelbeiträgen“, hrsg. v. Guttschmidt, Holger, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2008, S. 9-16.
- Tegtmeier, Erwin (2010) „Three Ontologies of the Iowa School: Categories and Composition“, in: „Studies in the Ontology of Reinhardt Grossmann“, ed. by Cumpa, Javier, Frankfurt/Main: Ontos, 2010, pp. 211-227.
- Tegtmeier, Erwin (2011) „Categories and Categorical Entities“, in: „Ontological Categories“, ed. by Cumpa, Javier; Tegtmeier, Erwin, Frankfurt/Main: Ontos, 2011, pp. 165-180.
- Tegtmeier, Erwin (Hrsg.) (2000) „Ontologie“, Freiburg, München: Alber, 2000.
- Teilhard de Chardin, Pierre (1955) „Der Mensch im Kosmos“, (dt. Übers. von 'Le Phénomène Humain', Paris: Editions du Seuil, 1955; 3., um ein Nachwort erw. Aufl. der dt. Ausg. von 1959), München: Beck, 2005.
- Teilhard de Chardin, Pierre (1965) „Mein Universum“, (dt. Übers. v. 'Mon Univers' aus 'Science et Christ', Paris: Éditions du Seuil, 1965), Olten: Walter, 1973.
- Teixeira, Thiago; Hachem, Sara; Issarny, Valérie; Georgantas, Nikolaos (2011) „Service Oriented Middleware for the Internet of Things: A Perspective“, in: „Towards a Service-Based Internet“, ed. by Abramowicz, Witold et al., 4th European Conference, ServiceWave 2011, Poznan, Poland, October 26-28, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 220-229.
- Tejada, Pablo Rosales; Jung, Jae-Yoon (2010) „Complex Sensor Event Processing for Business Process Integration“, in: IEICE Transactions on Communications, Vol. E93-B, No. 11, 2010, pp. 2976-2979.
- Telang, Pankaj R.; Singh, Munindar P. (2009) „Business Modeling via Commitments“, in: „Service-Oriented Computing: Agents, Semantics, and Engineering“, ed. by Kowalczyk, Ryszard et al., AAMAS 2009 International Workshop SOCASE 2009, Budapest, Hungary, May 11, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 111-125.
- Teller, Paul (1986) „Relational Holism and Quantum Mechanics“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 37, No. 1, 1986, pp. 71-81.
- Teller, Paul (1992) „A Contemporary Look at Emergence“, in: „Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism“, ed. by Beckermann, Ansgar et al., Berlin, New York: De Gruyter, 1992, pp. 139-153.

Bibliographie

- Temal, Lynda; Rosier, Arnaud; Dameron, Olivier; Burgun, Anita (2010) „Mapping BFO and DOLCE“, in: „MEDINFO 2010“, ed. by Safran, C. et al., IOS Pr., 2010, pp. 1065-1069.
- Tenenberg, Josh D. (1990) „Abandoning the Completeness Assumptions: A Statistical Approach to the Frame Problem“, in: *International Journal of Expert Systems*, Vol. 3, No. 4, 1990, pp. 383-408.
- Teng, Fei; Moalla, Néjib; Bouras, Abdelaziz (2011) „A PPO Model-based Knowledge Management Approach for PLM Knowledge Acquisition and Integration“, *PLM11 - 8th International Conference on Product Lifecycle Management*, 2011, pp. 375-384.
- Tenny, Carol L.; Pustejovsky, James (eds.) (2000) „Events as Grammatical Objects. The Converging Perspectives of Lexical Semantics and Syntax“, Stanford/Calif.: CSLI Publ., 2000.
- Teoh, Joanne Ee Mei; An, Jia; Chua, Chee Kai; Lv, M.; Krishnasamy, V.; Liu, Yong (2017) „Hierarchically Self-morphing Structure Through 4D Printing“, in: *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 12, No. 1, 2017, pp. 61-68.
- Terenziani, Paolo (1995) „Towards a Causal Ontology Coping with the Temporal Constraints Between Causes and Effects“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 43, No. 5-6, 1995, pp. 847-863.
- Terlouw, Linda I.; Albani, Antonia (2013) „An Enterprise Ontology-Based Approach to Service Specification“, in: *IEEE Transactions on Services Computing*, Vol. 6, No. 1, 2013, pp. 89-101.
- Terrasse, Marie-Noëlle; Savonnet, Marinette; Leclercq, Eric; Grison, Thierry; Becker, George (2006) „Do We Need Metamodels AND Ontologies for Engineering Platforms?“, in: *GaMMA '06 Proceedings of the 2006 International Workshop on Global Integrated Model Management*, New York/NY: ACM, 2006, pp. 21-28.
- Terroso-Sáenz, Fernando; Valdés-Vela, Mercedes; Campuzano, Francisco; Botia, Juan A.; Skarmeta-Gómez, Antonio F. (2015) „A Complex Event Processing Approach to Perceive the Vehicular Context“, in: *Information Fusion*, Vol. 21, 2015, pp. 187-209.
- Terzi, Sergio; Bouras, Abdelaziz; Dutta, Debashi; Garetti, Marco; Kiritsis, Dimitris (2010) „Product Lifecycle Management - From its History to its New Role“, in: *International Journal of Product Lifecycle Management*, Vol. 4, No. 4, 2010, pp. 360-389.
- Terziev, Ivan; Kiryakov, Atanas; Manov, Dimitar (2005) „Base Upper-level Ontology (BULO) Guidance“, EU-IST Project IST-2003-506826 SEKT, Deliverable 1.8.1, 2005.
- Teslya, Nikolay; Smirnov, Alexander; Levashova, Tatiana; Shilov, Nikolay (2014) „Ontology for Resource Self-organisation in Cyber-Physical-Social Systems“, in: „Knowledge Engineering and the Semantic Web“, ed. by Klinov, Pavel; Mourontsev, Dmitry, 5th Int. Conference, KESW 2014, Kazan, Russia, September 29-October 1, 2014, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 184-195.
- Textor, Mark (2008) „P.F. Strawson - Substanzen und identifizierende Bezugnahme“, in: „Substantia - sic et non. eine Geschichte des Substanzbegriffs von der Antike bis zur Gegenwart in Einzelbeiträgen“, hrsg. v. Gutschmidt, Holger, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2008, S. 499-520.
- Teymourian, Kia (2012) „Enabling Knowledge-Based Complex Event Processing“, in: „RuleML2012@ECAI Challenge and Doctoral Consortium. 6th International Rule Challenge“, ed. by Ait-Kaci, Hassan et al., Proceedings of the RuleML2012@ECAI Challenge, at the 6th International Symposium on Rules Montpellier, France, August 27th-29th, 2012.
- Teymourian, Kia (2014) „A Framework for Knowledge-Based Complex Event Processing“, Diss., FU Berlin, Department of Mathematics and Computer Science, Institute for Computer Science, 2014.
- Teymourian, Kia; Coskun, Gökhan; Paschke, Adrian (2010) „Modular Upper-Level Ontologies for Semantic Complex Event Processing“, in: „Modular Ontologies“, ed. by Kutz, Oliver et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2010, pp. 81-93.
- Teymourian, Kia; Paschke, Adrian (2009) „Semantic Rule-Based Complex Event Processing“, in: „Rule Interchange and Applications“, ed. by Governatori, Guido et al., International Symposium, RuleML 2009, Las Vegas, Nevada, USA, November 5-7, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 82-92.
- Teymourian, Kia; Rohde, Malte; Hasan, Ahmad; Paschke, Adrian (2011a) „Fusion of Event Stream and Background Knowledge for Semantic-Enabled Complex Event Processing“, in: „DeRiVE 2011“, ed. by Van Erp, Marieke et al., Proceedings of the Workshop on Detection, Representation, and Exploitation of Events in the Semantic Web (DeRiVE 2011), Workshop in conjunction with ISWC 2011, Bonn, October 23, 2011, pp. 122-126.
- Teymourian, Kia; Rohde, Malte; Paschke, Adrian (2011b) „Processing of Complex Stock Market Events Using Background Knowledge“, in: „RuleML2011@BRF Challenge“, ed. by Bragaglia, Stefano et al., Proceedings of the 5th International RuleML2011@BRF Challenge, co-located with the 5th International Rule Symposium, Fort Lauderdale, Florida, USA, November 3-5, 2011.

Bibliographie

- Thagard, Paul (1982) „Artificial Intelligence, Psychology, and the Philosophy of Discovery“, in: PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, Vol. 1982, Volume Two, 1982, pp. 166-175.
- Thagard, Paul (1988) „Computational Philosophy of Science“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1988.
- Thagard, Paul (1998) „Computation and the Philosophy of Science“, in: „The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy“, ed. by Bynum, Terrell W.; Moor, James H., Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 48-61.
- Thalberg, Irving (1985) „A World Without Events?“, in: „Essays on Davidson: Actions and Events“, ed. by Vermazen, Bruce; Hintikka, Merrill B., Oxford et al.: Clarendon Pr., 1985, pp. 137-155.
- Thalheim, Bernhard (2011a) „The Enhanced Entity-Relationship Model“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 165-206.
- Thalheim, Bernhard (2011b) „The Theory of Conceptual Models, the Theory of Conceptual Modelling and Foundations of Conceptual Modelling“, in: „Handbook of Conceptual Modeling. Theory, Practice, and Research Challenges“, ed. by Embley, David W.; Thalheim, Bernhard, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 543-577.
- Thalheim, Bernhard (2012) „The Art of Conceptual Modelling“, in: „Information Modelling and Knowledge Bases XXIII“, ed. by Henno, Jaak et al., Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012, pp. 149-168.
- Thalmann, Daniel; Subhashini, N.; Mohanaprasad, K.; Murugan, M.S. Bala (2018) „Intelligent Embedded Systems“, Select Proceedings of ICNETS2, Vol. II, Singapore et al.: Springer, 2018.
- Thangarajah, John; Harland, James; Morley, David; Yorke-Smith, Neil (2011) „Operational Behaviour for Executing, Suspending, and Aborting Goals in BDI Agent Systems“, in: „Declarative Agent Languages and Technologies VIII“, ed. by Omicini, Andrea et al., 8th International Workshop, DALT 2009, Toronto, Canada, May 10, 2010, Revised Selected and Invited Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 1-21.
- Tharumarajah, A. (2003) „From Fractals and Bionics to Holonics“, in: „Agent-Based Manufacturing. Advances in the Holonic Approach“, ed. by Deen, Sayyed Misbah, Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 11-30.
- Theißen, Manfred; Hai, Ri; Marquardt, Wolfgang (2011) „A Framework for Work Process Modeling in the Chemical Industries“, in: Computers and Chemical Engineering, Vol. 35, 2011, pp. 679-691.
- Theodoratos, Dimitri; Dalamagas, Theodore (2003) „Querying and Integrating Ontologies Viewed as Conceptual Schemas“, in: „Conceptual Modeling - ER 2003“, ed. by Song, Il-Yeol et al., Berlin et al.: Springer, 2003, pp. 548-561.
- Theorin, Alfred; Bengtsson, Kristofer; Provost, Julien; Lieder, Michael; Johnsson, Charlotta et al. (2015) „An Event-Driven Manufacturing Information System Architecture“, in: IFAC-PapersOnLine, Vol. 48, No. 3, 2015, pp. 547-554.
- Thielscher, Michael (1999) „From Situation Calculus to Fluent Calculus: State Update Axioms as a Solution to the Inferential Frame Problem“, in: Artificial Intelligence, Vol. 111, No. 1-2, 1999, pp. 277-299.
- Thiesse, Frederic; Michahelles, Florian (2006) „An Overview of EPC Technology“, in: Sensor Review, Vol. 26, No. 2, 2006, pp. 101-105.
- Thimm, Georg; Lee, Stephen Siang-Guan; Ma, Yongsheng S. (2006) „Towards Unified Modelling of Product Life-Cycles“, in: Computers in Industry, Vol. 57, No. 4, 2006, pp. 331-341.
- Thirunarayan, Krishnaprasad; Sheth, Amit (2013) „Semantics-Empowered Approaches to Big Data Processing for Physical-Cyber-Social Applications“, Proc. AAAI 2013 Fall Symp. Semantics for Big Data, AAAI Technical Report FS-13-04, 2013, pp. 68-75.
- Thoben, Klaus-Dieter; Lewandowski, Marco (2016) „Information and Data Provision of Operational Data for the Improvement of Product Development“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 3-12.
- Thom, René (1976) „Structural Stability and Morphogenesis“, Reading/Mass. et al.: Benjamin, 1976.
- Thoma, Matthias; Meyer, Sonja; Sperner, Klaus; Meissner, Stefan; Braun, Torsten (2012) „On IoT-Services: Survey, Classification and Enterprise Integration“, IEEE International Conference on Green Computing and Communications (GreenCom), Besancon, 20-23 Nov., 2012, pp. 257-260.
- Thomas, Oliver; Fellmann, Michael (2009) „Semantische Prozessmodellierung - Konzeption und informationstechnische Unterstützung einer ontologiebasierten Repräsentation von Geschäftsprozessen“, in: Wirtschaftsinformatik, Nr. 6, 2009, S. 506-518.
- Thomasson, Amie L. (1999) „Fiction and Metaphysics“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1999.
- Thomasson, Amie L. (2002) „Phenomenology and the Development of Analytic Philosophy“, in: Southern Journal of Philosophy, Vol. 40, No. S1, 2002, pp. 115-142.

Bibliographie

- Thomasson, Amie L. (2004) „Methods of Categorization“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Varzi, Achille C.; Vieu, Laure, Proceedings of the Third International Conference (FOIS-2004), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2004, pp. 3-16.
- Thomasson, Amie L. (2007) „Ordinary Objects“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 2007.
- Thomasson, Amie L. (2009) „Artifacts in Metaphysics“, in: „Handbook of Philosophy of Technology and Engineering Sciences“, ed. by Meijers, Anthonie, Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 191-212.
- Thomasson, Amie L. (2014) „Public Artifacts, Intentions, and Norms“, in: „Artefact Kinds. Ontology and the Human-Made World“, ed. by Franssen, Maarten et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 45-62.
- Thomasson, Amie L. (2015) „Ontology Made Easy“, Oxford: Oxford Univ. Pr., 2015.
- Thompson, Evan (1997) „Symbol Grounding: A Bridge from Artificial Life to Artificial Intelligence“, in: Brain and Cognition, Vol. 34, No. 1, 1997, pp. 48-71.
- Thompson, Evan; Varela, Francisco J. (2001) „Radical Embodiment: Neural Dynamics and Consciousness“, in: Trends in Cognitive Sciences, Vol. 5, No. 10, 2001, pp. 418-425.
- Thompson, Manley (1957) „On Category Differences“, in: Philosophical Review, Vol. 66, No. 4, 1957, pp. 486-508.
- Thompson, Stephen; Kilbourn, Michael R.; Scott, Peter J.H. (2016) „Radiochemistry, PET Imaging, and the Internet of Chemical Things“, in: ACS Central Science, Vol. 2, No. 8, 2016, pp. 497-505.
- Thomson, Judith J. (1983) „Parthood and Identity Across Time“, in: Journal of Philosophy, Vol. 80, No. 4, 1983, pp. 201-220.
- Thomson, Judith J. (1998) „The Statue and the Clay“, in: Noûs, Vol. 32, No. 2, 1998, pp. 149-173.
- Thórisson, Kristinn R. (2012) „A New Constructivist AI: From Manual Methods to Self-Constructive Systems“, in: „Theoretical Foundations of Artificial General Intelligence“, ed. by Wang, Pei; Goertzel, Ben, Amsterdam et al.: Atlantis Pr., 2012, pp. 145-171.
- Thórisson, Kristinn R.; Benko, Hrvoje; Abramov, Denis; Arnold, Andrew; Maskey, Sameer; Vaseekaran, Aruchunan (2004) „Constructionist Design Methodology for Interactive Intelligences“, in: AI Magazine, Vol. 25, No. 4, 2004, pp. 77-90.
- Thornton, Christopher J.; Du Boulay, Benedict (1998) „Artificial Intelligence. Strategies, Applications, and Models through SEARCH“, 2nd ed., New York et al.: Amacom, 1998.
- Thrun, Sebastian; Pratt, Lorien (1998) „Learning to Learn: Introduction and Overview“, in: „Learning to Learn“, ed. by Thrun, Sebastian; Pratt, Lorien, New York: Springer, 1998, pp. 3-17.
- Thurstone, Louis L. (1938) „Primary Mental Abilities“, Chicago/Ill.: Univ. of Chicago Pr., 1969.
- Tian, Wen; Gu, Fang; Cao, Cungen (2002) „Designing a Top-level Ontology of Human Beings: A Multi-perspective Approach“, in: Journal of Computer Science and Technology, Vol. 17, No. 5, 2002, pp. 636-656.
- Tibbits, Skylar (2010) „Logic Matter. Digital Logic as Heuristics for Physical Self-Guided-Assembly“, MIT, Department of Architecture & Department of Electrical Engineering and Computer Science, Masters of Science Thesis, 2010.
- Tibbits, Skylar (2012a) „Design to Self-Assembly“, in: Architectural Design, Vol. 82, No. 2, 2012, pp. 68-73.
- Tibbits, Skylar (2012b) „From Digital Materials to Self-Assembly“, ed. by Goulthorpe, Mark; Murphy, Amy, 100th ACSA Annual Meeting Proceedings, Digital Aptitudes, 2012, pp. 232-237.
- Tibbits, Skylar (2014) „4D Printing: Multi-Material Shape Change“, in: Architectural Design, Vol. 84, No. 1, 2014, pp. 116-121.
- Tibbits, Skylar; Cheung, Kenneth C. (2012) „Programmable Materials for Architectural Assembly and Automation“, in: Assembly Automation, Vol. 32, No. 3, 2012, pp. 216-225.
- Tibbits, Skylar; McKnelly, Carrie; Olguin, Carlos; Dikovsky, Daniel; Hirsch, Shai (2014) „4D Printing and Universal Transformation“, ACADIA 14: Design Agency (Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Los Angeles/CA, 23-25 October, 2014, pp. 539-548.
- TIBCO (2011) „Event-Driven SOA: A Better Way to SOA“, White Paper, 2011.
- Toffoli, Tommaso (1982) „Physics and Computation“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, Nos. 3/4, 1982, pp. 165-175.
- Toffoli, Tommaso (1984) „Cellular Automata as an Alternative to (Rather than an Approximation of) Differential Equations in Modeling Physics“, in: „Cellular Automata: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, Los Alamos March 7-11, 1983 (Physica D 10)“, ed. by Farmer, J. Doyne; Toffoli, Tommaso; Wolf-ram, Stephen, Amsterdam et al.: North Holland, 1984, pp. 117-127.

Bibliographie

- Toffoli, Tommaso; Margolus, Norman H. (1987) „Cellular Automata Machines. A New Environment for Modeling“, 2nd Pr., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1987.
- Toffoli, Tommaso; Margolus, Norman H. (1990) „Invertible Cellular Automata: A Review“, in: „Cellular Automata: Theory and Experiment (Physica D, Vol. 45, 1990)“, ed. by Gutowitz, Howard A., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1991, pp. 229-253.
- Toffoli, Tommaso; Margolus, Norman H. (1991) „Programmable Matter: Concepts and Realizations“, in: Physica D, Vol. 47, No. 1-2, 1991, pp. 263-272.
- Tolk, Andreas (2013) „Truth, Trust, and Turing - Implications for Modeling and Simulation“, in: „Ontology, Epistemology, and Teleology for Modeling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications“, ed. by Tolk, Andreas, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 1-26.
- Tolk, Andreas; Adams, Kevin M.; Keating, Charles B. (2011) „Towards Intelligence-Based Systems Engineering and System of Systems Engineering“, in: „Intelligent-Based Systems Engineering“, ed. by Tolk, Andreas; Jain, Lakhmi C., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 1-22.
- Tolk, Andreas; Diallo, Saikou Y.; King, Robert D.; Turnitsa, Charles D. (2009) „A Layered Approach to Composition and Interoperation in Complex Systems“, in: „Complex Systems in Knowledge-based Environments: Theory, Models and Applications“, ed. by Tolk, Andreas; Jain, Lakhmi C., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 41-74.
- Tolk, Andreas; Diallo, Saikou Y.; Turnitsa, Charles D. (2007) „Applying the Levels of Conceptual Interoperability Model in Support of Integrability, Interoperability, and Composability for System-of-Systems Engineering“, in: Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, Vol. 5, No. 5, 2007, pp. 65-74.
- Tomaiuolo, Michele; Turci, Paola; Bergenti, Federico; Poggi, Agostino (2006) „An Ontology Support for Semantic Aware Agents“, in: „Agent-Oriented Information Systems III“, ed. by Kolp, Manuel et al., 7th International Bi-Conference Workshop, AOIS 2005, Utrecht, Netherlands, July 26, 2005, and Klagenfurt, Austria, October 27, 2005, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 140-153.
- Tomic, Taeda (2010) „The Philosophy of Information as an Underlying and Unifying Theory of Information Science“, in: Information Research, Vol. 15, No. 4, Dec., Proceedings of the Seventh International Conference on Conceptions of Library and Information Science - "Unity in Diversity" - Part 2, 2010, pp. 1-13.
- Tommasini, Riccardo; Bonte, Pieter; Della Valle, Emanuele; Mannens, Erik; De Turck, Filip; Ongenaë, Femke (2017) „Towards Ontology Based Event Processing“, in: „OWL: Experiences and Directions - Reasoner Evaluation“, ed. by Dragoni, Mauro et al., 13th International Workshop, OWLED 2016, and 5th International Workshop, ORE 2016, Bologna, Italy, November 20, 2016, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2017, pp. 115-127.
- Tönjes, Ralf; Reetz, Eike S.; Moessner, Klaus; Barnaghi, Payam M. (2012) „A Test-driven Approach for Life Cycle Management of Internet of Things enabled Services“, Future Network & Mobile Summit (FutureNetw), Berlin, 4-6 July, 2012, pp. 1-8.
- Torkashvan, Milad; Haghghi, Hassan (2012) „A Service Oriented Framework for Cloud Computing“, Proceedings of the 3rd International Conference on Information and Communication Systems (ICICS '12), Irbid/Jordan - April 03-05, 2012, Article No. 25, 2012, pp. 1-6.
- Toro, Carlos; Barandiaran, Iñigo; Posada, Jorge (2015) „A Perspective on Knowledge Based and Intelligent Systems Implementation in Industrie 4.0“, in: Procedia Computer Science, Vol. 60, 2015, pp. 362-370.
- Toro, Carlos; Vaquero, Javier; Graña, Manuel; Sanín, Cesar; Szczerbicki, Edward; Posada, Jorge (2012) „Building Domain Ontologies from Engineering Standards“, in: Cybernetics and Systems, Vol. 43, No. 2, 2012, pp. 114-126.
- Toulmin, Stephen (1961) „Foresight and Understanding. An Enquiry into the Aims of Science“, Repr., New York, Evanston: Harper and Row, 1963.
- Toulmin, Stephen (1978) „Kritik der kollektiven Vernunft“, 1. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1978.
- Toulmin, Stephen (1981) „Teleology in Contemporary Science and Philosophy“, in: „Teleologie“, hrsg. v. Bubner, Rüdiger et al., Neue Hefte für Philosophie, Nr. 20, Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1981, S. 140-152.
- Toulmin, Stephen (1990) „Cosmopolis. The Hidden Agenda of Modernity“, Repr., Chicago: Univ. of Chicago Pr., 1992.
- Toulmin, Stephen; Goodfield, June (1965) „The Discovery of Time“, Repr., Chicago, London: The Univ. of Chicago Pr., 1977.
- Toussaint, Luis; Demoly, Frédéric; Lebaal, Nadhir; Gomes, Samuel (2010) „PLM-based Approach for Design Verification and Validation using Manufacturing Process Knowledge“, in: Journal on Systemics, Cybernetics and Informatics, Vol. 8, No. 1, 2010, pp. 1-7.

Bibliographie

- Touzi, Jihed; Benaben, Frédérick; Pingaud, Hervé (2008) „Prototype to Support Morphism between BPMN Collaborative Process Model and Collaborative SOA Architecture Model“, in: „Enterprise Interoperability III“, ed. by Mertins, Kai et al., London et al.: Springer, 2008, pp. 145-157.
- Touzi, Jihed; Benaben, Frédérick; Pingaud, Hervé; Lorré, Jean-Pierre (2009) „A Model-Driven Approach for Collaborative Service-Oriented Architecture Design“, in: *International Journal of Production Economics*, Vol. 121, No. 1, 2009, pp. 5-20.
- Touzi, Jihed; Lorré, Jean-Pierre; Benaben, Frédérick; Pingaud, Hervé (2007) „Interoperability through Model-based Generation: The Case of the Collaborative Information System (CIS)“, in: „Enterprise Interoperability. New Challenges and Approaches“, ed. by Doumeingts, Guy et al., London et al.: Springer, 2007, pp. 407-416.
- Tranquillini, Stefano; Spiess, Patrik; Daniel, Florian; Karnouskos, Stamatis; Casati, Fabio; Oertel, Nina et al. (2012) „Process-Based Design and Integration of Wireless Sensor Network Applications“, in: „Business Process Management“, ed. by Barros, Alistair et al., 10th International Conference, BPM 2012, Tallinn, Estonia, September 3-6, 2012, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 134-149.
- Trapp, Rainer W. (1976) „Analytische Ontologie. Der Begriff der Existenz in Sprache und Logik“, Frankfurt/Main: Klostermann, 1976.
- Trappl, Robert; Leinfellner, Elisabeth; Steinacker, Ingeborg; Trost, Harald (1982) „Ontology and Semantics in the Computer“, in: „Language and Ontology“, ed. by Leinfellner, Werner, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky, 1982, pp. 292-299.
- Trentesaux, Damien; Grabot, Bernard; Sallez, Yves (2013) „Intelligent Products: A Spinal Column to Handle Information Exchanges in Supply Chains“, in: „Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains“, ed. by Prabhu, Vittal et al., IFIP WG 5.7 Int. Conference, APMS 2013, State College, PA, USA, September 9-12, 2013, Proceedings, Part II, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 452-459.
- Trentin, Alessio; Perin, Elisa; Forza, Cipriano (2011) „Overcoming the Customization-Responsiveness Squeeze by Using Product Configurators: Beyond Anecdotal Evidence“, in: *Computers in Industry*, Vol. 62, 2011, pp. 260-268.
- Trentin, Alessio; Perin, Elisa; Forza, Cipriano (2012) „Product Configurator Impact on Product Quality“, in: *International Journal of Production Economics*, Vol. 135, 2012, pp. 850-859.
- Trentin, Alessio; Perin, Elisa; Forza, Cipriano (2013) „Sales Configurator Capabilities to Avoid the Product Variety Paradox: Construct Development and Validation“, in: *Computers in Industry*, Vol. 64, 2013, pp. 436-447.
- Trettin, Käthe (2005) „Substanz. Neue Überlegungen zu einer klassischen Kategorie des Seienden“, Frankfurt/Main: Klostermann, 2005.
- Trettin, Käthe (2007) „Tropen, Sachverhalte und Prozesse. Neue Kategorien für neue Ontologien“, in: „Metaphysik heute - Probleme und Perspektiven der Ontologie“, hrsg. v. Lutz-Bachmann, Matthias; Schmidt, Thomas M., Freiburg, München: Alber, 2007, S. 214-232.
- Tridium (2009) „The Web of Things“, Tridium Inc., Richmond/VA, White Paper, September, 2009.
- Tripathi, Ajay; Babaie, Hassan A. (2008) „Developing a Modular Hydrogeology Ontology by Extending the SWEET Upper-level Ontologies“, in: *Computers & Geosciences*, Vol. 34, No. 9, 2008, pp. 1022-1033.
- Trotta, Maria Giovanna (2010) „Product Lifecycle Management: Sustainability and Knowledge Management as Keys in a Complex System of Product Development“, in: *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol. 3, No. 2, 2010, pp. 309-322.
- Truong, Hong-Linh; Dam, Hoa K.; Ghose, Aditya; Dustdar, Schahram (2014) „Augmenting Complex Problem Solving with Hybrid Compute Units“, in: „Service-Oriented Computing - ICSOC 2013 Workshops“, ed. by Lomuscio, Alessio R. et al., CCSA, CSB, PASCEB, SWESE, WESOA, and PhD Symposium, Berlin, Germany, December 2-5, 2013, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 95-110.
- Truong, Hong-Linh; Dustdar, Schahram (2009) „On Analyzing and Specifying Concerns for Data as a Service“, *IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference (APSCC)*, Singapore, 7-11 Dec., 2009, pp. 87-94.
- Truong, Hong-Linh; Dustdar, Schahram (2014) „Sustainability Data and Analytics in Cloud-Based M2M Systems“, in: „Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments“, ed. by Bessis, Nik; Dobre, Ciprian, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 343-365.
- Truong, Hong-Linh; Dustdar, Schahram (2015) „Context-Aware Programming for Hybrid and Diversity-Aware Collective Adaptive Systems“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Fournier, Fabiana; Mendling, Jan, *BPM 2014 International Workshops*, Eindhoven, The Netherlands, September 7-8, 2014, Revised Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 145-157.

Bibliographie

- Tsai, Wei-Tek; Sun, Xin; Balasooriya, Janaka (2010) „Service-Oriented Cloud Computing Architecture“, Seventh International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG), Las Vegas/NV, 12-14 April, 2010, pp. 684-689.
- Tsai, Wei-Tek; Wei, Xiao; Paul, Ray; Chung, Jen-Yao; Huang, Qian; Chen, Yinong (2007) „Service-Oriented System Engineering (SOSE) and its Applications to Embedded System Development“, in: Service Oriented Computing and Applications, Vol. 1, No. 1, 2007, pp. 3-17.
- Tsonis, Panagiotis A.; Tsonis, Anastasios A. (1997) „Simplicity and Complexity in Gene Evolution“, in: Complexity, Vol. 2, No. 5, 1997, pp. 23-30.
- Tsoukas, Haridimos; Chia, Robert (2002) „On Organizational Becoming: Rethinking Organizational Change“, in: Organization Science, Vol. 13, No. 5, 2002, pp. 567-582.
- Turing, Alan M. (1936) „On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem“, in: Proceedings of the London Mathematical Society, Series 2, Vol. 42, No. 1, 1936, pp. 230-265.
- Turing, Alan M. (1937) „On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. A Correction“, in: Proceedings of the London Mathematical Society, Series 2, Vol. 43, 1937, pp. 544-546.
- Turing, Alan M. (1950) „Computing Machinery and Intelligence“, in: Mind, N.S., Vol. 59, No. 236, 1950, pp. 433-460.
- Turney, Peter (1991) „A Note on Popper's Equation of Simplicity with Falsifiability“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 42, No. 1, 1991, pp. 105-109.
- Turnitsa, Charles D.; Padilla, Jose J.; Tolk, Andreas (2010) „Ontology for Modeling and Simulation“, in: „Proceedings of Winter Simulation Conference 2010“, ed. by Johansson, B. et al., 2010, pp. 643-651.
- Tzitzikas, Yannis; Allocca, Carlo; Bekiari, Chryssoula; Marketakis, Yannis; Fafalios, Pavlos; Doerr, Martin et al. (2013) „Integrating Heterogeneous and Distributed Information about Marine Species through a Top Level Ontology“, in: „Metadata and Semantics Research“, ed. by Garoufallou, Emmanouel; Greenberg, Jane, 7th Research Conference, MTSR 2013, Thessaloniki, Greece, November 19-22, 2013, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2013, pp. 289-301.
- Uciteli, Alexandr; Groß, Silvia; Kireyev, Sergej; Herre, Heinrich (2011) „An Ontologically founded Architecture for Information Systems in Clinical and Epidemiological Research“, in: Journal of Biomedical Semantics, 2 (Suppl 4): S1, 2011.
- Ueno, Fuki; Suzuki, Yasuhiro (2010) „Modeling Leibniz's Monade by using Multi Agent System“, in: „VIII European Conference on Computing and Philosophy (ECAP10)“, ed. by Mainzer, Klaus, 4-6 October 2010, TU München, München: Verl. Dr. Hut, 2010, pp. 229-235.
- Ulam, Stanislaw M. (1976) „Adventures of a Mathematician“, New York: Scribner, 1976.
- Ullberg, Johan; Chen, David; Johnson, Pontus (2009) „Barriers to Enterprise Interoperability“, in: „Enterprise Interoperability“, ed. by Poler, Raúl, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 13-24.
- Ullmann, Stephen (1962) „Semantics. An Introduction to the Science of Meaning“, Oxford: Basil Blackwell, 1962.
- Um, Jung-Ho; Lee, Seungwoo; Kim, Tae-Hong; Jeong, Chang-Hoo; Song, Sa-Kwang; Jung, Hanmin (2016) „Semantic Complex Event Processing Model for Reasoning Research Activities“, in: Neurocomputing, Vol. 209, 2016, pp. 39-45.
- Underwood, Mark; Gruninger, Michael; Obrst, Leo; Baclawski, Ken; Bennett, Mike; Berg-Cross, Gary et al. (2015) „Internet of Things: Toward Smart Networked Systems and Societies. The Ontology Summit 2015“, in: Applied Ontology, Vol. 10, No. 3-4, 2015, pp. 355-365.
- Unger, Peter (1979) „There Are No Ordinary Things“, in: Synthese, Vol. 41, No. 2, 1979, pp. 117-154.
- Unger, Roberto Mangabeira; Smolin, Lee (2015) „The Singular Universe and the Reality of Time: A Proposal in Natural Philosophy“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2015.
- Urban, Wilbur M. (1941) „Whitehead's Philosophy of Language and Its Relation to His Metaphysics“, in: „The Philosophy of Alfred N. Whitehead“, ed. by Schilpp, Paul A., Evanston, Chicago: Northwestern Univ., 1941, pp. 301-327.
- Uriarte, Mikel; Lazaro, Oscar; Gonzalez, Alicia; Prada, Ivan; Lopez, Oscar; Blasi, Jordi; Olivares, Eneko; Palau, Carlos (2014) „Usable Access Control Enabled by Sensing Enterprise Architectures“, in: „IWEI 2015 Workshops - New Requirements and Innovative Solutions to Enterprise Interoperability“, ed. by Zelm, Martin, Proceedings of the Workshops of the IWEI 2015 Conference, co-located with the 6th International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability IWEI 2015, Nîmes, France, 2014.
- Ursul, Arkady D. (1966) „On the Nature of Information“, in: Soviet Studies in Philosophy, Vol. 5, No. 1, 1966, pp. 37-46.

Bibliographie

- Uschold, Michael (2001) „Barriers to Effective Agent Communication“, in: „OAS'01: Ontologies in Agent Systems“, ed. by Cranefield, Stephen et al., Proceedings of the Workshop on Ontologies in Agent Systems, 5th International Conference on Autonomous Agents, Montreal, Canada, May 29, 2001.
- Uschold, Michael (2008) „Ontology-Driven Information Systems: Past, Present and Future“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 3-18.
- Uschold, Michael (2011) „Making the Case for Ontology“, in: Applied Ontology, Vol. 6, No. 4, 2011, pp. 377-385.
- Uschold, Michael; Grüninger, Michael (1996) „Ontologies: Principles, Methods and Applications“, in: The Knowledge Engineering Review, Vol. 11, No. 2, 1996, pp. 93-136.
- Uschold, Michael; Grüninger, Michael (2002) „Creating Semantically Integrated Communities on the World Wide Web“, Invited Talk, Semantic Web Workshop, Co-located with WWW 2002, Honolulu/HI, 2002.
- Uschold, Michael; Grüninger, Michael (2004) „Ontologies and Semantics for Seamless Connectivity“, in: ACM SIGMOD Record, Vol. 33, No. 4, 2004, pp. 58-64.
- Uschold, Michael; King, Martin (1995) „Towards a Methodology for Building Ontologies“, AIAI-TR-183, Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, held in conjunction with IJCAI-95, 1995.
- Uschold, Michael; King, Martin; Moralee, Stuart; Zorgios, Yannis (1998) „The Enterprise Ontology“, in: Knowledge Engineering Review, Vol. 13, No. 1, 1998, pp. 31-89.
- Uschold, Michael; McComb, Dave (2013) „Introduction to Gist. Building an Enterprise Ontology with Gist, a Minimalist Upper Ontology for Business“, White Paper, Semantic Arts, Inc., 2013.
- USDOD (2009a) „DoD Architecture Framework Version 2.0. Volume 1: Introduction, Overview, and Concepts. Manager's Guide“, United States Department of Defense, Washington/DC, 2009.
- USDOD (2009b) „DoD Architecture Framework Version 2.0. Volume 2: Architectural Data and Models. Architect's Guide“, United States Department of Defense, Washington/DC, 2009.
- Ushenko, Andrew P. (1936) „The Theory of Logic“, New York et al.: Harper, 1936.
- Ushenko, Andrew P. (1944) „Russell's Critique of Empiricism“, in: „The Philosophy of Bertrand Russell“, ed. by Schilpp, Paul Arthur, 3rd ed., New York: Tudor Publ., 1951, pp. 385-417.
- Ushenko, Andrew P. (1946) „Power and Events“, New York: Greenwood Pr., 1969.
- Usman, Zahid; Young, Robert I.M.; Case, Keith; Harding, Jennifer A. (2010) „A Manufacturing Foundation Ontology for Product Life Cycle Interoperability“, in: „Enterprise Interoperability IV“, ed. by Popplewell, Keith et al., London: Springer, 2010, pp. 147-155.
- Usman, Zahid; Young, Robert I.M.; Chungoora, Nitishal; Palmer, Claire; Case, Keith; Harding, Jennifer A. (2011) „A Manufacturing Core Concepts Ontology for Product Lifecycle Interoperability“, in: „Enterprise Interoperability“, ed. by Van Sinderen, Marten; Johnson, Pontus, Third International IFIP Working Conference, IWEI 2011, Stockholm, Sweden, March 23-24, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 5-18.
- Usman, Zahid; Young, Robert I.M.; Chungoora, Nitishal; Palmer, Claire; Case, Keith; Harding, Jennifer A. (2013) „Towards a Formal Manufacturing Reference Ontology“, in: International Journal of Production Research, Vol. 51, No. 22, 2013, pp. 6553-6572.
- Uttama Nambi, Akshay S.N.; Sarkar, Chayan; Prasad, R. Venkatesha; Rahim, Abdur (2014) „A Unified Semantic Knowledge Base for IoT“, World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Seoul, 6-8 March, 2014, pp. 575-580.
- Vaesens, Krist (2011) „The Functional Bias of the Dual Nature of Technical Artefacts Program“, in: Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 42, No. 1, 2011, pp. 190-197.
- Vafopoulos, Michalis (2014) „Being, Space, and Time on the Web“, in: „Philosophical Engineering. Toward a Philosophy of the Web“, ed. by Halpin, Harry; Monnin, Alexandre, Chichester et al.: Wiley-Blackwell, 2014, pp. 77-96.
- Vafopoulos, Michalis; Stefaneas, Petros; Anagnostopoulos, Ioannis; O'Hara, Kieron (2012) „A Methodology for Internal Web Ethics“, in: „PhiloWeb 2012. Web and Philosophy: Why and What For?“, ed. by Monnin, Alexandre; Halpin, Harry; Carr, Leslie, Proceedings of the WWW2012 Conference Workshop PhiloWeb 2012: "Web and Philosophy, Why and What For?", Paper 1, Lyon/France, Apr 17, 2012.
- Vaidya, Gaurav; Kontokostas, Dimitris; Knuth, Magnus; Lehmann, Jens; Hellmann, Sebastian (2015) „DBpedia Commons: Structured Multimedia Metadata from the Wikimedia Commons“, in: „The Semantic Web - ISWC 2015“, ed. by Arenas, Marcelo et al., 14th International Semantic Web Conference, Bethlehem, PA, USA, October 11-15, 2015, Proceedings, Part II, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 281-289.

Bibliographie

- Vaihinger, Hans (1911) „Die Philosophie des Als Ob. System der theoretischen, praktischen und religiösen Fiktionen der Menschheit auf Grund eines idealistischen Positivismus. Mit einem Anhang über Kant und Nietzsche“, 2., durchges. Aufl., Berlin: Reuther und Reichard, 1913.
- Valckenaers, Paul; Van Brussel, Hendrik (2005) „Holonc Manufacturing Execution Systems“, in: CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 54, No. 1, 2005, pp. 427-432.
- Valckenaers, Paul; Van Brussel, Hendrik; Wyns, Jo; Bongaerts, Luc; Peeters, Patrick (1998) „Designing Holonic Manufacturing Systems“, in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 14, No. 5-6, 1998, pp. 455-464.
- Valencia, Ana; Mugge, Ruth; Schoormans, Jan P.L.; Schifferstein, Hendrik N.J. (2015) „The Design of Smart Product-Service Systems (PSSs): An Exploration of Design Characteristics“, in: International Journal of Design, Vol. 9, No. 1, 2015, pp. 13-28.
- Valente, André; Breuker, Joost; Bredeweg, Bert (1993) „Integrating Modeling Approaches in the CommonKADS Library“, in: „Prospects for Artificial Intelligence“, ed. by Sloman, Aaron et al., Proceedings of AISB93, the Ninth Biennial Conference of the Society for the Study of Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour, 29 March-2 April 1993, Univ. of Birmingham, Amsterdam et al.: IOS Pr., 1993, pp. 121-129.
- Valente, André; Breuker, Joost; Brouwer, Bob (1999) „Legal Modeling and Automated Reasoning with ONLINE“, in: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 51, No. 6, 1999, pp. 1079-1125.
- Valiente, María-Cruz et al. (2011) „An Ontology-Based Integrated Approach to Situation Awareness for High-Level Information Fusion in C4ISR“, in: „Advanced Information Systems Engineering Workshops“, ed. by Salinesi, Camille; Pastor, Oscar, CAiSE 2011 Int. Workshops, London, UK, June 20-24, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 513-527.
- Vallespir, Bruno; Chen, David; Zanettin, Marc; Doumeingts, Guy (1991) „Definition of a CIM Architecture within the ESPRIT 'IMPACS' Project“, in: „Computer Applications in Production and Engineering“, ed. by Doumeingts, Guy; Browne, Jim; Tomljanovich, Marco, Proceedings of the Fourth International IFIP TC5 Conference on Computer Applications in Production and Engineering: Integration Aspects, CAPE '91, Bordeaux, France, 10-12 September, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991, pp. 731-738.
- Valtolina, Stefano; Barricelli, Barbara R.; Mesiti, Marco (2015) „End-User Centered Events Detection and Management in the Internet of Things“, in: „Current Trends in Web Engineering“, ed. by Daniel, Florian; Diaz, Oscar, 15th International Conference, ICWE 2015 Workshops, NLPIT, PEWET, SoWEMine, Rotterdam, The Netherlands, June 23-26, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 77-90.
- Van Assche, Frans; Moulin, Bernard; Rolland, Colette (eds.) (1991) „Object Oriented Approach in Information Systems“, Amsterdam et al.: North-Holland, 1991.
- Van Brakel, Jaap (1992) „The Complete Description of the Frame Problem. Review of Ford & Hayes on the Frame-Problem“, in: Psychology, Vol. 3, No. 60, Art. 2, 1992.
- Van Brakel, Jaap (1993) „Unjustified Coherence. Commentary on Fetzer on van Brakel on Ford & Hayes on the Frame Problem“, in: Psychology, Vol. 4, No. 23, Art. 7, 1993.
- Van Brussel, Hendrik (1994) „Holonc Manufacturing Systems. The Vision Matching the Problem“, Proceedings of the 1st European Conference on Holonic Manufacturing Systems, Hannover/Germany, IFW-Hannover, 1994.
- Van Brussel, Hendrik; Bongaerts, Luc; Wyns, Jo; Valckenaers, Paul; Van Ginderachter, Tony (1999) „A Conceptual Framework for Holonic Manufacturing: Identification of Manufacturing Holons“, in: Journal of Manufacturing Systems, Vol. 18, No. 1, 1999, pp. 35-52.
- Van Brussel, Hendrik; Wyns, Jo; Valckenaers, Paul; Bongaerts, Luc; Peeters, Patrick (1998) „Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems: PROSA“, in: Computers in Industry, Vol. 37, No. 3, 1998, pp. 255-274.
- Van Cleve, James (1986) „Mereological Essentialism, Mereological Conjunctivism, and Identity Through Time“, in: „Midwest Studies in Philosophy, Vol. 11, No. 1“, ed. by French, Peter A. et al., Minneapolis: Univ. of Minnesota Pr., 1986, pp. 141-156.
- Van Cleve, James (1990) „Mind-Dust or Magic? Panpsychism Versus Emergence“, in: Philosophical Perspectives, Vol. 4, Action Theory and Philosophy of Mind, 1990, pp. 215-226.
- Van Damme, Céline; Hepp, Martin; Siorpaes, Katharina (2007) „FolksOntology: An Integrated Approach for Turning Folksonomies into Ontologies“, Bridging the Gap between Semantic Web and Web 2.0, International Workshop located at the 4th European Semantic Web Conference (ESWC 2007), Innsbruck/Austria, June 7, 2007, pp. 57-70.
- Van de Pitte, Frederick P. (1979) „Descartes' Mathesis Universalis“, in: Archiv für Geschichte der Philosophie, Bd. 61, Nr. 2, 1979, S. 154-174.

Bibliographie

- Van der Aalst, Wil M.P. (2014) „Data Scientist: The Engineer of the Future“, in: „Enterprise Interoperability VI“, ed. by Mertins, Kai et al., Cham et al.: Springer, 2014, pp. 13-26.
- Van der Aalst, Wil M.P. (2016) „Process Mining. Data Science in Action“, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2016.
- Van der Aalst, Wil M.P.; Ter Hofstede, Arthur H.M. (2005) „YAWL: Yet Another Workflow Language“, in: *Information Systems*, Vol. 30, No. 4, 2005, pp. 245-275.
- Van der Hoek, Wiebe; Wooldridge, Michael (2008) „Multi-Agent Systems“, in: „Handbook of Knowledge Representation“, ed. by Van Harmelen, Frank et al., Amsterdam et al.: Elsevier, 2008, pp. 887-928.
- Van der Raadt, Bas; Hoorn, Johan F.; Van Vliet, Hans (2005) „Alignment and Maturity Are Siblings in Architecture Assessment“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Pastor, Oscar; Falcão e Cunha, João, 17th International Conference, CAiSE 2005, Porto/Portugal, June 13-17, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 357-371.
- Van der Veken, Jan (1984) „Process Thought from a European Point of View“, in: „Whitehead und der Prozessbegriff“, hrsg. v. Holz, Harald; Wolf-Gazo, Ernest, Beitr. zur Philosophie Alfred North Whiteheads auf d. 1. Int. Whitehead-Symposium 1981, Freiburg, München: Alber, 1984, S. 44-46.
- Van der Veken, Jan (1986) „Kreativität als allgemeine Aktivität“, in: „Whiteheads Metaphysik der Kreativität“, hrsg. v. Rapp, Friedrich; Wiehl, Reiner, Int. Whitehead-Symposium Bad Homburg 1983, Freiburg, München: Alber, 1986, S. 197-206.
- Van der Veken, Jan (1990) „Zu einem bescheidenen und offenen Hegelianismus“, in: „Whitehead und der deutsche Idealismus - Whitehead and German Idealism“, hrsg. v. Lucas, George R., Jr.; Braeckman, Antoon, Bern et al.: Peter Lang, 1990, S. 135-143.
- Van der Zee, Erik; Scholten, Henk (2014) „Spatial Dimensions of Big Data: Application of Geographical Concepts and Spatial Technology to the Internet of Things“, in: „Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments“, ed. by Bessis, Nik; Dobre, Ciprian, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 137-168.
- Van Fraassen, Bas C. (2002) „The Empirical Stance“, New Haven et al.: Yale Univ. Pr., 2002.
- Van Gigch, John P. (1991) „System Design Modeling and Metamodeling“, New York, London: Plenum Pr., 1991.
- Van Gorp, Pieter; Dijkman, Remco (2013) „A Visual Token-based Formalization of BPMN 2.0 based on In-place Transformations“, in: *Information and Software Technology*, Vol. 55, 2013, pp. 365-394.
- Van Gulick, Robert (1987) „Philosophical Questions“, in: „Encyclopedia of Artificial Intelligence“, ed. by Shapiro, Stuart C., Vol. 2, New York et al.: Wiley, 1987, pp. 736-744.
- Van Gulick, Robert (2001) „Reduction, Emergence and Other Recent Options on the Mind/Body Problem: A Philosophic Overview“, in: *Journal of Consciousness Studies*, Vol. 8, No. 9/10, 2001, pp. 1-34.
- Van Heijst, Gertjan; Schreiber, August Th.; Wielinga, Bob J. (1997a) „Using Explicit Ontologies in KBS Development“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 46, No. 2-3, 1997, pp. 183-292.
- Van Heijst, Gertjan; Schreiber, August Th.; Wielinga, Bob J. (1997b) „Roles Are Not Classes: A Reply to Nicola Guarino“, in: *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 46, No. 2-3, 1997, pp. 311-318.
- Van Inwagen, Peter (1977) „Ontological Arguments“, in: *Noûs*, Vol. 11, No. 4, 1977, pp. 375-395.
- Van Inwagen, Peter (1981) „The Doctrine of Arbitrary Undetached Parts“, in: *Pacific Philosophical Quarterly*, Vol. 62, 1981, pp. 123-137.
- Van Inwagen, Peter (1986) „Two Concepts of Possible Worlds“, in: *Midwest Studies in Philosophy*, Vol. 11, No. 1, 1986, pp. 185-213.
- Van Inwagen, Peter (1990a) „Material Beings“, Ithaca, London: Cornell Univ. Pr., 1990.
- Van Inwagen, Peter (1990b) „Four-Dimensional Objects“, in: *Noûs*, Vol. 24, No. 2, 1990, pp. 245-255.
- Van Inwagen, Peter (1998a) „Meta-Ontology“, in: *Erkenntnis*, 48. Jg., Nr. 2-3, 1998, pp. 233-250.
- Van Inwagen, Peter (1998b) „The Nature of Metaphysics“, in: „Contemporary Readings in the Foundations of Metaphysics“, ed. by Laurence, Stephen; MacDonald, Cynthia, Oxford et al.: Basil Blackwell, 1998, pp. 11-21.
- Van Inwagen, Peter (1999) „Meta-Ontology: A Brief Introduction“, in: „The Proceedings of the Twentieth World Congress of Philosophy, Vol. 2: Metaphysics“, ed. by Rockmore, Tom, Bowling Green/OH: Bowling Green State Univ., 1999, pp. 65-72.
- Van Inwagen, Peter (2000) „Temporal Parts and Identity Across Time“, in: *The Monist*, Vol. 83, No. 3, 2000, pp. 437-459.

Bibliographie

- Van Inwagen, Peter (2001) „Ontology, Identity, and Modality“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2001.
- Van Inwagen, Peter (2002) „Metaphysics“, 2nd ed., Oxford: Westview Pr., 2002.
- Van Inwagen, Peter (2003) „Existence, Ontological Commitment, and Fictional Entities“, in: „The Oxford Handbook of Metaphysics“, ed. by Loux, Michael J.; Zimmerman, Dean W., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2003, pp. 131-157.
- Van Inwagen, Peter (2007a) „Impotence and Collateral Damage: One Charge in Van Fraassen's Indictment of Analytical Metaphysics“, in: *Philosophical Topics*, Vol. 35, No. 1/2, 2007, pp. 67-82.
- Van Inwagen, Peter (2007b) „Some Remarks on the Modal Ontological Argument“, in: „Metaphysik heute - Probleme und Perspektiven der Ontologie“, hrsg. v. Lutz-Bachmann, Matthias; Schmidt, Thomas M., Freiburg, München: Alber, 2007, S. 132-145.
- Van Inwagen, Peter (2009) „Being, Existence, and Ontological Commitment“, in: „Metametaphysics. New Essays on the Foundations of Ontology“, ed. by Chalmers, David J.; Manley, David; Wasserman, Ryan, Oxford et al.: Clarendon Pr., 2009, pp. 472-506.
- Van Inwagen, Peter (2011) „Relational vs. Constituent Ontologies“, in: *Philosophical Perspectives*, Vol. 25, 2011, pp. 389-405.
- Van Inwagen, Peter; Zimmerman, Dean W. (1998) „Introduction: What is Metaphysics?“, in: „Metaphysics: The Big Questions“, ed. by Van Inwagen, Peter; Zimmerman, Dean W., Oxford: Blackwell, 1998, pp. 1-13.
- Van Leeuwen, Edwin H.; Norrie, Douglas H. (1997) „Intelligent Manufacturing: Holons and Holarchies“, in: *Manufacturing Engineer*, Vol. 76, No. 2, 1997, pp. 86-88.
- Van Looy, Amy (2014) „Business Process Maturity. A Comparative Study on a Sample of Business Process Maturity Models“, Cham: Springer, 2014.
- Van Nuffel, Dieter; Mulder, Hans; Van Kervel, Steven J.H. (2009) „Enhancing the Formal Foundations of BPMN by Enterprise Ontology“, in: „Advances in Enterprise Engineering III“, ed. by Albani, Antonia et al., 5th Int. Workshop, CIAO! 2009, and 5th International Workshop, EOMAS 2009, held at CAiSE 2009, Amsterdam, The Netherlands, June 8-9, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 115-129.
- Van Ruijven, Leo C. (2011) „Ontology and Model Based Systems Engineering“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Vermaas, Pieter E.; Dignum, Virginia, Fifth International Workshop 'Formal Ontologies Meet Industry' (FOMI 2011), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2011, pp. 88-101.
- Van Ruijven, Leo C. (2012) „Ontology and Model-based Systems Engineering“, in: *Procedia Computer Science*, Vol. 8, 2012, pp. 194-200.
- Vance, Chad (2014) „Truthmaker Theory Does Not Solve The Gettier Problem“, in: *Ratio*, Vol. 27, No. 3, 2014, pp. 291-305.
- Vanthienen, Jan (2008) „SBVR: The ABCs of Accurate Business Communication“, in: *Business Rules Journal*, Vol. 9, No. 3, 2008.
- Vanthienen, Jan; Goedertier, Stijn (2007) „How Business Rules Define Business Processes“, in: *Business Rules Journal*, Vol. 8, No. 3, 2007.
- Vaquero, Luis M.; Rodero-Merino, Luis; Caceres, Juan; Lindner, Maik (2009) „A Break in the Clouds: Towards a Cloud Definition“, in: *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 39, No. 1, 2009, pp. 50-55.
- Varadan, Vijay K.; Vinoy, K.J.; Gopalakrishnan, S. (2006) „Smart Material Systems and MEMS: Design and Development Methodologies“, Chichester et al.: Wiley, 2006.
- Varzi, Achille C. (1998) „Basic Problems of Mereotopology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Guarino, Nicola, Proceedings of the First International Conference (FOIS '98), Amsterdam et al.: IOS Pr., 1998, pp. 29-38.
- Varzi, Achille C. (2000) „Foreword“, in: *The Monist*, Vol. 83, No. 3, 2000, pp. 319-320.
- Varzi, Achille C. (2007) „From Language to Ontology. Beware of the Traps“, in: „The Categorization of Spatial Entities in Language and Cognition“, ed. by Aurnague, Michel et al., Amsterdam et al.: Benjamins, 2007, pp. 269-284.
- Varzi, Achille C. (2009) „On the Interplay Between Logic and Metaphysics“, in: *Linguistic and Philosophical Investigations*, Vol. 8, 2009, pp. 12-35.
- Varzi, Achille C. (2011) „On Doing Ontology without Metaphysics“, in: *Philosophical Perspectives*, Vol. 25, No. 1, 2011, pp. 407-423.
- Vasseur, Jean-Philippe; Dunkels, Adam (2010) „Interconnecting Smart Objects with IP. The Next Internet“, Burlington/MA: Morgan Kaufmann, 2010.

Bibliographie

- Väyrynen, Kari (2016) „Nicolai Hartmann's Concept of Causality“, in: „New Research on the Philosophy of Nicolai Hartmann“, ed. by Poli, Roberto; Peterson, Keith, Berlin, Boston: De Gruyter, 2016, pp. 45-64.
- VDI (2007) „Manufacturing Execution Systems (MES)“, Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinie 5600, Düsseldorf, 2007.
- VDI-Z (2014) „Standards für Industrie 4.0“, in: VDI-Z Integrierte Produktion, Bd. 156, Nr. 6, 2014, S. 6.
- VDI/VDE-GMA (2014a) „Industrie 4.0 Statusreport: Auf dem Weg zu einem Referenzmodell“, April, 2014.
- VDI/VDE-GMA (2015) „Status Report: Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0)“, July, 2015.
- VDMA (2008) „Leitfaden zur Erstellung eines unternehmensspezifischen PLM-Konzeptes“, Frankfurt/Main: VDMA-Verl., 2008.
- Vegetti, Marcela; Gonnet, Silvio et al. (2011) „Ontologies and Conceptual Models in Industrial Enterprises and Software Development Processes“, Iberoamerican Meeting of Ontological Research, 2011.
- Veloso, Manuela; Carbonell, Jaime G.; Pérez, Alicia; Borrajo, Daniel; Fink, Eugene; Blythe, Jim (1995) „Integrating Planning and Learning: The PRODIGY Architecture“, in: Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, Vol. 7, No. 1, 1995, pp. 81-120.
- Vendler, Zeno (1957) „Verbs and Times“, in: Philosophical Review, Vol. 66, No. 2, 1957, pp. 143-160.
- Vendler, Zeno (1967) „Linguistics in Philosophy“, Ithaca/NY: Cornell Univ. Pr., 1967.
- Venkatraman, Mahadevan; Singh, Munindar P. (1999) „Verifying Compliance with Commitment Protocols. Enabling Open Web-Based Multiagent Systems“, in: Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, Vol. 2, No. 3, 1999, pp. 217-236.
- Venturini, Gilles (1994) „Adaptation in Dynamic Environments through a Minimal Probability of Exploration“, in: „From Animals to Animats 3“, ed. by Cliff, David et al., Proceedings of the Third International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 1994, pp. 371-379.
- Vera-Baquero, Alejandro; Colomo-Palacios, Ricardo; Molloy, Owen (2016) „Real-Time Business Activity Monitoring and Analysis of Process Performance on Big-Data Domains“, in: Telematics and Informatics, Vol. 33, No. 3, 2016, pp. 793-807.
- Verdonck, Michaël (2014) „Providing Guidance for Conceptual Modelling Using Core Ontologies“, 2014.
- Verdonck, Michaël; Gailly, Frederik; De Cesare, Sergio; Poels, Geert (2015) „Ontology-Driven Conceptual Modeling: A Systematic Literature Mapping and Review“, in: Applied Ontology, Vol. 10, No. 3-4, 2015, pp. 197-227.
- Verdonck, Michaël; Gailly, Frederik; Poels, Geert (2014) „3D vs. 4D Ontologies in Enterprise Modeling“, in: „Advances in Conceptual Modeling“, ed. by Indulska, Marta; Purao, Sandeep, ER 2014 Workshops, ENMO, MoBiD, MReBA, QMMQ, SeCoGIS, WISM, and ER Demos, Atlanta, GA, USA, October 27-29, 2014, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 13-22.
- Vermaas, Pieter E. (2006) „The Physical Connection: Engineering Function Ascriptions to Technical Artefacts and their Components“, in: Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 62-75.
- Vermaas, Pieter E. (2009) „Parts, Compositions and Decompositions of Functions in Engineering Ontologies“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Ferrario, Roberta; Oltramari, Alessandro, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2009, pp. 34-45.
- Vermaas, Pieter E.; Garbacz, Pawel (2009) „Functional Decomposition and Mereology in Engineering“, in: „Handbook of Philosophy of Technology and Engineering Sciences“, ed. by Meijers, Anthonie, Amsterdam: Elsevier, 2009, pp. 235-271.
- Vermaas, Pieter E.; Houkes, Wybo (2006) „Technical Functions: A Drawbridge Between the Intentional and Structural Natures of Technical Artefacts“, in: Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 37, No. 1, 2006, pp. 5-18.
- Vermesan, Ovidiu; Harrison, Mark; Vogt, Harald; Kalaboukas, Kostas; Tomasella, Maurizio et al. (2009) „Internet of Things. Strategic Research Roadmap“, Cluster of European Research Projects on the Internet of Things (CERP-IoT), 2009.
- Vernadat, François (1992) „CIMOSA - A European Development for Enterprise Integration, Part 2: Enterprise Modelling“, in: „Enterprise Integration Modeling“, ed. by Petrie, Charles J., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1992, pp. 189-204.
- Vernadat, François (2006) „The CIMOSA Languages“, in: „Handbook on Architectures of Information Systems“, ed. by Bernus, Peter et al., 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 251-272.
- Vernadat, François (2009) „Enterprise Integration and Interoperability“, in: „Springer Handbook of Automation“, ed. by Nof, Shimon Y., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 1529-1538.

Bibliographie

- Vernon, David; Furlong, Dermot (2007) „Philosophical Foundations of AI“, in: „50 Years of Artificial Intelligence“, ed. by Lungarella, Max et al., Berlin et al.: Springer, 2007, pp. 53-62.
- Verschure, Paul F.M.J.; Pfeifer, Rolf (1993) „Categorization, Representations, and The Dynamics of System-Environment Interaction: A Case Study in Autonomous Systems“, in: „From Animals to Animats 2: Proceedings of the Second International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour, Hawaii, 1992“, ed. by Meyer, Jean-Arcady; Roitblat, Herbert L.; Wilson, Stewart W., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1993, pp. 210-217.
- Vester, Frederic (1980) „Neuland des Denkens: Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter“, Stuttgart: Dt. Verl.-Anst., 1980.
- Vester, Frederic (1999) „Die Kunst, vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität“, 7. Aufl., München: Dt. Taschenbuch-Verl., 2008.
- Vetere, Guido (2009) „From Data to Knowledge, the Role of Formal Ontology“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Ferrario, Roberta; Oltramari, Alessandro, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2009, pp. 1-9.
- Vetere, Guido; Lenzerini, Maurizio (2005) „Models for Semantic Interoperability in Service-Oriented Architectures“, in: IBM Systems Journal, Vol. 44, No. 4, 2005, pp. 887-903.
- Vezzetti, Enrico; Moos, Sandro; Kretli, Simona (2011) „A Product Lifecycle Management Methodology for Supporting Knowledge Reuse in the Consumer Packaged Goods Domain“, in: Computer-Aided Design, Vol. 43, 2011, pp. 1902-1911.
- Vichniac, Gérard Y. (1984) „Simulating Physics with Cellular Automata“, in: „Cellular Automata: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, Los Alamos March 7-11, 1983 (Physica D 10)“, ed. by Farmer, J. Doyné; Toffoli, Tommaso; Wolfram, Stephen, Amsterdam et al.: North Holland, 1984, pp. 96-116.
- Vico, Giovan Battista (1712) „Seconda Risposta di Giambattista Vico all'Articolo del Tomo VIII del Gioprnale de'Letterati d'Italia“, in: „Autobiografia, Antichissima Sapienza ed Orazioni Accademiche di G.-B. Vico“, ed. Pomodoro, Francesco S., Napoli: Stamperia de'Classici Latini, 1858.
- Vicsek, Tamás; Czirók, András; Ben-Jacob, Eshel; Cohen, Inon; Shochet, Ofer (1995) „Novel Type of Phase Transition in a System of Self-Driven Particles“, in: Physical Review Letters, Vol. 75, No. 6, 1995, pp. 1226-1229.
- Vidal, Clément (2012) „Metaphilosophical Criteria for Worldview Comparison“, in: Metaphilosophy, Vol. 43, No. 3, 2012, pp. 306-347.
- Vidal, Cristian; Rodríguez, Andrea (2005) „A Logical Approach for Modeling Spatio-temporal Objects and Events“, in: „Perspectives in Conceptual Modeling“, ed. by Akoka, Jacky et al., ER 2005 Workshop AOIS, BP-UML, CoMoGIS, eCOMO, and QoIS, Klagenfurt, Austria, October 24-28, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 218-227.
- Vidal, Juan C.; Lama, Manuel; Bugarín, Alberto (2010) „OPENET: Ontology-based Engine for High-level Petri Nets“, in: Expert Systems with Applications, Vol. 37, No. 9, 2010, pp. 6493-6509.
- Vieu, Laure; Aurnague, Michel (2007) „Part-of Relations, Functionality and Dependence“, in: „The Categorization of Spatial Entities in Language and Cognition“, ed. by Aurnague, Michel et al., Amsterdam et al.: Benjamins, 2007, pp. 307-336.
- Vieu, Laure; Borgo, Stefano; Masolo, Claudio (2008) „Artefacts and Roles: Modelling Strategies in a Multiplicative Ontology“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 121-134.
- Villalonga, Claudia; Bauer, Martin; Aguilar, Fernando L.; Huang, Vincent A.; Strohbach, Martin (2010) „A Resource Model for the Real World Internet“, in: „Smart Sensing and Context“, ed. by Lukowicz, Paul et al., 5th European Conference, EuroSSC 2010, Proceedings, Passau/Germany, November 14-16, Berlin et al.: Springer, 2010, pp. 163-176.
- Villazón-Terrazas, Boris (2012) „A Method for Reusing and Re-engineering Non-ontological Resources for Building Ontologies“, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2012.
- Vincenti, Walter G. (1990) „What Engineers Know and How They Know It. Analytical Studies from Aeronautical History“, Baltimore/MD: John Hopkins Univ. Pr., 1990.
- Vines, Richard; Hall, William P.; McCarthy, Gavan (2011) „Textual Representations and Knowledge Support-Systems in Research Intensive Networks“, in: „Towards a Semantic Web: Connecting Knowledge in Academic Research“, ed. by Cope, Bill et al., Oxford et al.: Chandos, 2011, pp. 145-195.
- Vinson, David P.; Vigliocco, Gabriella (2008) „Semantic Feature Production Norms for a Large Set of Objects and Events“, in: Behavior Research Methods, Vol. 40, No. 1, 2008, pp. 183-190.
- Vlastos, Gregory (1937) „Organic Categories in Whitehead“, in: Journal of Philosophy, Vol. 34, No. 10, 1937, pp. 253-262.

Bibliographie

- Vogt, Lars; Grobe, Peter; Quast, Björn; Bartolomaeus, Thomas (2011) „Top-Level Categories of Constitutively Organized Material Entities - Suggestions for a Formal Top-Level Ontology“, in: PLoS ONE, Vol. 6, No. 4, 2011.
- Vollmer, Gerhard (1975) „Evolutionäre Erkenntnistheorie“, Stuttgart: Hirzel, 1975.
- Vollmer, Gerhard (1985) „Was können wir wissen? Bd. 1: Die Natur der Erkenntnis. Beiträge zur Evolutionären Erkenntnistheorie“, Stuttgart: Hirzel, 1985.
- Vollmer, Gerhard (1987) „Was Evolutionäre Erkenntnistheorie nicht ist“, in: „Die Evolutionäre Erkenntnistheorie“, hrsg. v. Riedl, Rupert; Wuketits, Franz M., Berlin, Hamburg: Parey, 1987, S. 140-155.
- Vollmer, Gerhard (1988) „Was können wir wissen? Bd. 2: Die Erkenntnis der Natur. Beiträge zur modernen Naturphilosophie“, 2., durchges. Aufl., Stuttgart: Hirzel, 1988.
- Vollmer, Gerhard (1992) „Das Ganze und seine Teile. Holismus, Emergenz, Erklärung und Reduktion“, in: „Wissenschaftstheorien in der Medizin“, hrsg. v. Deppert, Wolfgang et al., Berlin, New York: De Gruyter, 1992, S. 183-223.
- Vollmer, Gerhard (1993) „Wissenschaftstheorie im Einsatz. Beiträge zu einer selbstkritischen Wissenschaftsphilosophie“, Stuttgart: Hirzel, 1993.
- Vollmer, Gerhard (1995) „Auf der Suche nach der Ordnung. Beiträge zu einem naturalistischen Welt- und Menschenbild“, Stuttgart: Hirzel, 1995.
- Vollmer, Gerhard (2000) „Was ist Naturalismus?“, in: „Naturalismus. Philosophische Beiträge“, hrsg. v. Keil, Geert; Schnädelbach, Herbert, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 2000, S. 46-67.
- Vollrath, Ernst (1962) „Die Gliederung der Metaphysik in eine Metaphysica generalis und eine Metaphysica specialis“, in: Zeitschrift für philosophische Forschung, Bd. 16, Nr. 2, 1962, S. 258-284.
- Vrandečić, Denny (2009) „Ontology Evaluation“, in: „Handbook on Ontologies“, ed. by Staab, Steffen; Studer, Rudi, 2nd ed., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 293-313.
- Vrba, Pavel (2013) „Review of Industrial Applications of Multi-agent Technologies“, in: „Service Orientation in Holonic and Multi Agent Manufacturing and Robotics“, ed. by Borangiu, Theodor et al., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 327-338.
- Vrba, Pavel; Macurek, Filip; Marík, Vladimír (2005) „Using Radio Frequency Identification in Agent-Based Manufacturing Control Systems“, in: „Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing“, ed. by Marík, Vladimír et al., Second International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2005, Copenhagen, Denmark, August 22-24, 2005, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 176-187.
- Vromen, Jack J. (2004) „Conjectural Revisionary Economic Ontology: Outline of an Ambitious Research Agenda for Evolutionary Economics“, in: Journal of Economic Methodology, Vol. 11, No. 2, 2004, pp. 213-247.
- Vuillemin, Jules (1960) „Mathématiques et Métaphysique chez Descartes“, Paris: Presses Universitaires de France, 1960.
- Vymetal, Dominik; Hucka, Miroslav; Hunka, Frantisek; Kasik, Josef (2008) „Production Planning Model Using REA Ontology“, in: E&M Economics and Management, Vol. 2008, No. 4, 2008, pp. 93-102.
- Vymetal, Dominik; Hunka, Frantisek; Hucka, Miroslav; Kasik, Josef (2010) „Enterprise Modeling: Process and REA Value Chain Perspective“, Silesian University - School of Business Administration, VSB-TU, Working Paper, 2010.
- Wachter, Daniel von (2004) „Ontologie und Semantologie“, in: „Semantik und Ontologie. Beiträge zur philosophischen Forschung“, hrsg. v. Siebel, Mark; Textor, Mark, Frankfurt/Main: Ontos, 2004, S. 267-279.
- Wachter, Daniel von (2008) „Substanzen phänomenologisch untersucht - Roman Ingardens Substanzontologie“, in: „Substantia - sic et non. eine Geschichte des Substanzbegriffs von der Antike bis zur Gegenwart in Einzelbeiträgen“, hrsg. v. Gutschmidt, Holger, Frankfurt/Main et al.: Ontos, 2008, S. 473-488.
- Waddington, Conrad H. (1977) „Whitehead and Modern Science“, in: „Mind in Nature: Essays on the Interface of Science and Philosophy“, ed. by Cobb, John B., Jr.; Griffin, David Ray, Washington: Univ. Pr. of America, 1977, pp. 143-146.
- Wagner, Gerd (2011) „Ontologies and Rules for Enterprise Modeling and Simulation“, IEEE 15th International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops, Aug. 29 to Sept. 2, 2011, Helsinki/Finland, 2011, pp. 385-394.
- Wahlster, Wolfgang (1977) „Die Repräsentation von vagem Wissen in natürlichsprachlichen Systemen der Künstlichen Intelligenz“, Univ. Hamburg, Institut für Informatik, Bericht Nr. 38, Juli 1977, 1977.
- Wahlster, Wolfgang (2013) „The Semantic Product Memory: An Interactive Black Box for Smart Objects“, in: „SemProM. Foundations of Semantic Product Memories for the Internet of Things“, ed. by Wahlster, Wolfgang, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 3-21.

Bibliographie

- Waldrop, M. Mitchell (1992) „Complexity. The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos“, New York et al.: Simon and Schuster, 1992.
- Walker, Ralph C.S. (1989) „The Coherence Theory of Truth. Realism, Anti-realism, Idealism“, London et al.: Routledge, 1989.
- Wallace, Richard S. (2009) „The Anatomy of A.L.I.C.E.“, in: „Parsing the Turing Test. Philosophical and Methodological Issues in the Quest for the Thinking Computer“, ed. by Epstein, Robert et al., Dordrecht et al.: Springer, 2009, pp. 181-210.
- Wallerstein, Immanuel et al. (1996) „Open the Social Sciences“, Report of the Gulbenkian Commission on the Restructuring of the Social Sciences, Stanford/Calif.: Stanford Univ. Pr., 1996.
- Walsh, William H. (1963) „Metaphysics“, London: Hutchinson, 1963.
- Walsh, William H. (1967) „Metaphysics, Nature of“, in: „The Encyclopedia of Philosophy“, ed. by Edwards, Paul; Borchert, Donald M., Vol. 5, New York: Macmillan, 1967, pp. 300-307.
- Walton, Abram L.J.; Tomovic, Cynthia L.; Grieves, Michael W. (2013) „Product Lifecycle Management: Measuring What Is Important - Product Lifecycle Implementation Maturity Model“, in: „Product Lifecycle Management for Society“, ed. by Bernard, Alain et al., 10th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2013, Nantes, France, July 6-10, 2013, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 406-421.
- Waltz, David L. (1988) „The Prospects for Building Truly Intelligent Machines“, in: *Daedalus*, Vol. 117, No. 1, 1988, pp. 191-212.
- Walzer, Karen; Rode, Jochen; Wunsch, Daniela; Groch, Matthias (2008) „Event-Driven Manufacturing: Unified Management of Primitive and Complex Events for Manufacturing Monitoring and Control“, IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS 2008), Dresden, 21-23 May, 2008, pp. 383-391.
- Wand, Yair (1989) „An Ontological Foundation for Information Systems Design Theory“, in: „Proceedings of the IFIP 8.4 Working Conference on Office Information Systems: The Design Process, Linz, Austria, August 1988“, ed. by Pernici, Barbara; Verrijn-Stuart, Adolf Alexander, Amsterdam: North-Holland, 1989, pp. 201-221.
- Wand, Yair (1996) „Ontology as a Foundation for Meta-modelling and Method Engineering“, in: *Information and Software Technology*, Vol. 38, No. 4, 1996, pp. 281-287.
- Wand, Yair; Monarchi, David E.; Parsons, Jeffrey; Woo, Carson C. (1995) „Theoretical Foundations for Conceptual Modelling in Information Systems Development“, in: *Decision Support Systems*, Vol. 15, 1995, pp. 285-304.
- Wand, Yair; Storey, Veda C.; Weber, Ron (1999) „An Ontological Analysis of the Relationship Construct in Conceptual Modeling“, in: *ACM Transactions on Database Systems*, Vol. 24, No. 4, 1999, pp. 494-528.
- Wand, Yair; Wang, Richard Y. (1996) „Anchoring Data Quality Dimensions in Ontological Foundations“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 39, No. 11, 1996, pp. 86-95.
- Wand, Yair; Weber, Ron (1988) „An Ontological Analysis of Some Fundamental Information Systems Concepts“, in: „Proceedings of the Ninth International Conference on Information Systems“, ed. by DeGross, Janice I.; Olson, Margrethe H., Nov., Minneapolis/Minneapolis, 1988, pp. 213-225.
- Wand, Yair; Weber, Ron (1989a) „A Model of Control and Audit Procedure Change in Evolving Data Processing Systems“, in: *Accounting Review*, Vol. 64, No. 1, 1989, pp. 87-107.
- Wand, Yair; Weber, Ron (1989b) „An Ontological Evaluation of Systems Analysis and Design Methods“, in: „Information System Concepts: An In-depth Analysis“, ed. by Falkenberg, Eckhard D.; Lindgreen, Paul, Amsterdam: North-Holland, 1989, pp. 79-107.
- Wand, Yair; Weber, Ron (1990a) „Mario Bunge's Ontology as a Formal Foundation for Information Systems Concepts“, in: „Studies on Mario Bunge's Treatise“, ed. by Weingartner, Paul; Dorn, Georg J.W., Amsterdam, Atlanta/GA: Rodopi, 1990, pp. 123-150.
- Wand, Yair; Weber, Ron (1990b) „Toward a Theory of the Deep Structure of Information Systems“, in: „International Conference on Information Systems“, ed. by DeGross, Janice I.; Alavi, Maryam; Oppelland, Hans J., Copenhagen, 1990, pp. 61-71.
- Wand, Yair; Weber, Ron (1990c) „An Ontological Model of an Information System“, in: *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. 16, No. 11, 1990, pp. 1282-1292.
- Wand, Yair; Weber, Ron (1995) „On the Deep Structure of Information Systems“, in: *Information Systems Journal*, Vol. 5, No. 3, 1995, pp. 203-223.
- Wand, Yair; Weber, Ron (2002) „Research Commentary: Information Systems and Conceptual Modeling - A Research Agenda“, in: *Information Systems Research*, Vol. 13, No. 4, 2002, pp. 363-376.
- Wand, Yair; Weber, Ron (2004) „Reflection: Ontology in Information Systems - Foreword“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 15, No. 2, 2004, pp. iii-vi.

Bibliographie

- Wand, Yair; Weber, Ron (2006) „On Ontological Foundations of Conceptual Modelling: A Response to Wysusek“, in: *Scandinavian Journal of Information Systems*, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 127-138.
- Wang, Di; Rundensteiner, Elke A.; Ellison, Richard T. III (2011) „Active Complex Event Processing over Event Streams“, *Proceedings of the VLDB Endowment*, Vol. 4, No. 10, 2011, pp. 634-645.
- Wang, Dingxian; Liu, Xiao; He, Zheng; Fan, Xiaoliang (2014) „The Design of a Workflow Recommendation System for Workflow as a Service in the Cloud“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Lohmann, Niels et al., *BPM 2013 International Workshops*, Beijing, China, August 26, 2013, Revised Papers, Cham et al.: Springer, 2014, pp. 251-263.
- Wang, Dongbo; Chen, Bing; Fan, Yangxi; Fu, Leijin (2009) „Research on Multi Autonomous Objects Flexible Workflow based on Complex Adaptive System“, *1st International Conference on Information Science and Engineering (ICISE)*, Nanjing, 26-28 Dec., 2009, pp. 3024-3027.
- Wang, Fei-Yue (2007) „Toward a Paradigm Shift in Social Computing: The ACP Approach“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 22, No. 5, 2007, pp. 65-67.
- Wang, Fei-Yue (2010) „The Emergence of Intelligent Enterprises: From CPS to CPSS“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 25, No. 4, 2010, pp. 85-88.
- Wang, Fei-Yue (2016) „Control 5.0: From Newton to Merton in Popper's Cyber-Social-Physical Spaces“, in: *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, Vol. 3, No. 3, 2016, pp. 233-234.
- Wang, Fei-Yue; Carley, Kathleen M.; Zeng, Daniel; Mao, Wenji (2007) „Social Computing: From Social Informatics to Social Intelligence“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 22, No. 2, 2007, pp. 79-83.
- Wang, Feng; Hu, Liang; Zhou, Jin; Zhao, Kuo (2015) „A Data Processing Middleware Based on SOA for the Internet of Things“, in: *Journal of Sensors*, Vol. 2015, Article ID 827045, 2015, pp. 1-8.
- Wang, Fusheng; Liu, Shaorong; Liu, Peiya (2009) „Complex RFID Event Processing“, in: *The VLDB Journal*, Vol. 18, No. 4, 2009, pp. 913-931.
- Wang, Fusheng; Liu, Shaorong; Liu, Peiya; Bai, Yijian (2006) „Bridging Physical and Virtual Worlds: Complex Event Processing for RFID Data Streams“, in: „Advances in Database Technology - EDBT 2006“, ed. by Ioannidis, Yannis et al., *10th International Conference on Extending Database Technology (EDBT'2006)*, Munich/Germany, March 26-31, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 588-607.
- Wang, Hai H.; Gibbins, Nick; Payne, Terry R.; Redavid, Domenico (2012) „A Formal Model of the Semantic Web Service Ontology (WSMO)“, in: *Information Systems*, Vol. 37, No. 1, 2012, pp. 33-60.
- Wang, Jianhua; Cheng, Lianglun; Liu, Jun (2014) „A Complex Event Detection Method for multiprobability RFID Event Stream“, in: *Journal of Software*, Vol. 9, No. 4, 2014, pp. 834-840.
- Wang, K.C. (2017) „Embedded and Real-Time Operating Systems“, Cham et al.: Springer, 2017.
- Wang, Liangbin; Zhu, Guojin (2004) „Developing an XML Schema of BWW Ontologies for Semantic Web“, *7th Int. Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks*, 10-12 May, 2004, Proceedings, 2004, pp. 220-225.
- Wang, P.P.; Ming, X.G.; Wu, Z.Y.; Zheng, M.K.; Xu, Z.T. (2014) „Research on Industrial Product-Service Configuration Driven by Value Demands based on Ontology Modeling“, in: *Computers in Industry*, Vol. 65, No. 2, 2014, pp. 247-257.
- Wang, P.P.; Ming, X.G.; Zheng, M.K. (2016) „A Framework of Value Creation for Industrial Product-Service“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., *12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015*, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 311-320.
- Wang, Shiguang; Wang, Dong; Su, Lu; Kaplan, Lance; Abdelzaher, Tarek (2014) „Towards Cyber-physical Systems in Social Spaces: The Data Reliability Challenge“, *2014 IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS)*, Rome, 2-5 Dec., 2014, pp. 74-85.
- Wang, Shiyong; Wan, Jiafu; Zhang, Daqiang; Li, Di; Zhang, Chunhua (2016) „Towards Smart Factory for Industry 4.0: A Self-Organized Multi-Agent System with Big Data based Feedback and Coordination“, in: *Computer Networks*, Vol. 101, 2016, pp. 158-168.
- Wang, Shuying; Brown, Kevin P.; Lu, Jinghui; Capretz, Miriam (2013) „A Reference Ontology Based Approach for Service Oriented Semantic Interoperability“, in: „Web Portal Design, Implementation, Integration, and Optimization“, ed. by Polgar, Jana; Adamson, Greg, Hershey/PA: IGI Global, 2013, pp. 1-16.
- Wang, Wei; De, Suparna; Cassar, Gilbert; Moessner, Klaus (2013) „Knowledge Representation in the Internet of Things: Semantic Modelling and its Applications“, in: *Automatika*, Vol. 54, No. 4, 2013, pp. 388-400.
- Wang, Wei; De, Suparna; Toenjes, Ralf; Reetz, Eike; Moessner, Klaus (2012) „A Comprehensive Ontology for Knowledge Representation in the Internet of Things“, *IEEE 11th International Conference on Trust, Security and Privacy in Computing and Communications*, Liverpool, 25-27 June, 2012, pp. 1793-1798.

Bibliographie

- Wang, Wei; Lee, Kevin; Murray, David (2013) „Building a Generic Architecture for the Internet of Things“, IEEE Eighth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, Melbourne/VIC, 2-5 April, 2013, pp. 333-338.
- Wang, Wenguang; Wang, Weiping; Li, Qun; Yang, Feng (2013) „Ontological, Epistemological, and Teleological Perspectives on Service-Oriented Simulation Frameworks“, in: „Ontology, Epistemology, and Teleology for Modeling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications“, ed. by Tolks, Andreas, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 335-358.
- Wang, Xi Vincent; Xu, Xun W. (2013) „An Interoperable Solution for Cloud Manufacturing“, in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 29, No. 4, 2013, pp. 232-247.
- Wang, Xia; Halang, Wolfgang A. (2013) „Discovery and Selection of Semantic Web Services“, Berlin et al.: Springer, 2013.
- Wang, Yongheng; Cao, Kening (2012) „Context-aware Complex Event Processing for Event Cloud in Internet of Things“, International Conference on Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 25-27 Oct., 2012, pp. 1-6.
- Wang, Yongheng; Cao, Kening; Zhang, Xiaoming (2013) „Complex Event Processing over Distributed Probabilistic Event Streams“, in: Computers & Mathematics with Applications, Vol. 66, No. 10, 2013, pp. 1808-1821.
- Want, Roy; Schilit, Bill N.; Jenson, Scott (2015) „Enabling the Internet of Things“, in: IEEE Computer, Vol. 48, No. 1, 2015, pp. 28-35.
- Warden, Tobias; Porzel, Robert; Gehrke, Jan D.; Herzog, Otthein; Langer, Hagen; Malaka, Rainer (2010) „Towards Ontology-based Multiagent Simulations: The PlaSMA Approach“, in: „Proceedings of the 24th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS), June 1st - 4th, Kuala Lumpur, Malaysia“, ed. by Bargiela, A. et al., 2010, pp. 50-56.
- Wartofsky, Marx W. (1967) „Metaphysics as Heuristic for Science“, ed. by Cohen, Robert S.; Wartofsky, Marx W., Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 3, Dordrecht: D. Reidel, 1967, pp. 123-172.
- Warwick, Kevin (1997) „March of the Machines. Why the New Race of Robots Will Rule the World“, London: Century, 1997.
- Wasmer, Anna; Staub, Günter; Vroom, Regine W. (2011) „An Industry Approach to Shared, Cross-organisational Engineering Change Handling - The Road Towards Standards for Product Data Processing“, in: Computer-Aided Design, Vol. 43, No. 5, 2011, pp. 533-545.
- Wassermann, Christoph (1990) „Mathematische Grundlagen von Whiteheads Religionsphilosophie“, in: „Natur, Subjektivität, Gott. Zur Prozeßphilosophie Alfred N. Whiteheads“, hrsg. v. Holzhey, Helmut; Rust, Alois; Wiehl, Reiner, 1. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1990, S. 240-261.
- Waterman, Michael S. (1984) „Some Applications of Information Theory to Cellular Automata“, in: „Cellular Automata: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, Los Alamos March 7-11, 1983 (Physica D, Vol. 10, Nos. 1/2)“, ed. by Farmer, J. Doyné; Toffoli, Tommaso; Wolfram, Stephen, Amsterdam et al.: North-Holland, 1984, pp. 45-51.
- Watkins, John W.N. (1970) „Against 'Normal Science'“, in: „Criticism and the Growth of Knowledge“, ed. by Lakatos, Imre; Musgrave, Alan, Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science, London, 1965, Vol. 4, Repr., Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 1979, pp. 25-37.
- Watzlawick, Paul (Hrsg.) (1985) „Die erfundene Wirklichkeit“, 2. Aufl., München, Zürich: Piper, 1985.
- Way, Eileen C. (2001) „The Role of Computation in Modeling Evolution“, in: Biosystems, Vol. 60, No. 1-3, 2001, pp. 85-94.
- Weaver, Warren (1948) „Science and Complexity“, in: American Scientist, Vol. 36, No. 4, 1948, pp. 536-544.
- Weber, Max (1909) „Energetische' Kulturtheorien“, in: Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik, Bd. 29, 1909, S. 575-598.
- Weber, Michel (2004) „Introduction. Process Metaphysics in Context“, in: „After Whitehead. Rescher on Process Metaphysics“, ed. by Weber, Michel, Heusenstamm: Ontos, 2004, pp. 41-75.
- Weber, Michel (2007) „PNK's Creative Advance from Formal to Existential Ontology“, in: „Les Principes de la connaissance naturelle d'Alfred North Whitehead/Alfred North Whitehead's Principles of Natural Knowledge“, ed. by Durand, Guillaume; Weber, Michel, Heusenstamm: Ontos, 2007, pp. 259-273.
- Weber, Michel (2008) „Rescher on Process Thought“, in: „Rescher Studies: A Collection of Essays on the Philosophical Work of Nicholas Rescher“, ed. by Almeder, Robert F., Frankfurt et al.: Ontos, 2008, pp. 429-444.
- Weber, Michel (2011) „Introduction: From Formal to Existential Ontology“, in: Logique et Analyse, Vol. 54, No. 214, 2011, pp. 127-133.

Bibliographie

- Weber, Ron (1977) „Implications of Database Management Systems for Auditing Research“, in: „Frontiers of Auditing Research“, ed. by Cushing, Barry E.; Krogstad, Jack L., Austin: Bureau of Business Research, Univ. of Texas at Austin, 1977, pp. 207-243.
- Weber, Ron (1986) „Data Models Research in Accounting: An Evaluation of Wholesale Distribution Software“, in: *Accounting Review*, Vol. 61, No. 3, 1986, pp. 498-518.
- Weber, Ron (1987) „Towards a Theory of Artifacts: A Paradigmatic Base for Information Systems Research“, in: *Journal of Information Systems*, Vol. 1, No. 2, Spring, 1987, pp. 3-19.
- Weber, Ron (1997a) „Ontological Foundations of Information Systems“, Melbourne: Coopers & Lybrand, 1997.
- Weber, Ron (1997b) „The Link Between Data Modeling Approaches and Philosophical Assumptions: A Critique“, ed. by Gupta, Jatinder N.D., Proceedings of the Americas Conference on Information Systems : August 15 - 17, 1997, Indianapolis, Indiana, USA, Indianapolis, Indiana, 1997, pp. 306-308.
- Weber, Ron (2003a) „Conceptual Modelling and Ontology: Possibilities and Pitfalls“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 14, No. 3, 2003, pp. 1-20.
- Weber, Ron (2003b) „Still Desperately Seeking the IT Artifact“, in: *MIS Quarterly*, Vol. 27, No. 2, 2003, pp. iii-xi.
- Weber, Ron; Zhang, Yanchun (1996) „An Analytical Evaluation of NIAM's Grammar for Conceptual Schema Diagrams“, in: *Information Systems Journal*, Vol. 6, No. 2, 1996, pp. 147-170.
- webMethods (2006) „Business Activity Monitoring (BAM): The New Face of BPM“, White Paper, June, 2006.
- Wegner, Peter (1995) „Interaction as a Basis for Empirical Computer Science“, in: *ACM Computing Surveys*, Vol. 27, No. 1, 1995, pp. 45-48.
- Weichhart, Georg (2013) „Supporting Interoperability for Chaotic and Complex Adaptive Enterprise Systems“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2013 Workshops“, ed. by Demey, Yan Tang; Panetto, Hervé, Graz, Austria, September 9-13, 2013, Proceedings, Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 86-92.
- Weichhart, Georg; Hämmerle, Alexander; Fessl, Kurt (2002) „Service-Oriented Concept of a Holonic Enterprise - Enabling Adaptive Networks along the Value Chain“, in: „Knowledge and Technology Integration in Production and Services. Balancing Knowledge and Technology in Product and Service Life Cycle“, ed. by Marik, Vladimír et al., New York/NY: Springer, 2002, pp. 289-296.
- Weichhart, Georg; Molina, Arturo; Chen, David; Whitman, Lawrence E.; Vernadat, François (2016) „Challenges and Current Developments for Sensing, Smart and Sustainable Enterprise Systems“, in: *Computers in Industry*, Vol. 79, 2016, pp. 34-46.
- Weichhart, Georg; Naudet, Yannick (2014) „Ontology of Enterprise Interoperability Extended for Complex Adaptive Systems“, in: „On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2014 Workshops“, ed. by Meersman, Robert et al., Berlin et al.: Springer, 2014, pp. 219-228.
- Weidlich, Matthias; Ziekow, Holger; Mendling, Jan (2011b) „Optimising Complex Event Queries over Business Processes Using Behavioural Profiles“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by Zur Mühlen, Michael; Su, Jianwen, BPM 2010 International Workshops and Education Track, Hoboken, NJ, USA, September 13-15, 2010, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 743-754.
- Weidlich, Matthias; Ziekow, Holger; Mendling, Jan; Günther, Oliver; Weske, Mathias; Desai, Nirmal (2011a) „Event-Based Monitoring of Process Execution Violations“, in: „Business Process Management“, ed. by Rinderle-Ma, Stefanie et al., 9th International Conference, BPM 2011, Clermont-Ferrand, France, August 30 - September 2, 2011, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 182-198.
- Weidner, Karl (1917) „Über die Bedeutung der mathematischen Logik“, Diss., Univ. Bonn, Bonn: Georgi, 1917.
- Weigand, Hans; Elsas, Philip (2012a) „Construction and Use of Environmental Management Accounting Systems with the REA Business Ontology“, in: *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, Vol. 9, No. 1, 2012, pp. 25-46.
- Weigand, Hans; Elsas, Philip (2012c) „Environmental Management Accounting and the REA Business Ontology - How to Green REA“, 2012.
- Weigand, Hans; Johannesson, Paul; Andersson, Birger; Bergholtz, Maria (2009) „Value-Based Service Modeling and Design: Toward a Unified View of Services“, in: „Advanced Information Systems Engineering“, ed. by Van Eck, Pascal et al., 21st International Conference, CAiSE 2009, Amsterdam, The Netherlands, June 8-12, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 410-424.

Bibliographie

- Weigand, Hans; Johannesson, Paul; Andersson, Birger; Bergholtz, Maria; Edirisuriya, Ananda et al. (2008) „Value-based Service Design Based On A General Service Architecture“, Proc. BUSITAL 2008, Montpellier, France, 2008.
- Weigand, Hans; Johannesson, Paul; Andersson, Birger; Bergholtz, Maria; Edirisuriya, Ananda; Ilayperuma, Tharaka (2007a) „Strategic Analysis Using Value Modeling - the c3-Value Approach“, Proceedings of the 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07), Waikoloa/HI, 2007, pp. 175c.
- Weigand, Hans; Johannesson, Paul; Andersson, Birger; Bergholtz, Maria; Edirisuriya, Ananda; Ilayperuma, Tharaka (2007b) „Value Object Analysis and the Transformation from Value Model to Process Model“, in: „Enterprise Interoperability. New Challenges and Approaches“, ed. by Doumeingts, Guy et al., London et al.: Springer, 2007, pp. 55-65.
- Wein, Hermann (1950) „Heutiges Verhältnis und Missverhältnis von Philosophie und Naturwissenschaft“, in: *Philosophia Naturalis*, Bd. 1, Nr. 1, 1950, S. 56-75.
- Wein, Hermann (1954) „Zugang zu philosophischer Kosmologie“, München: Oldenbourg, 1954.
- Wein, Hermann (1961) „In Defence of the Humanism of Science: Kant and Whitehead“, in: „The Relevance of Whitehead“, ed. by Leclerc, Ivor, London: Allen & Unwin, 1961, pp. 289-315.
- Weinberg, Steven (1994) „Dreams of a Final Theory“, New York/NY: Vintage Books, 1994.
- Weiser, Mark (1991) „The Computer for the 21st Century“, in: *Scientific American*, Vol. 265, No. 3, 1991, pp. 94-104.
- Weiser, Mark (1993a) „Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 7, 1993, pp. 75-84.
- Weiser, Mark (1993b) „Ubiquitous Computing“, in: *IEEE Computer*, Vol. 26, No. 10, 1993, pp. 71-72.
- Weiß, Gerhard (ed.) (1999) „Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1999.
- Weiss, Paul (1936) „The Nature and Status of Time and Passage“, in: „Philosophical Essays for Alfred North Whitehead“, ed. by Lee, Otis H., New York: Longmans, 1936, pp. 153-173.
- Weiss, Paul (1938) „Reality“, Repr., New York: Smith, 1949.
- Weiss, Paul (1954) „The Four Dimensions of Reality“, in: *Review of Metaphysics*, Vol. 7, No. 4, 1954, pp. 558-562.
- Weiss, Paul (1961) „History and Objective Immortality“, in: „The Relevance of Whitehead“, ed. by Leclerc, Ivor, London: Allen & Unwin, 1961, pp. 319-332.
- Weiss, Paul (1968) „A Memorandum for a System of Philosophy“, in: „American Philosophy Today and Tomorrow“, ed. by Kallen, Horace M.; Hook, Sidney, Freeport/N.Y.: Books for Libraries Pr., 1968, pp. 489-498.
- Weizenbaum, Joseph (1966) „ELIZA - A Computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine“, in: *Communications of the ACM*, Vol. 9, No. 1, 1966, pp. 36-45.
- Weizsäcker, C. Friedrich von (1948) „Die Geschichte der Natur. Zwölf Vorlesungen“, 4. Aufl., Göttingen: Vandenhoeck u. Ruprecht, 1958.
- Weizsäcker, C. Friedrich von (1958) „Zum Weltbild der Physik“, 7., erw. Aufl., Stuttgart: Hirzel, 1958.
- Weizsäcker, C. Friedrich von (1969) „Die Rolle der Wissenschaft“, in: „Das 19. Jahrhundert. Eine Team-Prognose für 1970 bis 1980“, hrsg. v. Grossner, Claus et al., Hamburg: Wegner, 1969, S. 495-510.
- Weizsäcker, C. Friedrich von (1973a) „Probability and Quantum Mechanics“, in: *British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 24, No. 4, 1973, pp. 321-337.
- Weizsäcker, C. Friedrich von (1973b) „Physics and Philosophy“, in: „The Physicist's Conception of Nature“, ed. by Mehra, Jagdish, Dordrecht: Reidel, 1973, pp. 736-746.
- Weizsäcker, C. Friedrich von (1974) „Die Einheit der Natur“, München: Dt. Taschenbuch-Verl., 1974.
- Weizsäcker, C. Friedrich von (1985) „A Reconstruction of Quantum Theory and the Problem of its Application to the Mind“, in: „Recent Developments in Quantum Logic“, ed. by Mittelstaedt, Peter; Stachow, Ernst-Walther, Mannheim et al.: Bibliogr. Inst., 1985, pp. 35-43.
- Weizsäcker, Ernst von (1989) „Brückenkonzepte zwischen Natur- und Sozialwissenschaften: Selbstorganisation, offene Systeme und Evolution“, 2., unveränd. Aufl., Sozial-ökologische Arbeitspapiere Nr. 17, Frankfurt/Main: Verl. für Interkulturelle Kommunikation, 1989.
- Welker, Michael (1990) „Warum entwickeln Hegel und Whitehead eine universale Theorie?“, in: „Whitehead und der deutsche Idealismus - Whitehead and German Idealism“, hrsg. v. Lucas, George R., Jr.; Braeckman, Antoon, Bern et al.: Peter Lang, 1990, S. 57-66.

Bibliographie

- Weller, Michael P.; Gross, Mark D.; Goldstein, Seth C. (2011) „Hyperform Specification: Designing and Interacting with Self-Reconfiguring Materials“, in: *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 15, No. 2, 2011, pp. 133-149.
- Wells, Rulon S. (1951) „Frege's Ontology“, in: *Review of Metaphysics*, Vol. 4, No. 4, 1951, pp. 537-573.
- Welty, Christopher A. (2002a) „Panel: Are Upper-Level Ontologies Worth the Effort?“, in: „Principles of Knowledge Representation and Reasoning“, ed. by Fensel, Dieter et al., *Proceedings of the Eighth International Conference (KR2002)*, Toulouse, France, April 22-25, 2002, San Francisco/Calif.: Morgan Kaufmann, 2002, p. 632.
- Welty, Christopher A. (2002b) „Are Upper-Level Ontologies Worth the Effort?“, *KR-2002 Panel/Debate, Presentation*, 2002.
- Welty, Christopher A.; Andersen, William (2005) „Towards OntoClean 2.0: A Framework for Rigidity“, in: *Applied Ontology*, Vol. 1, No. 1, 2005, pp. 107-116.
- Welty, Christopher A.; Barker, Ken; Aroyo, Lora; Arora, Shilpa (2012) „Query Driven Hypothesis Generation for Answering Queries over NLP Graphs“, in: „The Semantic Web - ISWC 2012“, ed. by Cudré-Mauroux, Philippe et al., *11th International Semantic Web Conference*, Boston, MA, USA, November 11-15, 2012, *Proceedings, Part II*, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 228-242.
- Welty, Christopher A.; Fikes, Richard (2006) „A Reusable Ontology for Fluents in OWL“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, *Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006)*, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 226-236.
- Welty, Christopher A.; Guarino, Nicola (2001) „Supporting Ontological Analysis of Taxonomic Relationships“, in: *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 39, No. 1, 2001, pp. 51-74.
- Welty, Christopher A.; Murdock, J. William; Kalyanpur, Aditya; Fan, James (2012) „A Comparison of Hard Filters and Soft Evidence for Answer Typing in Watson“, in: „The Semantic Web - ISWC 2012“, ed. by Cudré-Mauroux, Philippe et al., *11th International Semantic Web Conference*, Boston, MA, USA, November 11-15, 2012, *Proceedings, Part II*, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 243-256.
- Wendel, Hans Jürgen (1993) „Die Grenzen des Naturalismus“, in: „Rehabilitierung des Subjektiven“, hrsg. v. Großheim, Michael; Waschkes, Hans-Joachim, Bonn: Bouvier, 1993, S. 85-109.
- West, Matthew (2002) „A Spatio-temporal Model of Activity and State“, *Working Paper, Preparation for the National Science Foundation ACTOR 2002 Conference*, 2002.
- West, Matthew (2003) „Replaceable Parts: A Four Dimensional Analysis“, *COSIT'03 - Workshop on Fundamental Issues in Spatial and Geographic Ontologies*, 2003.
- West, Matthew (2004) „Some Industrial Experiences in the Development and Use of Ontologies“, in: „Core Ontologies in Ontology Engineering 2004. (Un)Successful Cases and Best Practices for Ontology Engineering: Reusing Well-founded Ontologies for Domain Content Specification“, ed. by Gangemi, Aldo; Borgo, Stefano, *Proceedings of the EKAW*04 Workshop on Core Ontologies in Ontology Engineering*, Northamptonshire (UK), October 8, 2004.
- West, Matthew (2006) „A Response to 'Against Idiosyncrasy in Ontology Development' by Barry Smith“, 2006.
- West, Matthew (2008) „Roles: A Four-Dimensional Analysis“, in: „Formal Ontologies Meet Industry“, ed. by Borgo, Stefano; Lesmo, Leonardo, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 45-55.
- West, Matthew (2009) „Ontology Meets Business - Applying Ontology to the Development of Business Information Systems“, in: „Complex Systems in Knowledge-based Environments: Theory, Models and Applications“, ed. by Tolk, Andreas; Jain, Lakhmi C., Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 229-260.
- West, Matthew (2011) „Developing High Quality Data Models“, Burlington/MA: Morgan Kaufmann, 2011.
- West, Matthew; Partridge, Chris; Lycett, Mark (2006) „Enterprise Data Modelling: Developing an Ontology-Based Framework for the Shell Downstream Business“, *Second Formal Ontologies Meet Industry Workshop (FOMI 2006)*, Trento, Italy, December 14-15, 2006.
- Westerhoff, Jan C. (1999) „Poeta Calculans: Harsdörffer, Leibniz, and the 'Mathesis Universalis'“, in: *Journal of the History of Ideas*, Vol. 60, No. 3, 1999, pp. 449-467.
- Westerhoff, Jan C. (2002) „Defining 'Ontological Category'“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society*, Vol. 102, 2002, pp. 337-343.
- Westerhoff, Jan C. (2004) „The Construction of Ontological Categories“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 82, No. 4, 2004, pp. 595-620.
- Westerhoff, Jan C. (2005) „Ontological Categories: Their Nature and Significance“, Oxford: Clarendon Pr., 2005.

Bibliographie

- Westkämper, Engelbert; Jendoubi, Lamine; Eissele, Mike; Ertl, Thomas (2005) „Smart Factory - Bridging the Gap Between Digital Planning and Reality“, The 38th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, May 16/18, 2005, Florianópolis/SC, Brazil, 2005.
- Weyrich, Michael; Ebert, Christof (2016) „Reference Architectures for the Internet of Things“, in: IEEE Software, Vol. 33, No. 1, 2016, pp. 112-116.
- Wheeler, Gregory R.; Pereira, Luís Moniz (2004) „Epistemology and Artificial Intelligence“, in: Journal of Applied Logic, Vol. 2, No. 4, 2004, pp. 469-493.
- Wheeler, John A. (1975) „The Universe as Home for Man“, in: „The Nature of Scientific Discovery“, ed. by Gingerich, Owen, Washington/D.C.: Smithsonian Inst. Pr., 1975, pp. 261-296.
- Wheeler, John A. (1977) „Genesis and Observership“, in: „Foundational Problems in the Special Sciences“, ed. by Butts, Robert E.; Hintikka, Jaakko, Dordrecht: D. Reidel, 1977, pp. 3-33.
- Wheeler, John A. (1982) „The Computer and the Universe“, in: International Journal of Theoretical Physics, Vol. 21, Nos. 6/7, 1982, pp. 557-572.
- Wheeler, John A. (1983) „Law Without Law“, in: „Quantum Theory and Measurement“, ed. by Wheeler, John A.; Zurek, Wojciech H., Princeton/N.J.: Princeton Univ. Pr., 1983, pp. 182-213.
- Wheeler, John A. (1988) „World as System Self-Synthesized by Quantum Networking“, in: IBM Journal of Research and Development, Vol. 32, No. 1, 1988, pp. 4-15.
- Wheeler, John A. (1990) „Information, Physics, Quantum: The Search for Links“, in: „Complexity, Entropy and the Physics of Information“, ed. by Zurek, Wojciech H., (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings, Vol. 8), Cambridge/Mass.: Perseus, 1990, pp. 3-28.
- Wheeler, John A. (1994) „At Home in the Universe“, Woodbury/NY: American Institute of Physics Pr., 1994.
- Wheeler, John A. (1998) „Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics“, New York et al.: Norton, 1998.
- Wheeler, Michael (1995) „Escaping from the Cartesian Mind-Set: Heidegger and Artificial Life“, ed. by Morán, Federico et al., Proceedings Third European Conference on Artificial Life, Granada/Spain, June 4-6, Berlin et al.: Springer, 1995, pp. 65-76.
- Wheeler, Michael (2005a) „Friends Reunited? Evolutionary Robotics and Representational Explanation“, in: Artificial Life, Vol. 11, No. 1/2, 2005, pp. 215-231.
- Wheeler, Michael (2005b) „Reconstructing the Cognitive World: The Next Step“, Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2005.
- Wheeler, Michael (2008a) „Cognition in Context: Phenomenology, Situated Robotics, and the Frame Problem“, in: International Journal of Philosophical Studies, Vol. 16, No. 3, 2008, pp. 323-349.
- Wheeler, Michael (2008b) „The Fourth Way: A Comment on Halpin's 'Philosophical Engineering'“, in: APA Newsletters, Vol. 8, No. 1, 2008, pp. 9-12.
- Wheeler, Michael (2012) „Naturalizing Dasein and Other (Alleged) Heresies“, in: „Heidegger and Cognitive Science“, ed. by Kiverstein, Julian; Wheeler, Michael, Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2012, pp. 176-212.
- Whitby, Blay (1996) „The Turing Test: AI's Biggest Blind Alley?“, in: „Machines and Thought. The Legacy of Alan Turing“, ed. by Millican, Peter J.R.; Clark, Andy, Vol. I, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1996, pp. 53-62.
- White, Roger M. (2006) „Wittgenstein's 'Tractatus Logico-Philosophicus': A Reader's Guide“, London et al.: Bloomsbury, 2006.
- White, Stephen A. (2006) „Introduction to BPMN“, Presentation, IBM Software Group, 2006.
- White, Stephen A.; Miers, Derek (2008) „BPMN Modeling and Reference Guide. Understanding and Using BPMN“, Lighthouse Point/Fl.: Future Strategies, 2008.
- Whitehead, Alfred N. (1898) „A Treatise on Universal Algebra with Applications“, New York: Hafner, 1960.
- Whitehead, Alfred N. (1901) „Memoir on the Algebra of Symbolic Logic, Part I“, in: American Journal of Mathematics, Vol. 23, No. 2, 1901, pp. 139-165.
- Whitehead, Alfred N. (1906) „On Mathematical Concepts of the Material World“, in: Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser. A, Vol. 205, 1906, pp. 465-525.
- Whitehead, Alfred N. (1911) „An Introduction to Mathematics“, Repr., Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 1958.
- Whitehead, Alfred N. (1917) „The Organisation of Thought“, Repr., Westport/Conn.: Greenwood Pr., 1974.
- Whitehead, Alfred N. (1919) „An Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge“, Repr. of the 2nd ed. 1925, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1955.
- Whitehead, Alfred N. (1920) „The Concept of Nature“, Repr., Amherst/N.Y.: Prometheus, 2004.

Bibliographie

- Whitehead, Alfred N. (1922a) „Principle of Relativity“, Repr., New York: Barnes and Noble, 2005.
- Whitehead, Alfred N. (1922b) „The Philosophical Aspects of the Principle of Relativity“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, Vol. 22, 1922, pp. 215-223.
- Whitehead, Alfred N. (1922c) „Discussion: The Idealistic Interpretation of Einstein's Theory“, in: Proceedings of the Aristotelian Society, Vol. 22, 1922, pp. 130-134.
- Whitehead, Alfred N. (1925) „Science and the Modern World“, Repr., New York/N.Y.: Free Pr., 1967.
- Whitehead, Alfred N. (1927) „Symbolism. Its Meaning and Effect“, Repr., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1958.
- Whitehead, Alfred N. (1929a) „Process and Reality. An Essay in Cosmology“, ed. by Griffin, David Ray; Sherburne, Donald W., corrected ed., New York: Free Pr., 1985.
- Whitehead, Alfred N. (1929b) „The Function of Reason“, 6th Pr., Boston: Beacon Pr., 1969.
- Whitehead, Alfred N. (1929c) „The Aims of Education“, New York: Mentor, 1949.
- Whitehead, Alfred N. (1933) „Adventures of Ideas“, Repr., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1947.
- Whitehead, Alfred N. (1934a) „Nature and Life“, Repr., New York: Greenwood Pr., 1968.
- Whitehead, Alfred N. (1934b) „Indication, Classes, Numbers, Validation“, in: Mind, N.S., Vol. 43, No. 171, 1934, pp. 281-297.
- Whitehead, Alfred N. (1937) „Remarks“, in: Philosophical Review, Vol. 46, No. 2, 1937, pp. 178-186.
- Whitehead, Alfred N. (1938) „Modes of Thought“, Repr., New York: Free Pr., 1968.
- Whitehead, Alfred N. (1941a) „Autobiographical Notes“, in: „The Philosophy of Alfred North Whitehead“, ed. by Schilpp, Paul A., Evanston, Chicago: Northwestern Univ., 1941, pp. 1-14.
- Whitehead, Alfred N. (1941b) „Mathematics and The Good“, in: „The Philosophy of Alfred North Whitehead“, ed. by Schilpp, Paul A., Evanston, Chicago: Northwestern Univ., 1941, pp. 666-681.
- Whitehead, Alfred N. (1941c) „Immortality“, in: „The Philosophy of Alfred North Whitehead“, ed. by Schilpp, Paul A., Evanston, Chicago: Northwestern Univ., 1941, pp. 682-700.
- Whitehead, Alfred N. (1947) „Essays in Science and Philosophy“, New York: Philosophical Library, 1947.
- Whitehead, Alfred N. (1954) „Dialogues of Alfred North Whitehead“, Boston: Little, Brown, 1954.
- Whitehead, Alfred N.; Russell, Bertrand (1910-13) „Principia Mathematica“, 1910-13, 3 Vols., Cambridge: Cambridge Univ. Pr.
- Whittaker, Edmund T. (1948) „Alfred North Whitehead. 1861-1947“, in: Obituary Notices of Fellows of the Royal Society, Vol. 6, No. 17, 1948, pp. 280-296.
- Whittemore, Robert C. (1956) „Hegel's 'Science' and Whitehead's 'Modern World'“, in: Philosophy, Vol. 31, No. 116, 1956, pp. 36-54.
- Whorf, Benjamin Lee (1956) „Language, Thought, and Reality: Selected Writings of Benjamin Lee Whorf“, ed. by Carroll, John B., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1956.
- Whyte, Lancelot L. (1929) „Über die Eigenschaften einer einheitlichen physikalischen Theorie“, in: Zeitschrift für Physik, Bd. 56, Nr. 11/12, 1929, S. 809-817.
- Whyte, Lancelot L. (1931) „Critique of Physics“, London: Kegan Paul, Trench, Trubner, 1931.
- Whyte, Lancelot L. (1949) „The Unitary Principle in Physics and Biology“, London: Cresset Pr., 1949.
- Whyte, Lancelot L. (1951) „Aspects of Form“, Bloomington: Indiana Univ. Pr., 1951.
- Whyte, Lancelot L. (1955a) „Note on the Structural Philosophy of Organism“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 5, No. 20, 1955, pp. 332-334.
- Whyte, Lancelot L. (1955b) „Accent on Form. An Anticipation of the Science of Tomorrow“, London: Routledge and Kegan Paul, 1955.
- Whyte, Lancelot L. (1955c) „One-Way Processes in Physics and Biophysics“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 6, No. 22, 1955, pp. 107-121.
- Whyte, Lancelot L. (1957a) „On the Relation of Physical Laws to the Processes of Organisms“, in: British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 7, No. 28, 1957, pp. 347-350.
- Whyte, Lancelot L. (1957b) „Letter from a Scientist to an Artist“, in: Leonardo, Vol. 6, No. 4, (Repr. from The Griffin, Vol. 6, No. 10, 1957), 1973, pp. 351-354.
- Whyte, Lancelot L. (1958) „R.J. Boscovich, S.J., F.R.S. (1711-1787), and the Mathematics of Atomism“, in: Notes and Records of the Royal Society of London, Vol. 13, No. 1, 1958, pp. 38-48.
- Whyte, Lancelot L. (1961a) „Essay on Atomism: From Democritus to 1960“, London et al.: Nelson, 1961.
- Whyte, Lancelot L. (1961b) „The Atomic Problem. A Challenge to Physicists and Mathematicians“, London: Allen and Unwin, 1961.

Bibliographie

- Whyte, Lancelot L. (1961c) „Boscovich's Atomism“, in: „Roger Joseph Boscovich S.J., F.R.S., 1711-1787. Studies of his Life and Work on the 250th Anniversary of his Birth“, ed. by Whyte, Lancelot L., London: Allen and Unwin, 1961, pp. 102-126.
- Whyte, Lancelot L. (1963) „Focus and Diversions“, London: Cresset Pr., 1963.
- Whyte, Lancelot L. (1965) „Internal Factors in Evolution“, London: Tavistock Publ., 1965.
- Whyte, Lancelot L. (1968) „Science and Philosophy of Science“, in: „Problems in the Philosophy of Science“, ed. by Lakatos, Imre; Musgrave, Alan, Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science, London, 1965, Vol. 3, Amsterdam: North-Holland, 1968, pp. 138-139.
- Whyte, Lancelot L. (1969a) „On the Frontiers of Science: This Hierarchical Universe“, in: General Semantics Bulletin, No. 36, Alfred Korzybski Memorial Lecture 1969, Address given 18 April 1969, The Harvard Club, New York, 1969, pp. 7-14.
- Whyte, Lancelot L. (1969b) „Structural Hierarchies: A Challenging Class of Physical and Biological Problems“, in: „Hierarchical Structures“, ed. by Whyte, Lancelot L.; Wilson, Albert G.; Wilson, Donna, New York: Elsevier, 1969, pp. 3-16.
- Whyte, Lancelot L. (1973) „The Structural Hierarchy in Organisms“, in: „Unity Through Diversity“, ed. by Gray, William; Rizzo, Nicholas D., A Festschrift for Ludwig von Bertalanffy, New York et al.: Gordon and Breach, 1973, pp. 271-285.
- Wiehl, Reiner (1990) „Whiteheads Kant-Kritik und Kants Kritik am Panpsychismus“, in: „Natur, Subjektivität, Gott. Zur Prozeßphilosophie Alfred N. Whiteheads“, hrsg. v. Holzhey, Helmut; Rust, Alois; Wiehl, Reiner, 1. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp, 1990, S. 198-239.
- Wieland, Matthias; Kaczmarczyk, Peter; Nicklas, Daniela (2008) „Context Integration for Smart Workflows“, PerCom 2008. Sixth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, Hong Kong, 17-21 March, 2008, pp. 239-242.
- Wieland, Matthias; Leymann, Frank; Jendoubi, Lamine; Nicklas, Daniela; Dürr, Frank (2006) „Task-orientierte Anwendungen in einer Smart Factory“, in: „Mobile Informationssysteme - Potentiale, Hindernisse, Einsatz“, hrsg. v. Kirste, Thomas et al., 1. Fachtagung Mobilität und mobile Informationssysteme (MMS), 20.-22. Februar 2006, Passau/Germany, Bonn: Gesellschaft für Informatik, 2006, S. 139-143.
- Wieland, Matthias; Leymann, Frank; Schäfer, Michael; Lucke, Dominik; Constantinescu, Carmen; Westkämper, Engelbert (2010) „Using Context-aware Workflows for Failure Management in a Smart Factory“, UBICOMM 2010: The Fourth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, 2010, pp. 379-384.
- Wieland, Matthias; Martin, Daniel; Kopp, Oliver; Leymann, Frank (2009) „SOEDA: A Method for Specification and Implementation of Applications on a Service-Oriented Event-Driven Architecture“, in: „Business Information Systems“, ed. by Abramowicz, Witold, 12th International Conference, BIS 2009, Poznan, Poland, April 27-29, 2009, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 193-204.
- Wielinga, Bob J.; Schreiber, August Th. (Guis) (1994) „Conceptual Modelling of Large Reusable Knowledge Bases“, in: „Management and Processing of Complex Data Structures“, ed. by Luck, Kai von; Marburger, Heinz, Third Workshop on Information Systems and Artificial Intelligence Hamburg, Germany, February 28-March 2, 1994 Proceedings, Berlin et al.: Springer, 1994, pp. 181-200.
- Wielinga, Bob J.; Schreiber, August Th. (Guis); Breuker, Joost (1993) „Modelling Expertise“, in: „KADS. A Principled Approach to Knowledge-Based System Development“, ed. by Schreiber, August Th. (Guis) et al., London: Academic Pr., 1993, pp. 21-46.
- Wiener, Norbert (1913) „A Comparison Between the Treatment of the Algebra of Relatives by Schroeder and that by Whitehead and Russell“, Ph.D. Harvard Univ., 1913.
- Wiener, Norbert (1914) „A Contribution to the Theory of Relative Position“, in: Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Vol. 17, 1914, pp. 441-449.
- Wiener, Norbert (1917) „Certain Formal Invariances in Boolean Algebras“, in: Transactions of the American Mathematical Society, Vol. 18, No. 1, 1917, pp. 65-72.
- Wiener, Norbert (1948) „Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine“, 10th Pr., New York et al.: Wiley et al., 1952.
- Wiener, Norbert (1965) „Gott und Golem Inc.“, Düsseldorf, Wien: Econ, 1965.
- Wiener, Norbert (1968) „Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschine“, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1968.
- Wiener, Norbert (1993) „Invention. The Care and Feeding of Ideas“, Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1993.
- Wieringa, Roel (1989) „Three Roles of Conceptual Models in Information System Design and Use“, in: „Information System Concepts: An In-depth Analysis“, ed. by Falkenberg, Eckhard D.; Lindgreen, Paul, Amsterdam: North-Holland, 1989, pp. 31-51.

Bibliographie

- Wieringa, Roel (2011) „Real-World Semantics of Conceptual Models“, in: „The Evolution of Conceptual Modeling“, ed. by Kaschek, Roland; Delcambre, Lois, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 1-20.
- Wiesner, Stefan; Freitag, Mike; Westphal, Ingo; Thoben, Klaus-Dieter (2015) „Interactions between Service and Product Lifecycle Management“, in: *Procedia CIRP*, Vol. 30, 2015, pp. 36-41.
- Wiggins, David (1968) „On Being in the Same Place at the Same Time“, in: *Philosophical Review*, Vol. 77, No. 1, 1968, pp. 90-95.
- Wiggins, David (1980) „Sameness and Substance“, Oxford: Basil Blackwell, 1980.
- Wiggins, David (2001) „Sameness and Substance Renewed“, Cambridge et al.: Cambridge Univ. Pr., 2001.
- Wightman, William P.D. (1961) „Whitehead's Empiricism“, in: „The Relevance of Whitehead“, ed. by Leclerc, Ivor, London: Allen & Unwin, 1961, pp. 335-350.
- Wilks, Yorick (2004) „Are Ontologies Distinctive Enough for Computations over Knowledge?“, in: *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 19, No. 1, 2004, pp. 74-76.
- Wilks, Yorick; Brewster, Christopher (2006) „Natural Language Processing as a Foundation of the Semantic Web“, in: *Foundations and Trends in Web Science*, Vol. 1, No. 3-4, 2006, pp. 199-327.
- Williams, Daniel D. (1975) „Philosophy and Faith: A Study in Hegel and Whitehead“, in: „Our Common History as Christians. Essays in Honour of A.C. Outler“, ed. by Deschner, John et al., New York: Oxford Univ. Pr., 1975, pp. 157-175.
- Williams, Donald C. (1951) „The Myth of Passage“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 48, No. 15, 1951, pp. 457-472.
- Williams, Donald C. (1953a) „On the Elements of Being: I“, in: *Review of Metaphysics*, Vol. 7, No. 1, 1953, pp. 3-18.
- Williams, Donald C. (1953b) „On the Elements of Being: II“, in: *Review of Metaphysics*, Vol. 7, No. 2, 1953, pp. 171-192.
- Williams, Donald C. (1986) „Universals and Existents“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 64, No. 1, 1986, pp. 1-14.
- Williams, Theodore J. (1992) „The Purdue Enterprise Reference Architecture“, Instrument Society of America, Research Triangle Park/NC, 1992.
- Williamson, Timothy (2005) „Armchair Philosophy, Metaphysical Modality and Counterfactual Thinking“, in: *Proceedings of the Aristotelian Society*, Vol. 105, No. 1, 2005, pp. 1-23.
- Williamson, Timothy (2013) „Modal Logic as Metaphysics“, Oxford et al.: Oxford Univ. Pr., 2013.
- Williamson, Timothy (2014) „How Did We Get Here from There? The Transformation of Analytic Philosophy“, in: *Belgrade Philosophical Annual*, Vol. 27, 2014, pp. 7-37.
- Wilmont, Ilona; Hengeveld, Sytse; Barendsen, Erik; Hoppenbrouwers, Stijn (2013) „Cognitive Mechanisms of Conceptual Modelling. How Do People Do It?“, in: „Conceptual Modeling“, ed. by Ng, Wilfred et al., 32th Int. Conference, ER 2013, Hong-Kong, China, November 11-13, 2013, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 74-87.
- Wilsker, Burt (1996) „A Study of Multi-Agent Collaboration Theories“, University of Southern California, ISI Research Report, ISI/RR-96-449, 1996.
- Wilson, Fred (1983) „Effability, Ontology, and Method“, in: *Philosophy Research Archives*, Vol. 9, 1983, pp. 419-469.
- Wilson, Fred (2007) „Universals, Bare Particulars and Tropes: The Role of a Principle of Acquaintance in Ontology“, in: „Acquaintance, Ontology and Knowledge. Collected Essays in Ontology“, ed. by Wilson, Fred, Frankfurt/Main: Ontos, 2007, pp. 363-398.
- Wilson, Fred (2011) „Including these Categories in One's Ontology Excluding those Categories: Some Reflections on the Role of a Principle of Acquaintance in Ontology“, in: „Ontological Categories“, ed. by Cumpa, Javier; Tegtmeier, Erwin, Frankfurt/Main: Ontos, 2011, pp. 181-224.
- Wilson, Jessica (2005) „Supervenience-based Formulations of Physicalism“, in: *Noûs*, Vol. 39, No. 3, 2005, pp. 426-459.
- Wilson, Neil L. (1974) „Facts, Events, and their Identity Conditions“, in: *Philosophical Studies*, Vol. 25, No. 5, 1974, pp. 303-321.
- Wilson, Stewart W. (1991) „The Animat Path to AI“, in: „From Animals to Animats: Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour, Paris, 1990“, ed. by Meyer, Jean-Arcady; Wilson, Stewart W., Cambridge/Mass.: MIT Pr., 1991, pp. 15-21.
- Wimmer, Klaus; Wimmer, Nancy (1992) „Conceptual Modelling Based on Ontological Principles“, in: *Knowledge Acquisition*, Vol. 4, No. 4, 1992, pp. 387-406.

Bibliographie

- Wimsatt, William C. (1972) „Teleology and the Logical Structure of Function Statements“, in: *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 3, No. 1, 1972, pp. 1-80.
- Wimsatt, William C. (1994) „The Ontology of Complex Systems: Levels of Organization, Perspectives, and Causal Thicketts“, in: *„Biology & Society. Reflections on Methodology“*, ed. by Matthen, Mohan; Ware, Robert X., (Canadian Journal of Philosophy, Supplementary Vol. 20), Calgary: Univ. of Calgary Pr., 1994, pp. 207-274.
- Wimsatt, William C. (1997) „Aggregativity: Reductive Heuristics for Finding Emergence“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 64, Supplement. Proceedings of the 1996 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II: Symposia Papers, 1997, pp. S372-S384.
- Wind River (2014) „New Life for Embedded Systems in the Internet of Things“, White Paper, 2014.
- Wind River (2015) „Managing the IoT Lifecycle From Design Through End-of-Life“, White Paper, 2015.
- Windelband, Wilhelm (1894) „Geschichte und Naturwissenschaft“, Rede zum Antritt des Rectorats der Univ. Strassburg, gehalten am 1. Mai 1894, 2., unveränd. Aufl., Strassburg: Heitz, 1900.
- Winikoff, Michael; Liu, Wei; Harland, James (2005) „Enhancing Commitment Machines“, in: *„Declarative Agent Languages and Technologies II“*, ed. by Leite, João et al., Second International Workshop, DALT 2004, New York, NY, USA, July 19, 2004, Revised Selected Papers, Berlin et al.: Springer, 2005, pp. 198-220.
- Winkel, Glynn (1980) „Events in Computation“, Ph.D. Diss., Univ. of Edinburgh, 1980.
- Winkel, Glynn (1987) „Event Structures“, in: *„Petri Nets: Applications and Relationships to Other Models of Concurrency“*, ed. by Brauer, Wilfried et al., *Advances in Petri Nets 1986, Part II Proceedings of an Advanced Course Bad Honnef*, 8.-19. September 1986, Berlin et al.: Springer, 1987, pp. 325-392.
- Winkel, Glynn (2007) „Event Structures with Symmetry“, in: *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, Vol. 172, 2007, pp. 611-652.
- Witsch, Maria; Vogel-Heuser, Birgit (2011) „Formal MES Modeling Framework -Integration of Different Views“, 2011.
- Witt, Graham C. (2012) „Writing Effective Business Rules“, Waltham/MA: Morgan Kaufmann, 2012.
- Witt, Ulrich (1995) „Wirtschaft als dissipatives System“, in: *Wirtschaftspolitische Blätter*, 42. Jg., Nr. 6, 1995, S. 425-433.
- Witt, Ulrich (1997) „Warum sollten sich Ökonomen mit Selbstorganisation beschäftigen?“, in: *„Surfen auf der Modernisierungswelle? Ziele, Blockaden und Bedingungen ökologischer Innovation“*, hrsg. v. Gleich, Arnim von; Leinkauf, Simone; Zundel, Stefan, Marburg: Metropolis, 1997, S. 47-70.
- Witt, Ulrich (2004) „On the Proper Interpretation of 'Evolution' in Economics and its Implications for Production Theory“, in: *Journal of Economic Methodology*, Vol. 11, No. 2, 2004, pp. 125-146.
- Wittgenstein, Ludwig (1921) „Tractatus logico-philosophicus. Logisch-philosophische Abhandlung“, Frankfurt/Main: Suhrkamp, 2003.
- Wittgenstein, Ludwig (1953) „Philosophische Untersuchungen“, Nachdr., Frankfurt: Suhrkamp, 2003.
- Woitsch, Robert; Utz, Wilfrid (2015) „Business Process as a Service (BPaaS)“, in: *„Open and Big Data Management and Innovation“*, ed. by Janssen, Marijn et al., 14th IFIP WG 6.11 Conference on e-Business, e-Services, and e-Society, I3E 2015, Delft, The Netherlands, October 13-15, 2015, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 435-440.
- Wolf-Gazo, Ernest (1984) „Die Whitehead-Rezeption im deutschen Sprachraum seit 1945“, in: *„Whitehead und der Prozessbegriff“*, hrsg. v. Holz, Harald; Wolf-Gazo, Ernest, *Beitr. zur Philosophie Alfred North Whiteheads auf d. 1. Int. Whitehead-Symposium 1981*, Freiburg, München: Alber, 1984, S. 53-70.
- Wolf-Gazo, Ernest (1986) „Negation and Contrast: The Origins of Self-Consciousness in Hegel and Whitehead“, in: *„Hegel and Whitehead. Contemporary Perspectives on Systematic Philosophy“*, ed. by Lucas, George R., Jr., Albany: State Univ. of New York Pr., 1986, pp. 207-215.
- Wolff, Christian (1730) „Philosophia prima sive Ontologia“, Francofurtum et al., 1730.
- Wolff, Christian (1740) „Vernünfftige Gedancken von Gott, der Welt und der Seele des Menschen, auch allen Dingen überhaupt“, Bd. 2, vierdte Auflage, hin und wieder vermehret, Franckfurt am Mayn: Andreä und Hort, 1740.
- Wolfram, Stephen (1983a) „Cellular Automata“, in: *Los Alamos Science*, Vol. 9, Fall, 1983, pp. 2-21.
- Wolfram, Stephen (1983b) „Statistical Mechanics of Cellular Automata“, in: *Reviews of Modern Physics*, Vol. 55, No. 3, 1983, pp. 601-644.
- Wolfram, Stephen (1984b) „Preface“, in: *„Cellular Automata: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, Los Alamos March 7-11, 1983 (Physica D, Vol. 10, Nos. 1/2)“*, ed. by Farmer, J. Doyné; Toffoli, Tommaso; Wolfram, Stephen, Amsterdam et al.: North-Holland, 1984, pp. vii-xii.

Bibliographie

- Wolfram, Stephen (1984c) „Universality and Complexity in Cellular Automata“, in: „Cellular Automata: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop, Los Alamos March 7-11, 1983 (Physica D, Vol. 10, Nos. 1/2)“, ed. by Farmer, J. Doyné; Toffoli, Tommaso; Wolfram, Stephen, Amsterdam et al.: North-Holland, 1984, pp. 1-35.
- Wolfram, Stephen (1984d) „Computation Theory of Cellular Automata“, in: Communications in Mathematical Physics, Vol. 96, 1984, pp. 15-57.
- Wolfram, Stephen (1986a) „Approaches to Complexity Engineering“, in: Physica D, Vol. 22, Nos. 1/3, 1986, pp. 385-399.
- Wolfram, Stephen (1986b) „Minimal Cellular Automaton Approximations to Continuum Systems“, in: „Cellular Automata and Complexity. Collected Papers“, ed. by Wolfram, Stephen, (originally presented at Cellular Automata, June 1986), Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1994, pp. 329-358.
- Wolfram, Stephen (1988a) „Complex Systems Theory“, in: „Emerging Syntheses in Science. Proceedings of the Founding Workshops of the Santa Fe Institute, 1984“, ed. by Pines, David, (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proceedings, Vol. 1), Redwood City/Cal.: Addison-Wesley, 1988, pp. 183-190.
- Wolfram, Stephen (1988b) „Cellular Automation Supercomputing“, in: „Cellular Automata and Complexity. Collected Papers“, ed. by Wolfram, Stephen, (originally published 1988), Reading/Mass.: Addison-Wesley, 1994, pp. 499-509.
- Wolfram, Stephen (2002) „A New Kind of Science“, Champaign/IL: Wolfram Media, 2002.
- Wolfram, Stephen (ed.) (1994) „Cellular Automata and Complexity. Collected Papers“, Reading: Addison-Wesley, 1994.
- Wolterstorff, Nicholas (1970) „On Universals. An Essay in Ontology“, Chicago: Univ. of Chicago Pr., 1970.
- Wong, Peter Y.H.; Gibbons, Jeremy (2008) „A Process Semantics for BPMN“, in: „Formal Methods and Software Engineering“, ed. by Liu, Shaoying et al., 10th Int. Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2008, Kitakyushu-City, Japan, October 27-31, 2008, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2008, pp. 355-374.
- Wong, Peter Y.H.; Gibbons, Jeremy (2009) „A Relative Timed Semantics for BPMN“, in: Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Vol. 229, 2009, pp. 59-75.
- Wong, Peter Y.H.; Gibbons, Jeremy (2011) „Formalisations and Applications of BPMN“, in: Science of Computer Programming, Vol. 76, 2011, pp. 633-650.
- Wood, Zena; Galton, Antony P. (2008) „A New Classification of Collectives“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Eschenbach, Carola; Grüninger, Michael, Proceedings of the Fifth International Conference (FOIS 2008), Amsterdam et al.: IOS Pr., 2008, pp. 109-120.
- Woodger, Joseph H. (1937) „The Axiomatic Method in Biology“, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 1937.
- Woods, William A. (1975) „What's in a Link: Foundations for Semantic Networks“, in: „Representation and Understanding. Studies in Cognitive Science“, ed. by Bobrow, Daniel G.; Collins, Allan, New York et al.: Acad. Pr., 1975, pp. 35-82.
- Woods, William A. (1983) „What's Important About Knowledge Representation?“, in: IEEE Computer, Vol. 16, No. 10, 1983, pp. 22-27.
- Wooldridge, Michael J. (1992) „The Logical Modelling of Computational Multi-Agent Systems“, Ph.D. Diss., Univ. of Manchester, 1992.
- Wooldridge, Michael J. (2002a) „An Introduction to Multiagent Systems“, Chichester et al.: Wiley, 2002.
- Wooldridge, Michael J. (2002b) „Intelligent Agents: The Key Concepts“, in: „Multi-Agent Systems and Applications II“, ed. by Marík, Vladimír et al., 9th ECCAI-ACAI / EASSS 2001, AEMAS 2001, HoLMAS 2001 Selected Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 3-43.
- Wooldridge, Michael J.; Jennings, Nicholas R. (1995) „Intelligent Agents: Theory and Practice“, in: Knowledge Engineering Review, Vol. 10, No. 2, 1995, pp. 115-152.
- Worboys, Michael (1994) „A Unified Model for Spatial and Temporal Information“, in: The Computer Journal, Vol. 37, No. 1, 1994, pp. 26-34.
- Worboys, Michael (2005) „Event-oriented Approaches to Geographic Phenomena“, in: International Journal of Geographical Information Science, Vol. 19, No. 1, 2005, pp. 1-28.
- Worboys, Michael; Duckham, Matt (2006) „Monitoring Qualitative Spatiotemporal Change for Geosensor Networks“, in: International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, No. 10, 2006, pp. 1087-1108.
- Worboys, Michael; Hornsby, Kathleen (2004) „From Objects to Events: GEM, the Geospatial Event Model“, in: „Geographic Information Science“, ed. by Egenhofer, Max J. et al., Third International Conference,

Bibliographie

- GIScience 2004, Adelphi, MD, USA, October 20-23, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 327-343.
- Worrall, John (1989) „Structural Realism: the Best of Both Worlds?“, in: *Dialectica*, Vol. 43, No. 1/2, 1989, pp. 99-124.
- Wright, Sewall (1932) „The Roles of Mutation, Inbreeding, Crossbreeding, and Selection in Evolution“, in: „Proceedings of the Sixth International Congress of Genetics, Vol. 1: Transactions and General Addresses“, ed. by Jones, Donald F., Brooklyn, New York: Brooklyn Botanic Garden, 1932, pp. 356-366.
- Wright, Sewall (1949) „Population Structure in Evolution“, in: *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 93, No. 6, 1949, pp. 471-478.
- Wright, Sewall (1988) „Surfaces of Selective Value Revisited“, in: *American Naturalist*, Vol. 131, No. 1, 1988, pp. 115-123.
- Wu, Eugene; Diao, Yanlei; Rizvi, Shariq (2006) „High-Performance Complex Event Processing over Streams“, *Proceedings of the 2006 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD '06)*, Chicago/IL, June 27-29, New York/NY: ACM, 2006, pp. 407-418.
- Wu, Kun (2015) „The Development of Philosophy and Its Fundamental Informational Turn“, in: *Information*, Vol. 6, No. 4, 2015, pp. 693-703.
- Wu, Kun; Brenner, Joseph E. (2017) „Philosophy of Information: Revolution in Philosophy. Towards an Informational Metaphilosophy of Science“, in: *Philosophies*, Vol. 2, No. 4, Art. 22, 2017, pp. 1-30.
- Wu, Kun; Wang, Ping (2017) „Philosophy of Information - Fundamental Transformation of Philosophy“, in: *Proceedings*, Vol. 1, No. 3, Art. 103, 2017, pp. 1-4.
- Wu, Qihui; Ding, Guoru; Xu, Yuhua; Feng, Shuo; Du, Zhiyong; Wang, Jinlong; Long, Keping (2014) „Cognitive Internet of Things: A New Paradigm Beyond Connection“, in: *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 1, No. 2, 2014, pp. 129-143.
- Wu, Qingtao; Zhu, Lina; Lou, Ying; Zheng, Ruijuan (2012) „A Self-Optimization Method for System Service Dependability based on Autonomic Computing“, in: *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9/6, No. 2, 2012, pp. 188-193.
- Wu, Weigang; Yang, Zhiwei; Li, Keqin (2016) „Internet of Vehicles and Applications“, in: „Internet of Things: Principles and Paradigms“, ed. by Buyya, Rajkumar; Dastjerdi, Amir V., Amsterdam et al.: Morgan Kaufmann, 2016, pp. 299-317.
- Wu, Zhenyu; Xu, Yuan; Yang, Yunong; Zhang, Chunhong; Zhu, Xinning; Ji, Yang (2017) „Towards a Semantic Web of Things: A Hybrid Semantic Annotation, Extraction, and Reasoning Framework for Cyber-Physical System“, in: *Sensors*, Vol. 17, No. 2 (403), 2017, pp. 1-24.
- Wuketits, Franz M. (1991) „Erwin Schrödinger und sein Beitrag zum Verständnis lebendiger Systeme“, in: *Zeitschrift für Wissenschaftsforschung*, Bd. 6, 1991, S. 97-104.
- Wuketits, Franz M. (1998) „Emerging Systems“, in: „Systems. New Paradigms for the Human Sciences“, ed. by Altmann, Gabriel; Koch, Walter A., Berlin, New York: De Gruyter, 1998, pp. 318-333.
- Wunderlich, Falk (2015) „Meiers Verteidigung der prästabilierten Harmonie“, in: „Georg Friedrich Meier (1718-1777): Philosophie als 'wahre Weltweisheit'“, hrsg. v. Grunert, Frank; Stiening, Gideon, Berlin, Boston: De Gruyter, 2015, S. 113-122.
- Wyman, Mary A. (1956) „Whitehead's Philosophy of Science in the Light of Wordsworth's Poetry“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 23, No. 4, 1956, pp. 283-296.
- Wyns, Jo (1999) „Reference Architecture for Holonic Manufacturing Systems - the Key to Support Evolution and Reconfiguration -“, Ph.D., Univ. Leuven/Belgium, 1999.
- Wysusek, Boris (2004a) „Ontology and Ontologies in Information Systems Analysis and Design: A Critique“, in: *Proceedings of the Tenth Americas Conference on Information Systems*, New York, New York, August, 2004, pp. 4303-4308.
- Wysusek, Boris (2004b) „On the Ontological Foundation of Modeling Grammars: A Critique“, *Proceedings of the First Workshop on Philosophy and Informatics WSPI 2004*, Cologne, 2004, pp. 81-88.
- Wysusek, Boris (2005) „Enterprise System Implementation and the Linguistic Shaping of Organizational Knowledge“, 2005.
- Wysusek, Boris (2006a) „On Ontological Foundations of Conceptual Modelling“, in: *Scandinavian Journal of Information Systems*, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 63-80.
- Wysusek, Boris (2006b) „Ontological Foundations of Conceptual Modelling Reconsidered: A Response“, in: *Scandinavian Journal of Information Systems*, Vol. 18, No. 1, 2006, pp. 139-152.
- Wysusek, Boris (2009) „Can Ontology Inform Ontologies?“, in: „Proceedings of the 7th International Conference on Formal Concept Analysis“, ed. by Ferré, Sébastien; Rudolph, Sebastian, Berlin et al.: Springer, 2009, p. 82.

- Wyssusek, Boris; Klaus, Helmut (2005a) „On the Foundation of the Ontological Foundation of Conceptual Modeling Grammars: The Construction of the Bunge-Wand-Weber Ontology“, ed. by Castro, Jaelson; Teniente, Ernest, *Advanced Information Systems Engineering, 17th International Conference, CAiSE 2005, Porto, Portugal, June 13-17, 2005, Proceedings of the CAiSE'05 Workshops, Vol. 2, Porto: FEUP Edições, 2005, pp. 583-593.*
- Wyssusek, Boris; Klaus, Helmut (2005b) „Ontological Foundations of Information Systems Analysis and Design: Extending the Scope of the Discussion“, in: „Business Systems Analysis with Ontologies“, ed. by Green, Peter; Rosemann, Michael, Hershey/PA: Idea Group Publ., 2005, pp. 322-344.
- Xia, Feng; Ma, Jianhua (2011) „Building Smart Communities with Cyber-Physical Systems“, *ACM UBIComp Symposium on Social and Community Intelligence (SCI), Beijing, China, September, 2011.*
- Xia, Feng; Yang, Laurence T.; Wang, Lizhe; Vinel, Alexey (2012) „Internet of Things“, in: *International Journal of Communication Systems, Vol. 25, No. 9, 2012, pp. 1101-1102.*
- Xia, Nian; Yang, Chu-Sing (2017) „Vehicular Communications: Standards and Challenges“, in: „Internet of Vehicles. Technologies and Services for Smart Cities“, ed. by Peng, Sheng-Lung et al., 4th International Conference, IOV 2017, Kanazawa, Japan, November 22-25, 2017, Proceedings, Cham et al.: Springer, 2017, pp. 1-12.
- Xiao, Song; Xudong, Chai; Li, Zhang; Guanghong, Gong (2010) „Modeling Framework for Product Lifecycle Information“, in: *Simulation Modelling Practice and Theory, Vol. 18, 2010, pp. 1080-1091.*
- Xie, Yanan; Ma, Yongsheng S. (2014) „Unified Interdisciplinary Methodology for Collaboration in Chemical Process Industry“, in: *Computer Aided Chemical Engineering, Vol. 34, 2014, pp. 747-752.*
- Xiong, Gang; Chen, Yaran; Shang, Xiuqin; Liu, Xiwei; Nyberg, Timo R. (2014) „AHP Fuzzy Comprehensive Method of Supplier Evaluation in Social Manufacturing Mode“, 11th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), Shenyang/China, 29 June-4 July, 2014, pp. 3594-3599.
- Xu, Runhua; Frey, Remo M.; Ilic, Alexander (2014) „A Novel Solution to Link Physical Products with Digital Services“, *The 4th International Conference on the Internet of Things, IoT 2014, Cambridge/MA, October 3-8, 2014.*
- Xu, Runhua; Ilic, Alexander (2014) „Product as a Service. Enabling Physical Products as Service End-Points“, *Thirty Fifth International Conference on Information Systems, Auckland/New Zealand, December 14-17, 2014.*
- Xu, Wei; Huang, Hou-Kuan; Liu, Xiao-Hong (2006) „Spatio-Temporal Ontology and its Application in Geographic Information System“, *Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian/China, 13-16 Aug., 2006, pp. 1487-1492.*
- Xu, Xiaoli; Chen, Tao; Minami, Mamoru (2012) „Intelligent Fault Prediction System based on Internet of Things“, in: *Computers & Mathematics with Applications, Vol. 64, No. 5, 2012, pp. 833-839.*
- Xu, Xun (2012) „From Cloud Computing to Cloud Manufacturing“, in: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 28, No. 1, 2012, pp. 75-86.*
- Xu, Yingjin; Wang, Pei (2012) „The Frame Problem, the Relevance Problem, and a Package Solution to Both“, in: *Synthese, Vol. 187, Suppl. 1, 2012, pp. 43-72.*
- Yablo, Stephen (1998) „Does Ontology Rest on a Mistake?“, in: *Aristotelian Society Supplementary Volume, Vol. 72, No. 1, 1998, pp. 229-261.*
- Yachir, Ali; Djamaa, Badis; Mechetti, Ahmed; Amirat, Yacine; Aissani, Mohamed (2016) „A Comprehensive Semantic Model for Smart Object Description and Request Resolution in the Internet of Things“, in: *Procedia Computer Science, Vol. 83, 2016, pp. 147-154.*
- Yacout, Soumaya; Ebrahimpour, Vahid (2015) „ISO 15926“, in: „Ontology Modeling in Physical Asset Integrity Management“, ed. by Ebrahimpour, Vahid; Yacout, Soumaya, Cham et al.: Springer, 2015, pp. 1-16.
- Yagi, Junichi; Arai, Eiji; Shirase, Keiichi (2005) „Logics of Becoming in Scheduling. Logical Movement behind Temporality“, in: „Knowledge and Skill Chains in Engineering and Manufacturing“, ed. by Arai, Eiji et al., *Fifth International Working Conference of Information Infrastructure Systems for Manufacturing 2002 (DIIDM2002), November 18-20, 2002, Osaka/Japan, New York/NY: Springer, 2005, pp. 111-118.*
- Yagil, Gad (1999) „Complexity and Hierarchy: A Level Rule“, in: *Complexity, Vol. 4, No. 6, 1999, pp. 22-27.*
- Yampolskiy, Roman V. (2016) „Artificial Superintelligence. A Futuristic Approach“, Boca Raton/FL: Taylor & Francis, 2016.
- Yan, Zheng; Zhang, Peng; Vasilakos, Athanasios V. (2014) „A Survey on Trust Management for Internet of Things“, in: *Journal of Network and Computer Applications, Vol. 42, 2014, pp. 120-134.*

Bibliographie

- Yang, Aidong; Marquardt, Wolfgang (2004) „An Ontology-based Approach to Conceptual Process Modeling“, in: *Computer Aided Chemical Engineering*, Vol. 18, 2004, pp. 1159-1164.
- Yang, Chen; Shen, Weiming; Lin, Tingyu; Wang, Xianbin (2016) „IoT-Enabled Dynamic Service Selection Across Multiple Manufacturing Clouds“, in: *Manufacturing Letters*, Vol. 7, 2016, pp. 22-25.
- Yang, Chuncheng; Wang, Bingjie; Li, Dichen; Tian, Xiaoyong (2017) „Modelling and Characterisation for the Responsive Performance of CF/PLA and CF/PEEK Smart Materials Fabricated by 4D Printing“, in: *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 12, No. 1, 2017, pp. 69-76.
- Yang, Dong; Dong, Ming; Miao, Rui (2008) „Development of a Product Configuration System with an Ontology-based Approach“, in: *Computer-Aided Design*, Vol. 40, No. 8, 2008, pp. 863-878.
- Yang, Dong; Miao, Rui; Wu, Hongwei; Zhou, Yiting (2009) „Product Configuration Knowledge Modeling Using Ontology Web Language“, in: *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 3, Part 1, 2009, pp. 4399-4411.
- Yang, Jun; Ma, Meng; Wang, Ping; Liu, Ling (2015) „From Complex Event Processing to Cognitive Event Processing: Approaches, Challenges and Opportunities“, *UIC-ATC-ScalCom-CBDCCom-IoP*, 2015, pp. 1432-1438.
- Yang, Pingle; Yang, Yalei; Lou, Yunfeng (2011) „A Business Activity Real-Time Monitoring Platform Based on Rule Engine“, in: *Procedia Engineering*, Vol. 15, 2011, pp. 3744-3748.
- Yang, Xiang (2009) „Research on Semantic Decision Support System“, 2009.
- Yang, Xiaoyu; Moore, Philip; Chong, Seng Kwong (2009) „Intelligent Products: From Lifecycle Data Acquisition to Enabling Product-Related Services“, in: *Computers in Industry*, Vol. 60, No. 3, 2009, pp. 184-194.
- Yang, Xin-She (2003) „Characterization of Multispecies Living Ecosystems With Cellular Automata“, in: „Artificial Life VIII. Proceedings of the Eighth International Conference on Artificial Life“, ed. by Standish, Russell K.; Bedau, Mark A.; Abbass, Hussein A., Cambridge/Mass., London: MIT Pr., 2003, pp. 138-141.
- Yannuzzi, Marcelo; Milito, Rodolfo; Serral-Gracià, René; Montero, Diego; Nemirovsky, Mario (2014) „Key Ingredients in an IoT Recipe: Fog Computing, Cloud Computing, and More Fog Computing“, *IEEE 19th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, Athens/Greece, 1-3 Dec., 2014, pp. 325-329.
- Yao, Lina; Sheng, Quan Z.; Dustdar, Schahram (2015) „Web-Based Management of the Internet of Things“, in: *IEEE Internet Computing*, Vol. 19, No. 4, 2015, pp. 60-67.
- Yao, Lina; Sheng, Quan Z.; Ngu, Anne H.H.; Ashman, Helen; Li, Xue (2014) „Exploring Recommendations in Internet of Things“, *Proceedings of the 37th International ACM SIGIR Conference on Research & Development in Information Retrieval (SIGIR '14)*, Gold Coast, Queensland/Australia, July 06-11, 2014, pp. 855-858.
- Yao, Y.G.; Lin, L.F.; Wang, F.; Zhang, W.Y. (2013) „Multi-Perspective Modeling: Managing Heterogeneous Manufacturing Knowledge Based on Ontologies and Topic Maps“, in: *International Journal of Production Research*, Vol. 51, No. 11, 2013, pp. 3252-3269.
- Yao, Yiyu (2009) „Integrative Levels of Granularity“, in: „Human-Centric Information Processing Through Granular Modelling“, ed. by Bargiela, Andrzej; Pedrycz, Witold, Berlin et al.: Springer, 2009, pp. 31-47.
- Ye, Juan; Stevenson, Graeme; Dobson, Simon (2011) „A Top-level Ontology for Smart Environments“, in: *Journal Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 7, No. 3, 2011, pp. 359-378.
- Ye, Yan; Yang, Dong; Jiang, Zhibin; Tong, Lixin (2008) „An Ontology-based Architecture for Implementing Semantic Integration of Supply Chain Management“, in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 21, No. 1, 2008, pp. 1-18.
- Yildirim, Unal; Campean, Felician (2013) „An Enhanced Interface Analysis Method for Engineering Change Management“, in: „Smart Product Engineering“, ed. by Abramovici, Michael; Stark, Rainer, *Proceedings of the 23rd CIRP Design Conference*, Bochum, Germany, March 11th-13th, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 191-200.
- Yolum, Pinar; Singh, Munindar P. (2002) „Commitment Machines“, in: „Intelligent Agents VIII“, ed. by Meyer, John-Jules Ch.; Tambe, Milind, *Agent Theories, Architectures, and Languages 8th International Workshop, ATAL 2001 Seattle/WA, USA, August 1-3, 2001 Revised Papers*, Berlin et al.: Springer, 2002, pp. 235-247.
- Yoo, Min-Jung; Grozel, Clément; Kiritsis, Dimitris (2016a) „Closed-Loop Lifecycle Management of Service and Product in the Internet of Things: Semantic Framework for Knowledge Integration“, in: *Sensors*, Vol. 16, No. 7, 2016, pp. 1-26.

Bibliographie

- Yoo, Min-Jung; Kolyvakis, Prodromos; Kiritsis, Dimitris; Werthmann, Dirk; Hellbach, Robert (2016b) „Semantic Model for IoT-enabled Electric Vehicle Services: Puzzling with Ontologies“, IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), Vienna/Austria, 22-24 Aug., 2016, pp. 387-392.
- Yoon, Joo-Sung; Shin, Seung-Jun; Suh, Suk-Hwan (2012) „A Conceptual Framework for the Ubiquitous Factory“, in: International Journal of Production Research, Vol. 50, No. 8, 2012, pp. 2174-2189.
- Young, James O. (2001) „A Defence of the Coherence Theory of Truth“, in: Journal of Philosophical Research, Vol. 26, 2001, pp. 89-101.
- Young, Paul (1987) „The Nature of Information“, New York et al.: Praeger, 1987.
- Young, Robert I.M.; Chungoora, Nitishal et al. (2010) „An Exploration of Foundation Ontologies and Verification Methods for Manufacturing Knowledge Sharing“, in: „Interoperability for Enterprise Software and Applications“, ed. by Panetto, Hervé; Boudjlida, Nacer, London; Hoboken/NJ: ISTE; Wiley, 2010, pp. 83-92.
- Young, Robert I.M.; Gunendran, A. George; Chungoora, Nitishal; Harding, Jennifer A.; Case, Keith (2010) „Enabling Interoperable Manufacturing Knowledge Sharing in PLM“, in: „Product Lifecycle Management“, ed. by McMahon, Chris et al., Proceedings of the PLM09 Conference held at the University of Bath, UK, 6-8 July 2009, Genève: Inderscience, 2010, pp. 130-138.
- Young, Robert I.M.; Gunendran, A. George; Cutting-Decelle, Anne-Françoise (2007b) „Manufacturing Information Organization in Product Lifecycle Management“, in: „Collaborative Product Design and Manufacturing Methodologies and Applications“, ed. by Li, W.D. et al., Springer, 2007, pp. 235-253.
- Young, Robert I.M.; Gunendran, A. George; Cutting-Decelle, Anne-Françoise; Grüninger, Michael (2007a) „Manufacturing Knowledge Sharing in PLM: A Progression Towards the Use of Heavy Weight Ontologies“, in: International Journal of Production Research, Vol. 45, No. 7, 2007, pp. 1505-1519.
- Young, Thomas (1807) „A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts“, (2 Vols.), London: Johnson, 1807.
- Youseff, Lamia; Butrico, Maria; Da Silva, Dilma (2008) „Toward a Unified Ontology of Cloud Computing“, Grid Computing Environments Workshop (GCE '08), Austin/TX, 12-16 Nov., 2008, pp. 1-10.
- Yu, Alexander C. (2006) „Methods in Biomedical Ontology“, in: Journal of Biomedical Informatics, Vol. 39, No. 3, 2006, pp. 252-266.
- Yu, Biao; Zhao, Han (2013) „A Semantic Ontology of Requirement - Product - Process - Resource for Modeling of Product Lifecycle Information“, in: „The 19th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management“, ed. by Qi, Ershi et al., Heidelberg et al.: Springer, 2013, pp. 319-330.
- Yu, Han; Shen, Zhiqi; Leung, Cyril (2013) „From Internet of Things to Internet of Agents“, 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber Physical and Social Computing, Beijing/China, 20-23 Aug., 2013, pp. 1054-1057.
- Yu, Jonathan (2008) „Requirements-Oriented Methodology for Evaluating Ontologies“, Ph.D. Diss., RMIT Univ., School of Computer Science and Information Technology, Science, Engineering, and Technology Portfolio, Melbourne/Victoria, Australia, 2008.
- Yu, Jonathan; Taylor, Kerry (2013) „Event Dashboard: Capturing User-defined Semantics Events for Event Detection over Real-time Sensor Data“, in: „SSN 2013 - Semantic Sensor Networks“, ed. by Corcho, Oscar et al., Proceedings of the 6th Int. Workshop on Semantic Sensor Networks, co-located with the 12th Int. Semantic Web Conference (ISWC 2013), Sydney, Australia, Oct. 22nd 2013, 2013, pp. 19-34.
- Yu, Jonathan; Taylor, Kerry; Sherman, Brad (2011) „Ontology-driven Complex Event Processing for Real-Time Algal Bloom Detection“, The Seventh Australasian Ontology Workshop (AOW 2011), Perth, Western Australia, Australia, 5 December, ACS, 2011.
- Yu, Tianbiao; Zhou, Jing; Ding, Junmei; Wang, Jianrong; Wang, Wanshan (2009) „A Networked Integrated Manufacturing System Oriented Product Lifecycle Based on Multi-agent“, 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics, 23-26 June 2009, Cardiff/Wales, 2009, pp. 43-48.
- Yu, Yang; Wang, Ji; Wang, Ting; Chen, Huowang (2006) „Representing Wholes by Structure“, in: „Conceptual Structures: Inspiration and Application“, ed. by Schärfe, Henrik et al., 14th Int. Conference on Conceptual Structures, ICCS 2006, Aalborg, Denmark, July 16-21, 2006, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2006, pp. 441-454.
- Yuan, Soe-Tsyr; Lu, Mei-Rung (2009) „An Value-Centric Event Driven Model and Architecture: A Case Study of Adaptive Complement of SOA for Distributed Care Service Delivery“, in: Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 2, Part 2, 2009, pp. 3671-3694.
- Yue, Ke; Wang, Li; Ren, Shangping; Mao, Xufei; Li, Xiangyang (2010) „An Adaptive Discrete Event Model for Cyber-Physical System“, 2010.

Bibliographie

- Yurtsever, Ulvi (2000) „Quantum Mechanics and Algorithmic Randomness“, in: *Complexity*, Vol. 6, No. 1, 2000, pp. 27-34.
- Zachman, John A. (1987) „A Framework for Information Systems Architecture“, 1987.
- Zalta, Edward N. (1983) „Abstract Objects. An Introduction to Axiomatic Metaphysics“, Dordrecht et al.: Reidel, 1983.
- Zambak, Aziz F. (2013) „The Frame Problem. Autonomy Approach versus Designer Approach“, in: „Philosophy and Theory of Artificial Intelligence“, ed. by Müller, Vincent C., Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 307-319.
- Zambak, Aziz F. (2014) „Artificial Intelligence as a New Metaphysical Project“, in: „Philosophy, Computing and Information Science“, ed. by Hagengruber, Ruth; Riss, Uwe V., London: Pickering & Chatto, 2014, pp. 67-73.
- Zancul, Eduardo (2012) „PLM Reference Model: A Preliminary Proposal for Reference Model Evolution“, in: „Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises“, ed. by Rivest, Louis; Bouras, Abdelaziz; Louhichi, Borhen, IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012 Montreal, QC, Canada, July 9-11, Heidelberg et al.: Springer, 2012, pp. 525-534.
- Zancul, Eduardo; Delage e Silva, Gabriel; Durão, Luiz Fernando C.S.; Rocha, Alexandre M. (2016) „PLM Process and Information Mapping for Mass Customization Based on Additive Manufacturing“, in: „Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things“, ed. by Bouras, Abdelaziz et al., 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015, Doha, Qatar, October 19-21, 2015, Revised Selected Papers, Cham et al.: Springer, 2016, pp. 846-855.
- Zancul, Eduardo; Takey, Silvia M.; Barquet, Ana Paula Bezerra; Kuwabara, Leonardo Heiji et al. (2016) „Business Process Support for IoT based Product-Service Systems (PSS)“, in: *Business Process Management Journal*, Vol. 22, No. 2, 2016, pp. 305-323.
- Zang, Chuanzhen; Fan, Yushun (2007) „Complex Event Processing in Enterprise Information Systems Based on RFID“, in: *Enterprise Information Systems*, Vol. 1, No. 1, 2007, pp. 3-23.
- Zang, Chuanzhen; Fan, Yushun; Liu, Renjing (2008) „Architecture, Implementation and Application of Complex Event Processing in Enterprise Information Systems Based on RFID“, in: *Information Systems Frontiers*, Vol. 10, No. 5, 2008, pp. 543-553.
- Zangenehpour, Sahar; Seyyedi, Mir Ali; Mohsenzadeh, Mehran (2012) „A New Framework for Mapping Business Domain Ontologies“, in: *International Journal of Computer Applications*, Vol. 55, No. 12, 2012, pp. 16-20.
- Zapatrin, Roman R. (1992) „Binary Logic is Rich Enough“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 31, No. 2, 1992, pp. 211-219.
- Zappia, Ivan; Paganelli, Federica; Parlanti, David (2012) „A Lightweight and Extensible Complex Event Processing System for Sense and Respond Applications“, in: *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 12, 2012, pp. 10408-10419.
- Zarek, Matt; Layani, Michael; Eliazar, Shira; Mansour, Nicola; Cooperstein, Ido; Shukrun, Efrat; Sziar, Atara et al. (2016) „4D Printing Shape Memory Polymers for Dynamic Jewellery and Fashionwear“, in: *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 11, No. 4, 2016, pp. 263-270.
- Zaslavsky, Arkady; Perera, Charith; Georgakopoulos, Dimitrios (2012) „Sensing as a Service and Big Data“, *Proceedings of the International Conference on Advances in Cloud Computing (ACC)*, Bangalore/India, July, 2012, pp. 21-29.
- Zdravkovic, Jelena; Zikra, Iyad; Ilayperuma, Tharaka (2011) „An MDA Method for Service Modeling by Formalizing REA and Open-edi Business Frameworks with SBVR“, in: „Engineering Methods in the Service-Oriented Context“, ed. by Ralyté, Jolita; Mirbel, Isabelle; Deneckère, Rébecca, Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 219-224.
- Zdravkovic, Milan M.; Noran, Ovidiu; Trajanovic, Miroslav (2014) „Towards Sensing Information Systems“, in: „Information Systems Development: Transforming Organisations and Society through Information Systems“, ed. by Strahonja, Vjeran et al., *Proceedings of the 23rd International Conference on Information Systems Development (ISD2014 Croatia)*, September 2-4, 2014, Varazdin/Croatia, Varazdin: Univ. of Zagreb, 2014, pp. 167-174.
- Zecca, Antonio (1992) „Irreversible Evolution in Quantum Logics“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 31, No. 8, 1992, pp. 1363-1370.
- Zeigler, Bernard P. (1982) „Discrete Event Models for Cell Space Simulation“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, Nos. 6/7, 1982, pp. 573-588.
- Zeilinger, Anton (2003) „Einsteins Schleier. Die neue Welt der Quantenphysik“, 2. Aufl., München: Beck, 2003.

Bibliographie

- Zeilinger, Anton (2004) „Why the Quantum? 'It' from 'Bit'? A Participatory Universe? Three Far-reaching Challenges from John Archibald Wheeler and their Relation to Experiment“, in: „Science and Ultimate Reality. Quantum Theory, Cosmology, and Complexity“, ed. by Barrow, John D.; Davies, Paul C.W.; Harper, Charles L., Jr., Repr., Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2005, pp. 201-220.
- Zeilinger, Anton (2005) „Einsteins Spuk. Teleportation und andere Mysterien der Quantenphysik“, 1. Aufl., München: Bertelsmann, 2005.
- Zeleny, Milan (1977) „Self-Organization of Living Systems: A Formal Model of Autopoiesis“, in: *International Journal of General Systems*, Vol. 4, No. 1, 1977, pp. 13-28.
- Zeleny, Milan (1985) „Spontaneous Social Orders“, in: „The Science and Praxis of Complexity“, ed. by Aida, Shuhei et al., Contributions to the Symposium Held at Montpellier, France, 9-11 May, 1984, Tokyo: The United Nations Univ., 1985, pp. 312-328.
- Zelewski, Stephan (1993) „Strukturalistische Produktionstheorie. Konstruktion und Analyse aus der Perspektive des 'non statement view'“, zugl. Habil.-Schr., Univ. zu Köln, 1992, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 1993.
- Zelewski, Stephan (2005) „Einführung in das Themenfeld "Ontologien" aus informations- und betriebswirtschaftlicher Perspektive“, in: „Ontologiebasierte Kompetenzmanagementsysteme. Grundlagen, Konzepte, Anwendungen“, hrsg. v. Zelewski, Stephan et al., Berlin: Logos, 2005, S. 115-228.
- Zemach, Eddy M. (1970) „Four Ontologies“, in: *Journal of Philosophy*, Vol. 67, No. 8, 1970, pp. 231-247.
- Zemach, Eddy M. (1992) „Types. Essays in Metaphysics“, Leiden: Brill, 1992.
- Zeng, Deze; Guo, Song; Cheng, Zixue (2011) „The Web of Things: A Survey“, in: *Journal of Communications*, Vol. 6, No. 6, 2011, pp. 424-438.
- Zenil, Hector (2012) „Introducing the Computable Universe“, in: „A Computable Universe“, ed. by Zenil, Hector, Singapore: World Scientific, 2012, pp. 1-20.
- Zha, Xuan F.; Sriram, Ram D. (2006) „Platform-based Product Design and Development: A Knowledge-intensive Support Approach“, in: *Knowledge-Based Systems*, Vol. 19, 2006, pp. 524-543.
- Zhan, Pei (2007) „An Ontology-Based Approach for Semantic Level Information Exchange and Integration in Applications for Product Lifecycle Management“, Diss., Washington State Univ., School of Mechanical and Materials Engineering, 2007.
- Zhang, Dongmin; Hu, Dachao; Xu, Yuchun; Zhang, Hong (2012) „A Framework for Design Knowledge Management and Reuse for Product-Service Systems in Construction Machinery Industry“, in: *Computers in Industry*, Vol. 63, No. 4, 2012, pp. 328-337.
- Zhang, Guoqiang; Jia, Suling; Wang, Qiang; Liu, Qi (2010) „REA-based Enterprise Business Domain Ontology Construction“, in: *Journal of Software*, Vol. 5, No. 5, 2010, pp. 522-529.
- Zhang, Hong; Kishore, Rajiv; Ramesh, Ram (2007) „Semantics of the MibML Conceptual Modeling Grammar: An Ontological Analysis Using the Bunge-Wand-Weber Framework“, in: *Journal of Database Management*, Vol. 18, No. 1, 2007, pp. 1-19.
- Zhang, Jiang-Long; Zhang, Zheng; Han, Yu (2017) „Research on Manufacturability Optimization of Discrete Products with 3D Printing Involved and Lot-size Considered“, in: *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 43, 2017, pp. 150-159.
- Zhang, Liyi; Zhou, Si; Zhu, Mingzhu (2009) „A Semantic Service Oriented Architecture for Enterprise Application Integration“, *Second International Symposium on Electronic Commerce and Security (ISECS '09)*, Vol. 1, Nanchang, 22-24 May, 2009, pp. 102-106.
- Zhang, Mingchuan; Wu, Qing-tao; Zheng, Rui-juan; Wei, Wang-yang; Li, Guan-feng (2012b) „Research on Grade Optimization Self-tuning Method for System Dependability Based on Autonomic Computing“, in: *Journal of Computers*, Vol. 7, No. 2, 2012, pp. 333-340.
- Zhang, Mingchuan; Zhao, Haixia; Zheng, Ruijuan; Wu, Qingtao; Wei, Wangyang (2012a) „Cognitive Internet of Things: Concepts and Application Example“, in: *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9/6, No. 3, 2012, pp. 151-158.
- Zhang, Weishan; Jin, Qun; El Baz, Didier (2015) „Enabling the Social Internet of Things and Social Cloud“, in: *IEEE Cloud Computing*, Vol. 2, No. 6, 2015, pp. 6-9.
- Zhang, Wenlei; Fan, Yushun (2006) „A Conceptual Framework for Product Lifecycle Modeling“, *Proceedings of the First International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC'06)*, Vol. 2, 2006, pp. 486-489.
- Zhang, Wenyu Y.; Yin, Jianwei W. (2008) „Exploring Semantic Web Technologies for Ontology-Based Modeling in Collaborative Engineering Design“, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 36, Nos. 9-10, 2008, pp. 833-843.

Bibliographie

- Zhang, Xiaoyu; Gracanin, Denis (2008) „Service-Oriented-Architecture based Framework for Multi-User Virtual Environments“, 2008 Winter Simulation Conference, Austin/TX, 7-10 Dec., 2008, pp. 1139-1147.
- Zhang, Yang; Duan, Li; Chen, Jun-liang (2014) „Event-Driven SOA for IoT Services“, IEEE International Conference on Services Computing (SCC), 27 June-2 July, 2014, pp. 629-636.
- Zhang, Yi H.; Dai, Qingyun Y.; Zhong, Ray Y. (2009) „An Extensible Event-Driven Manufacturing Management with Complex Event Processing Approach“, in: International Journal of Control and Automation, Vol. 2, No. 3, 2009, pp. 1-12.
- Zhang, Yingzhong et al. (2015) „LCA-Oriented Semantic Representation for the Product Life Cycle“, in: Journal of Cleaner Production, Vol. 86, No. 1, 2015, pp. 146-162.
- Zhanikeev, Marat (2016) „Building IoT Ecosystems from Mobile Clouds at Network Edge“, in: „Internet of Things (IoT) in 5G Mobile Technologies“, ed. by Mavromoustakis, Constandinos X. et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 197-227.
- Zhao, Jun; Corcho, Oscar; Missier, Paolo; Belhajjame, Khalid; Newmann, David; De Roure, David; Goble, Carole A. (2011) „eScience“, in: „Handbook of Semantic Web Technologies“, ed. by Domingue, John et al., Berlin et al.: Springer, 2011, pp. 701-736.
- Zhao, Jun; Wroe, Chris; Goble, Carole; Stevens, Robert; Quan, Dennis; Greenwood, Mark (2004) „Using Semantic Web Technologies for Representing E-science Provenance“, in: „The Semantic Web - ISWC 2004“, ed. by McIlraith, Sheila A. et al., Third International Semantic Web Conference, Hiroshima, Japan, November 7-11, 2004, Proceedings, Berlin et al.: Springer, 2004, pp. 92-106.
- Zhao, Peisheng; Di, Liping; Yu, Genong (2010) „Toward Autonomous Mining of the Sensor Web“, in: „Semantic e-Science“, ed. by Chen, Huajun et al., New York et al.: Springer, 2010, pp. 289-307.
- Zhao, Peisheng; Di, Liping; Yu, Genong; Yue, Peng; Wei, Yaxing; Yang, Wenli (2009) „Semantic Web-based Geospatial Knowledge Transformation“, in: Computers & Geosciences, Vol. 35, No. 4, 2009, pp. 798-808.
- Zhao, Zhili; Paschke, Adrian (2013) „Event-Driven Scientific Workflow Execution“, in: „Business Process Management Workshops“, ed. by La Rosa, Marcello; Soffer, Pnina, BPM 2012 International Workshops Tallinn, Estonia, September 3, 2012, Revised Papers, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 390-401.
- Zhong, Ning et al. (2016) „Research Challenges and Perspectives on Wisdom Web of Things (W2T)“, in: „Wisdom Web of Things“, ed. by Zhong, Ning et al., Cham et al.: Springer, 2016, pp. 3-26.
- Zhou, Liqian; Brier, Søren (2015) „The Metaphysics of Chinese Information Philosophy: A Critical Analysis of Wu Kun's Philosophy of Information“, in: Cybernetics & Human Knowing, Vol. 22, No. 1, 2015, pp. 35-56.
- Zhou, Qunzhi; Simmhan, Yogesh; Prasanna, Viktor (2012a) „Incorporating Semantic Knowledge into Dynamic Data Processing for Smart Power Grids“, in: „The Semantic Web - ISWC 2012“, ed. by Cudré-Mauroux, Philippe et al., 11th International Semantic Web Conference, Boston, MA, USA, November 11-15, 2012, Proceedings, Part II, Berlin et al.: Springer, 2012, pp. 257-273.
- Zhou, Qunzhi; Simmhan, Yogesh; Prasanna, Viktor (2012b) „SCEPter: Semantic Complex Event Processing over End-to-End Data Flows“, Univ. of Southern California, Department of Computer Science, Technical Report, 2012.
- Zhou, Qunzhi; Simmhan, Yogesh; Prasanna, Viktor (2017) „Knowledge-infused and Consistent Complex Event Processing over Real-time and Persistent Streams“, in: Future Generation Computer Systems, Vol. 76, 2017, pp. 391-406.
- Zhou, Ye; Huang, Wei Min; Kang, Shu Feng; Wu, Xue Lian; Lu, Hai Bao; Fu, Jun; Cui, Haipo (2015) „From 3D to 4D Printing: Approaches and Typical Applications“, in: Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 29, No. 10, 2015, pp. 4281-4288.
- Zhou, Yong; Xiong, Gang; Nyberg, Timo; Mohajeri, Babak; Bao, Sen (2016) „Social Manufacturing Realizing Personalization Production: A State-of-the-Art Review“, IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), Beijing/China, 10-12 July, 2016, pp. 7-11.
- Zhu, Bicheng; Roy, Utpal (2015) „Ontology-based Disassembly Information System for Enhancing Disassembly Planning and Design“, in: International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 78, No. 9, 2015, pp. 1595-1608.
- Zhu, Haihua; Gao, James; Li, Dongbo (2013) „The Requirement Analysis and Knowledge Management Methodologies in a Product Service System“, in: „Product-Service Integration for Sustainable Solutions“, ed. by Meier, Horst, Proceedings of the 5th CIRP International Conference on Industrial Product-Service Systems, Bochum, Germany, March 14th - 15th, Berlin et al.: Springer, 2013, pp. 473-484.

Bibliographie

- Zhu, Haihua; Gao, James; Li, Dongbo; Tang, Dunbing (2012) „A Web-based Product Service System for Aerospace Maintenance, Repair and Overhaul Services“, in: *Computers in Industry*, Vol. 63, No. 4, 2012, pp. 338-348.
- Zhu, Tao; Bakshi, Amol; Prasanna, Viktor K.; Gomadam, Karthik (2010) „Applying Semantic Web Techniques to Reservoir Engineering: Challenges and Experiences from Event Modeling“, *Proceedings of the 2010 Seventh International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG)*, Las Vegas/NV, 12-14 April, 2010, pp. 586-591.
- Zhuge, Hai (2011) „Semantic Linking Through Spaces for Cyber-physical-socio Intelligence: A Methodology“, in: *Artificial Intelligence*, Vol. 175, 2011, pp. 988-1019.
- Zielinski, Jerzy S. (2015) „Internet of Everything (IoE) in Smart Grid“, in: *Przegląd Elektrotechniczny*, No. 3, 2015, pp. 157-159.
- Ziemke, Tom (2001) „The Construction of 'Reality' in the Robot: Constructivist Perspectives on Situated Artificial Intelligence and Adaptive Robotics“, in: *Foundations of Science*, Vol. 6, No. 1-3, 2001, pp. 163-233.
- Zimmerli, Walther Ch.; Sandbothe, Mike (1993) „Klassiker der modernen Zeitphilosophie“, Darmstadt: Wiss. Buchges., 1993.
- Zimmerman, Dean W. (1995) „Theories of Masses and Problems of Constitution“, in: *Philosophical Review*, Vol. 104, No. 1, 1995, pp. 53-110.
- Zimmerman, Dean W. (1997) „Immanent Causation“, in: *Noûs*, Vol. 31, Supplement: Philosophical Perspectives, 11, Mind, Causation, and World, 1997, pp. 433-471.
- Zimmerman, Dean W. (1998a) „Temporal Parts and Supervenient Causation: The Incompatibility of two Humean Doctrines“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 76, No. 2, 1998, pp. 265-288.
- Zimmerman, Dean W. (1998b) „Temporary Intrinsic and Presentism“, in: „*Metaphysics: The Big Questions*“, ed. by Van Inwagen, Peter; Zimmerman, Dean W., Oxford: Blackwell, 1998, pp. 206-219.
- Zimmerman, Dean W. (1999) „One Really Big Liquid Sphere: Reply to Lewis“, in: *Australasian Journal of Philosophy*, Vol. 77, No. 2, 1999, pp. 213-215.
- Zimmermann, Antoine; Krötzsch, Markus; Euzenat, Jérôme; Hitzler, Pascal (2006) „Formalizing Ontology Alignment and its Operations with Category Theory“, in: „*Formal Ontology in Information Systems*“, ed. by Bennett, Brandon; Fellbaum, Christiane, *Proceedings of the Fourth International Conference (FOIS 2006)*, Amsterdam et al.: IOS Pr., 2006, pp. 277-288.
- Zimmermann, Olaf; Tomlinson, Mark; Peuser, Stefan (2003) „Perspectives on Web Services. Applying SOAP, WSDL and UDDI to Real-World Projects“, Berlin et al.: Springer, 2003.
- Zinnikus, Ingo; Cao, Xiaoqi; Fischer, Klaus (2011) „Agent-Supported Collaboration and Interoperability for Networked Enterprises“, in: „*Enterprise Interoperability*“, ed. by Van Sinderen, Marten; Johnson, Pontus, *Third International IFIP Working Conference, IWEI 2011*, Stockholm, Sweden, March 23-24, 2011, *Proceedings*, Heidelberg et al.: Springer, 2011, pp. 204-215.
- Zio, Enrico (2013) „Prognostics and Health Management of Industrial Equipment“, in: „*Diagnostics and Prognostics of Engineering Systems: Methods and Techniques*“, ed. by Kadry, Seifedine, Hershey/PA: IGI Global, 2013, pp. 333-356.
- Zocher, Rudolf (1939) „Die philosophische Grundlehre. Eine Studie zur Kritik der Ontologie“, Tübingen: Mohr, 1939.
- Zoglauer, Thomas (1995) „Der Informationsgehalt empirischer Modelle - zur Logik des semantischen Informationsbegriffs“, in: „*Logik und Mathematik*“, hrsg. v. Max, Ingolf; Stelzner, Werner, *Frege-Kolloquium Jena 1993*, Berlin: De Gruyter, 1995, S. 484-495.
- Zor, Sema; Görlach, K.; Leymann, Frank (2010) „Using BPMN for Modeling Manufacturing Processes“, *Proceedings of 43rd CIRP International Conference on Manufacturing Systems*, 2010, pp. 515-522.
- Zor, Sema; Schumm, David; Leymann, Frank (2011) „A Proposal of BPMN Extensions for the Manufacturing Domain“, *44th CIRP Int. Conference on Manufacturing Systems*. Madison, Wisconsin, USA, 2011.
- Zucchi, Alessandro (1993) „The Language of Propositions and Events. Issues in the Syntax and the Semantics of Nominalization“, Dordrecht: Springer, 1993.
- Zühlke, Detlef (2008) „SmartFactory - from Vision to Reality in Factory Technologies“, *Proceedings of the 17th IFAC World Congress*, Seoul, Korea, July 6-11, 2008, pp. 14101-14108.
- Zühlke, Detlef (2009) „SmartFactory - A Vision becomes Reality“, *13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, 2009, pp. 31-39.
- Zühlke, Detlef (2010) „SmartFactory - Towards a Factory-of-Things“, in: *Annual Reviews in Control*, Vol. 34, No. 1, 2010, pp. 129-138.

Bibliographie

- Zúñiga, Gloria L. (1999) „An Ontology of Economic Objects: An Application of Carl Menger's Ideas“, in: *American Journal of Economics and Sociology*, Vol. 58, No. 2, 1999, pp. 299-312.
- Zúñiga, Gloria L. (2001) „Ontology: Its Transformation from Philosophy to Information Systems“, in: „Formal Ontology in Information Systems“, ed. by Welty, Christopher A.; Smith, Barry, *Collected Papers from the Second International Conference (FOIS '01)*, New York: ACM Pr., 2001, pp. 187-197.
- Zur Mühlen, Michael; Indulska, Marta (2010) „Modeling Languages for Business Processes and Business Rules: A Representational Analysis“, in: *Information Systems*, Vol. 35, 2010, pp. 379-390.
- Zur Mühlen, Michael; Recker, Jan C.; Indulska, Marta (2007) „Sometimes Less is More: Are Process Modeling Languages Overly Complex?“, in: „3rd International Workshop on Vocabularies, Ontologies and Rules for the Enterprise“, ed. by Taveter, Kuldar; Gasevic, Dragan, 15 October 2007, Annapolis, Maryland, 2007.
- Zuse, Konrad (1967) „Rechnender Raum“, in: *Elektronische Datenverarbeitung*, Bd. 8, 1967, S. 336-344.
- Zuse, Konrad (1969) „Rechnender Raum“, Braunschweig: Vieweg, 1969.
- Zuse, Konrad (1975) „Ansätze einer Theorie des Netzautomaten“, in: „Nova Acta Leopoldina, Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, N.F., Bd. 43, Nr. 220“, hrsg. v. Scharf, Joachim-Hermann, Halle/Saale, 1975.
- Zuse, Konrad (1982) „The Computing Universe“, in: *International Journal of Theoretical Physics*, Vol. 21, Nos. 6/7, 1982, pp. 589-600.
- Zuse, Konrad (1993) „Cellular Structured Space (Rechnender Raum) and Physical Phenomena“, ed. by Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik, Technical Report TR 93-12, Berlin, 1993.
- Zuse, Konrad (1994a) „Discrete Mathematics and Rechnender Raum (Computing Space)“, ed. by Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik, Technical Report TR 94-10 (Part 1), Berlin, 1994.
- Zuse, Konrad (1994b) „Cellular Structured Space (Rechnender Raum) and Physical Phenomena“, ed. by Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik, Technical Report TR 94-10 (Part 2), Berlin, 1994.
- Zygala, Ryszard (2012) „Using the REA Approach to Modeling of IT Process Evaluation“, in: „Proceedings of the 6th European Conference on Information Management and Evaluation“, ed. by Nagle, Tadgh, University College Cork, Ireland, 13-14 September, Reading: Acad. Publ., 2012, pp. 351-360.